FABRICAÇÃO DIGITAL NA AMÉRICA DO SUL

LABORATÓRIOS, ESTRATÉGIAS, PROCESSOS E ARTEFATOS PARA O DESIGN, A ARQUITETURA E A CONSTRUÇÃO

RODRIGO SCHEEREN

INSTITUTO DE ARQUITETURA E URBANISMO
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

SÃO CARLOS, 2021

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ARQUITETURA E URBANISMO
PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO
TESE DE DOUTORADO

FABRICAÇÃO DIGITAL NA AMÉRICA DO SUL

LABORATÓRIOS, ESTRATÉGIAS, PROCESSOS E ARTEFATOS PARA O DESIGN, A ARQUITETURA E A CONSTRUÇÃO

Versão corrigida

Área de concentração: Teoria e História da Arquitetura e do Urbanismo
Linha de pesquisa: Cidade, Arte e Cultura

Autor: Rodrigo Scheeren
Orientador: David Moreno Sperling

Tese apresentada ao Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Doutor em Ciências.

São Carlos, 2021

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

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do Instituto de Arquitetura e Urbanismo
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Scheeren, Rodrigo
S315f Fabricação digital na América do Sul: laboratórios, estratégias, processos e artefatos para o design, a arquitetura e a construção / Rodrigo Scheeren; orientador David Moreno Sperling. -- São Carlos, 2021.
297 p.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Teoria e História da Arquitetura e do Urbanismo -- Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2021.

1. Laboratórios de fabricação digital. 2. Design arquitetônico. 3. Tecnologia. 4. Inovação. 5. Estudos de caso. I. Sperling, David Moreno, orient. II. Título.

Bibliotecária responsável pela estrutura de catalogação da publicação de acordo com a AACR2:
Brianda de Oliveira Ordonho Sígolo - CRB - 8/8229

Universidade de São Paulo

ATA DE DEFESA

Ata de defesa de Tese do(a) Senhor(a) Rodrigo Scheeren no Programa: Arquitetura e Urbanismo, do(a) Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo.

Aos 20 dias do mês de agosto de 2021, no(a) realizou-se a Defesa da Tese do(a) Senhor(a) Rodrigo Scheeren, apresentada para a obtenção do título de Doutor intitulada:

"Fabricação digital na América do Sul: Laboratórios, estratégias, processos e artefatos para o design, a arquitetura e a construção"

Após declarada aberta a sessão, o(a) Sr(a) Presidente passa a palavra ao candidato para exposição e a seguir aos examinadores para as devidas arguições que se desenvolvem nos termos regimentais. Em seguida, a Comissão Julgadora proclama o resultado:

Nome dos Participantes da Banca	Função	Sigla da CPG	Resultado
David Moreno Sperling	Presidente	IAU - USP	Não Votante
Maria Gabriela Caffarena Celani	Titular	UNICAMP - Externo	aprovado
Paulo Eduardo Fonseca de Campos	Titular	FAU - USP	aprovado
Márcio Minto Fabricio	Titular	IAU - USP	aprovado
Ruy Sardinha Lopes	Titular	IAU - USP	aprovado
José Ripper Kós	Titular	UFSC - Externo	aprovado

Resultado Final: aprovado

Parecer da Comissão Julgadora *

Eu, Ana Paula Sampaio Fregona, lavrei a presente ata, que assino juntamente com os(as) Senhores(as). São Carlos, aos 20 dias do mês de agosto de 2021.

Maria Gabriela Caffarena Celani

Paulo Eduardo Fonseca de Campos

Márcio Minto Fabricio

Ruy Sardinha Lopes

José Ripper Kós

David Moreno Sperling
Presidente da Comissão Julgadora

* Obs: Se o candidato for reprovado por algum dos membros, o preenchimento do parecer é obrigatório.

A defesa foi homologada pela Comissão de Pós-Graduação em 15/09/2021 e, portanto, o(a) aluno(a) faz jus ao título de Doutor em Ciências obtido no Programa Arquitetura e Urbanismo - Área de concentração: Teoria e História da Arquitetura e do Urbanismo.

Prof. Dr. Tomás Antonio Moreira
Presidente da Comissão de Pós-Graduação
IAU-USP

AGRADECIMENTOS

A David Moreno Sperling, Gabriela Celani, Pablo C. Herrera e Ingrid Paoletti, iniciadores, estruturadores e incentivadores desse longo projeto.

A Paulo Eduardo Fonseca de Campos, Gonçalo Castro Henriques, Ever Patiño Mazo, David Andrés Torreblanca Díaz, Marcelo Bernal, Mauro Chiarella, Heidi Jalkh, Silvina Papasaragas, Patrícia Muñoz, Rodrigo Martin Iglesias, Jose Ovidio Cardona Osorio, Camilo Cantor, David H. Del Valle, Juan P. Gutiérrez, Ever Patiño Mazo, Rodrigo Velasco, Gabriela Gonzales Faria, Carlos Nome, Natália Queiroz, Marcelo Paysse, Rodrigo Garcia Alvarado, Cecilia Bello, Beno Juárez, Gilfranco Alves, Bruno Amui, Rita Wu, Tomás Vivanco, Sebastian Rojas, Carla Schwengber ten Caten, Fabio Pinto da Silva, Neander Furtado Silva, Andre Peres, Regiane Pupo, Anne Save de Beaurecueil, Franklin Lee, Eduardo Sampaio Nardelli e Fernando Lima, pela contribuição empírica da pesquisa.

A Patrick Bedarf, Orkun Kasap, Yasaman Tahouni, Britta Kurka, Pierandrea Angius, Roberto Naboni, Mette Ramsgaard Thamsen, Mathilde Marengo, Kunaljit Singh Chadha, Marziah Zad, Nicolo Gnecchi, Michael Ulrich Hensel, Giulia Grassi, e Marta D'Alessandro, pelo apoio durante a investigação na Europa.

À Ana Luiza Rodrigues Gambardella, Márcio Minto Fabrício e Alexandra Elbakyan, pelo apoio técnico.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES), concessão da bolsa no período de 2016 à 2017, e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), concessão da bolsa a partir de 2017 (processo nº 2017/04946-7 e processo nº 2018/15517-2).

RESUMO

SCHEEREN, R. **Fabricação digital na América do Sul**: laboratórios, estratégias, processos e artefatos para o design, a arquitetura e a construção. 2021. Tese (Doutorado em Teoria e História da Arquitetura e do Urbanismo) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2021.

A arquitetura expandiu suas formas de atuação nas últimas décadas, devido a uma série de mudanças técnicas e tecnológicas digitais. A pesquisa aborda como as tecnologias de fabricação digital estão sendo aplicadas ao design, arquitetura e construção em instituições de ensino e pesquisa, Fab Labs e escritórios de design na América do Sul, engendrando uma historiografia do início dos anos 2000 até 2018. Os objetivos são: a) sistematizar os laboratórios na América do Sul; b) compreender as estratégias e aplicações das tecnologias; c) caracterizar as atividades de pesquisa, ensino, desenvolvimento técnico, processos, artefatos e as relações com o meio; d) identificar as especificidades do contexto local de produção; e) analisar o cenário local com base em uma perspectiva do norte global; f) elaborar teorias e direcionamentos práticos para a implementação de laboratórios e atividades situadas; g) conceber redes de conhecimento para conectar laboratórios e promover práticas colaborativas. Os métodos consistem em: a) revisão bibliográfica de tópicos relacionados à fabricação digital; b) revisão sistemática da produção acadêmica sobre fabricação digital desde 2000; c) mapeamento de informações sobre laboratórios da América do Sul e da Europa, que desenvolvem atividades relacionadas à arquitetura, design e construção; d) questionário para obter dados quantitativos e qualitativos sobre a operação de cada laboratório; e) estudos de caso por meio de visitas técnicas e entrevistas com responsáveis pelos laboratórios de fabricação digital na América do Sul e Europa. Foram mapeadas informações acerca de mais de 100 laboratórios de fabricação digital ativos na América do Sul, entre instituições de pesquisa, Fab Labs e escritórios de design. No geral, observamos três estágios de aplicação experimental de tecnologias de fabricação digital: 1) prototipagem de objetos, entendimento e desenvolvimento de habilidades técnicas; 2) criação e modelos em larga escala, investigação de curto e médio prazo; 3) pesquisa de longo prazo, resolvendo problemas técnicos e sociais, e promovendo transferências tecnológicas.

Palavras-chave: Laboratórios de fabricação digital; design arquitetônico; tecnologia; inovação; estudos de caso

ABSTRACT

SCHEEREN, R. **Digital fabrication in South America**: laboratories, strategies, processes and artifacts for design, architecture and construction. 2021. Tese (Doutorado em Teoria e História da Arquitetura e do Urbanismo – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo), São Carlos, 2021.

Architecture has expanded its ways of acting in recent decades, due to a series of digital technical and technological changes. The research addresses how digital fabrication technologies are being applied to design, architecture and construction in educational and research institutions, Fab Labs and design offices in South America, engendering a historiography from the early 2000s to 2018. The objectives are: a) to systematize laboratories in South America; b) understand the strategies and applications of technologies; c) characterize the activities of research, teaching, technical development, processes, artifacts and connections with the environment; d) identify the particularities of the local context of production; e) analyze the local scenario from a global north perspective; f) develop theories and practical guidelines for the implementation of laboratories and situated activities; g) design knowledge networks to connect laboratories and promote collaborative practices. The methods consist of: a) bibliographic review of topics related to digital fabrication; b) systematic review of academic production on digital fabrication since 2000; c) mapping of information about laboratories in South America and Europe, which develop activities related to architecture, design and construction; d) survey to obtain quantitative and qualitative data on the operation of each laboratory; e) case studies based on technical visits and interviews with those responsible for digital fabrication laboratories in South America and Europe. Information about more than 100 active digital manufacturing laboratories in South America was mapped, including research institutions, Fab Labs and design offices. Overall, we observe three stages of experimental application of digital fabrication technologies: 1) object prototyping, understanding and developing technical skills; 2) large-scale creation and models, short- and medium-term research; 3) long-term research, solving technical and social problems, and promoting technological transfers.

Keywords: Digital fabrication laboratories; architectural design; technology; innovation; case studies

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Linha de produção da Fiat Chrysler em Goiana, Pernambuco

Figura 02 – Adidas Speedfactory

Figura 03 – Waymo Self-Driving Car

Figura 04 – Relativity Space

Figura 05 – Marsha / Mars Habitat

Figura 06 – The third industrial revolution

Figura 07 – The fourth industrial revolution

Figura 08 – A transição entre as “revoluções industriais”

Figura 09 – Residências da Winsun impressas em partes e montadas no canteiro

Figura 10 – “The Bod”, primeira residência impressa 3d pela Cobod

Figura 11 – “The Chicon House”, da ICON

Figura 12 – “Gaia”, a primeira casa impressa 3D com terra

Figura 13 – A tecnologia da Apis Cor na construção da residência

Figura 14 – Visão acerca dos anos 2000

Figura 15 – Joseph-Marie Jacquard - Jacquard Loom, 1804

Figura 16 – Browne and Sharpe - Universal Miller (Universal Milling Machine), 1861

Figura 17 – Colossus, 1944

Figura 18 – Patente “Numerical Control Servo-System” e esquema do sistema de controle numérico da fresadora, de 1952

Figura 19 – Registro fotográfico da Card-a-matic Milling Machine

Figura 20 – Patente do método e tecnologia SLA

Figura 21 – Patente do método e tecnologia SLS

Figura 22 – Patente do método e tecnologia FDM

Figura 23 – RepRap “Darwin”

Figura 24 – Makerbot CupCake-CNC 3d printer

Figura 25 – Prusa i3

Figura 26 – Interface do Autocad 2.5 (versão 7), 1986

Figura 27 – Interface do Archicad 2.0, 1986

Figura 28 – Esquema da evolução do paradigma CAD para a do design computacional

Figura 29 – O espaço do “paperless studio” na Columbia University em 1994.

Figura 30 – “The Programmed Wall”, ETH Zurich, 2006

Figura 31 – Objectile, de Bernard Cache, 1995

Figura 32 – Cartaz exposição “Non standard Architectures”

Figura 33 – Golden Fish

Figura 34 – Zollhof Towers

Figura 35 – Ray and Maria Stata Center (MIT)

Figura 36 – Protótipo de elemento em escala da Sagrada Família, impresso 3d na ThermoJet da 3d Systems utilizando cera, 2001

Figura 37 – Processo de corte em pedra utilizando um braço robótico, para gerar um elemento da Sagrada Família

Figura 38 – mTable

Figura 39 – Vigyan Ashram FabLab, o primeiro estabelecido fora do MIT, em 2002

Figura 40 – FabLab SP, o primeiro no Brasil, criado em 2012, na FAUSP

Figura 41 – Fab Lab Barcelona, um dos mais conhecidos da Europa

Figura 42 – Wikihouse, SpaceCraftSystems, 2014

Figura 43 – Documentário “Maker”, 2014

Figura 44 – Livro derivado da revista “Make”

Figura 45 – O “maker movement manifesto”

Figura 46 – “The Robot and the Architect are Friends”, 2010

Figura 47 – Esquema com a linha do tempo dos eventos que formam base da

arqueologia do capítulo

Figura 48 – Protótipos-diagramas do paradigma topológico de modelagem

Figura 49 – Módulo de simulación dinámica com curvas splines

Figura 50 – Redes de líneas y moldes elásticos

Figura 51 – Projeto Casa Generativa

Figura 52 – Exposição “Homo Faber – Digital Fabrication in Latin America”

Figura 53 – Projeto Babel, 2010

AA Visiting School, Micro-revolutions

Figura 54 – La flexibilidad en la generación de formas

Figura 55 – Abrigos Sensíveis

Figura 56 – Arquitetura contemporânea e automação

Figura 57 – Homo Faber 1.0

Figura 58 – Homo Faber 2.0

Figura 59 – Número de publicações por ano com o termo fabricação digital no SIGraDi

Figura 60 – Número de publicações por país com o termo fabricação digital no SIGraDi

Figura 61 – Número de publicações por categoria relacionada ao termo fabricação digital no SIGraDi

Figura 62 – As tecnologias empregadas em cada publicação com o termo fabricação digital no SIGraDi

Figura 63 – Mapa dos laboratórios para a exposição Homo Faber, 2015

Figura 64 – Parte do mapa da rede de Fab Labs pelo mundo

Figura 65 – Mapa de laboratórios de fabricação digital pelo mundo no site Makery

Figura 66 – Mapa dos laboratórios distribuídos na América do Sul

Figura 67 – Linha cronológica da instalação ou início das atividades de alguns dos laboratórios

Figura 68 – Diagrama de redes a partir dos agrupamentos dos laboratórios mapeados

Figura 69 – Esquema de produção direcionada com o suporte da FD

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Alguns exemplos de profissionais que migraram dos locais de formação internacional e contribuíram diretamente para a criação de laboratórios

Tabela 02 – O número de publicações por ano

Tabela 03 – O número de publicações por país

Tabela 04 – O número de publicações por Instituições

Tabela 05 – O número de publicações por categorias

Tabela 06 – As tecnologias empregadas nos trabalhos:

Tabela 07 – Tipos de laboratórios, características e derivações encontrados com base na pesquisa

Tabela 08 – Lista de laboratórios por país

Tabela 09 – Agrupamentos de laboratórios em “conjuntos descritivos”

Tabela 10 – Categorias de análise para a avaliação do material empírico obtido

SUMÁRIO

Apresentação **21**

1. Introdução **25**

2. Arqueologia de um futuro prometido **33**

3. Fabricação Digital na América do Sul **101**

4. Elementos para um itinerário critico **213**

5. Conclusão **261**

Referências bibliográficas **275**

Apêndices **297**

APRESENTAÇÃO

A presente pesquisa tem a sua base no trabalho efetuado para a exposição "Homo Faber: Digital Fabrication in Latin America", durante a Conferência Internacional CAAD Futures, realizada em São Paulo, em 2015. A convite da professora Gabriela Celani (UNICAMP), o professor David M. Sperling (USP) mobilizou um questionário para avaliar informações sobre agentes envolvidos com o uso de tecnologias de fabricação digital nas áreas da arquitetura, design, e construção. O trabalho de concepção e desenvolvimento envolveu o professor Pablo C. Herrera (UPC-Perú), além de membros do nosso grupo de pesquisa, o Núcleo de Estudos das espacialidades Contemporâneas do IAU-USP, incluindo a minha contribuição. Como resultado, apresentou projetos de 24 laboratórios consolidados e emergentes em seis países sul-americanos, que foram criados entre 2005 e 2014, por meio de um material expográfico inédito exibido na sede da Associação Escola da Cidade, em São Paulo, entre 7 e 31 de julho de 2015, além da publicação de um catálogo que está acessível ao público.

Ao percebermos o potencial de expansão da investigação acerca de outros laboratórios existentes, foi possível delinear um projeto de pesquisa que englobasse um mapeamento amplo, para sistematizar os agentes e os tipos de espaços envolvidos, além da apropriação e aplicação da fabricação digital nas áreas da arquitetura, design, e construção. O interesse por essa demarcação proveio da falta de estudos de escala em relação ao uso das tecnologias de fabricação digital, e a permeabilidade desse tema nas práticas contemporâneas enquanto um campo ampliado de conhecimento, tanto para o ensino e a pesquisa, quanto para as práticas profissionais, espaços institucionais e de serviços. Desse modo, a finalidade da pesquisa foi visualizar a atualidade desse domínio em nosso contexto, configurando uma representação única, capaz de ser explorada de maneira aprofundada em análises posteriores, além de sistematizar características dos distintos laboratórios.

O texto da tese se conforma em 5 capítulos. No primeiro capítulo, da introdução,

é apresentada uma breve descrição sobre o tema da fabricação digital, os objetivos, o problema e a hipótese, além dos métodos e procedimentos utilizados. O segundo capítulo sistematiza a revisão bibliográfica dos principais tópicos relacionados à fabricação digital, seguindo a estratégia da arqueologia, com o intuito de organizar as discursividades que perpassam tópicos fundamentais e que determinam as condições de campo para a emergência de contextos tecnológicos mais específicos. Nele, muitos pontos são lançados e permanecem em aberto, para serem discutidos de maneira aprofundada no capítulo 4, após serem interpretados à luz das informações empíricas acerca dos laboratórios. O terceiro capítulo apresenta o conjunto de informações mapeadas sobre as aplicações da fabricação digital na América do Sul. O quarto capítulo apresenta a análise e discussão das informações obtidas, com o intuito de aprofundar, de uma maneira crítica, o olhar em relação aos distintos tópicos, cenários e contextos observados. O quintoo capítulo apresenta a conclusão do trabalho, sintetizando os resultados obtidos e explicitando uma teoria geral acerca da aplicação das tecnologias de fabricação digital em nosso contexto, criando um modelo interpretativo e de orientação para o desenvolvimento dos laboratórios nas áreas de arquitetura, design e construção civil.

1. INTRODUÇÃO

A arquitetura contemporânea se apresenta por meio de diversos acontecimentos, incorporando avanços técnicos e tecnológicos, de linguagem e de expressão. Para além de resultados construídos, tornou-se um campo de estudos em relação aos seus processos de constituição. A Fabricação Digital (FD), como tema central dessa pesquisa, é um destes elementos, envolvendo o modo como diversas tecnologias de manufatura podem contribuir para a materialização de conceitos e ideias, com distintas aplicações nas etapas e nos procedimentos de projeto. A origem do tema remonta ao suporte e criação, no cenário internacional, de projetos arquitetônicos, propostas de design de objetos, atividades de ensino e pesquisa, além da infraestrutura e do maquinário desenvolvido e instalado em espaços situados, principalmente, em contextos de países de "primeiro mundo". Logo, é comum encontrar material de divulgação acerca de tais fatos históricos, advindos dos contextos do norte global, tais como Estados Unidos e Europa. Contudo, ao averiguarmos fontes semelhantes em nosso contexto sul-americano, percebemos certa escassez em relação ao que é produzido e divulgado localmente, em termos de análise das estratégias de assimilação, desenvolvimento e aplicação das novas tecnologias de FD. Para além disso, tornou-se interessante compreender quais eram as especificidades concernentes aos resultados desses processos, ou seja, o que há de significativo que nos diferencia de meros receptores do conjunto de fatores e possibilidades de criação propagados do hemisfério norte.

Pensar em tecnologias e máquinas como tema central de uma pesquisa pode parecer um pouco inusitado quando estamos acostumados a abordar de maneira teórica e historiográfica projetos e eventos já consolidados na arquitetura. Isso muda de figura quando compreendemos a fabricação digital não apenas como um meio de aplicação dos novos processos, mas como locus de interpretação da mudança de determinados paradigmas e transformações culturais que permeiam os estudos da ciência, tecnologia e sociedade (STS), como algo que permeia conjuntamente mudanças políticas, sociais, econômicos e de inovação nos setores de produção. De maneira mais concreta, examinamos a manifestação dos usos destas tecnologias no que denominamos

"laboratórios", ou seja, espaços formalizados ou nucleados que, com infraestrutura própria ou compartilhada, procuram desenvolver procedimentos experimentais e materializar projetos usufruindo das técnicas e do maquinário relacionado à FD. Os laboratórios tornam-se agentes centrais num processo de mudança cultural e de apropriação de novas tecnologias como elementos constituintes dos modos de pensar, criar e operacionalizar estratégias, processos e artefatos, determinando identidades de produção. Nesse sentido, acreditamos estar em posição privilegiada para desenvolver um pensamento crítico sobre o tema, compreendendo como a sua transposição foi capaz de impressionar pesquisadores, potencializar processos de projeto e na produção. Isso significa, também, lidar com uma temática que, a princípio, não está na esfera da necessidade imediata das práticas arquitetônicas e construtivas em nossa realidade sulamericana, devido à existência de problemas infraestruturais mais urgentes e à dificuldade de integrar rapidamente novas tecnologias..

A Fabricação Digital transformou-se em um fenômeno disseminado em instituições e práticas projetuais, por meio de diversas influências advindas, principalmente, do norte global. Assim, surge a importância de compreendermos a formação do cenário local de maneira ampla e em perspectiva ao cenário global, como definidora de estratégias que estão guiando formas particulares de criação e, desse modo, estabelecendo novos direcionamentos para a aplicação dessas tecnologias também em nosso contexto. O principal objetivo do trabalho é mapear, sistematizar e visibilizar o estado da arte da fabricação digital aplicada à arquitetura, ao design de objetos e à construção na América do Sul, circunscrito à nossa realidade cultural, social e econômica. Conjuntamente, apresenta uma perspectiva histórica de parte do cenário do uso de tecnologias de computação e da manufatura digital em nosso continente, com um recorte histórico dos anos 2000 até o ano de 2018 – considerando os anos iniciais da vinda de profissionais do exterior e as primeiras aquisições de máquinas, até o ano de consolidação da nossa pesquisa. Os objetivos específicos consistem em apreender os fenômenos vinculados à fabricação digital que emergiram no cenário global da arquitetura; compreender as estratégias e aplicações das tecnologias em nosso contexto; caracterizar os atores, as atividades de pesquisa, de ensino, das práticas profissionais e de serviços e as relações com o meio; identificar as especificidades do contexto local de produção, do desenvolvimento técnico e criação de artefatos; elaborar interpretações e direcionamentos práticos para a implementação de laboratórios, políticas e atividades situadas; conceber uma rede de experiências a partir da categorização dos laboratórios e suas atividades, para permitir o seu reconhecimento mútuo e fomentar processos de transferência de conhecimento e práticas colaborativas.

Os métodos e estratégias guiaram, de maneira exploratória, os procedimentos para a obtenção de um conjunto de dados para a pesquisa. Revisão bibliográfica de tópicos relacionados à fabricação digital, para reconhecer um corpo de informações existentes que contêm relevância conceitual sobre o tema de investigação (WANG; GROAT, 2002, p. 46) no cenário global. Revisão sistemática da produção acadêmica sobre fabricação digital em repositórios específicos, para identificar, por meio de estratégias determinadas preliminarmente, o escopo do tema e evidenciar uma série de elementos particulares existentes nas publicações científicas em determinados contextos, como uma forma de dar sentido a grandes conjuntos de informações e um meio de contribuir para as respostas às perguntas sobre o que funciona e o que não (PETTICREW; ROBERTS, 2006). Mapeamento de informações sobre laboratórios na América do Sul em repositórios, websites e redes sociais, que desenvolvem atividades associadas à utilização das tecnologias de fabricação digital na arquitetura, design de objetos e construção, para identificar, organizar, categorizar, inter-relacionar e sequenciar graficamente informações e redes que se encontram em um circuito complexo de referências e relações, por uma ação que surgiu como um meio para tornar o complexo acessível, em um processo sempre em andamento (ABRAMS; HALL, 2006).

Aplicação de questionário para obtermos dados quantitativos e qualitativos sobre a operação de cada laboratório na América do Sul, por meio de um formulário online contendo perguntas fechadas e abertas baseadas nas seções temáticas intituladas “informações institucionais e de infraestrutura”, “fabricação digital e referências”, e “a identidade da produção”, baseadas em variáveis de escolha e na correta tradução dos conceitos para a formulação das questões, evitando ambiguidades (SARIS; GALLHOFER, 2014). Estudos de caso como investigações empíricas de fenômenos no contexto vivido, caracterizados pelo foco na condição da qual emergem, pela capacidade de explicar nexos causais, ou acompanhados pelo desenvolvimento teórico, a utilização de múltiplas fontes de evidência e a capacidade de generalizar para a teoria que possa ser testada em outros experimentos (WANG; GROAT, 2002, p. 346). Estes se basearam, principalmente, em visitas técnicas aos espaços dos laboratórios, conjugados com entrevistas no formato semi-estandardizado, em que há uma estruturação de perguntas, mas que permite flexibilidade de ajustes e abertura a complementações (LUNE; BERG, 2017, p. 69), realizadas com os responsáveis pelos laboratórios de fabricação digital na América do Sul. A base da pesquisa foi ampliada durante o estágio doutoral no Department of Architecture, Built environment and Construction engineering (ABC

Department) do Politecnico di Milano, em que foi possível aprofundar a compreensão do contexto europeu dos laboratórios e das tecnologias vinculadas à fabricação digital, utilizando os métodos já aplicados na América do Sul.

As abordagens e interpretações das informações obtidas aconteceram de distintas formas. A história cultural é utilizada com a finalidade de descobrir padrões culturais por meio de símbolos e temas que estão expressos em determinados momentos na sociedade (BURKE, 2008, p. 19). Esses padrões acabam por revelar pistas sobre como o conhecimento é aplicado, quais ações e atividades estão em pauta. Parte-se de uma escala de análise que fornece à experiência dos atores sociais determinada significação e importância frente ao jogo das estruturas e à eficácia dos processos sociais maciços (REVEL, 1998, p. 10), tentando compreender de que maneira retalhos de experiências dão acesso a lógicas sociais de grupos, ou mesmo de conjuntos muito maiores, reconstruindo em torno da experiência dos atores o contexto que lhe dá sentido e forma (REVEL, 1998, p. 13).

Essa redução de escala nos interessa devido à necessidade de relatar a história de cada região de projeção das atividades de fabricação digital, atreladas aos laboratórios mapeados. A ênfase da historiografia se desdobra sobre a análise do paradigma das práticas relacionadas ao objeto de estudo. A abordagem da tese é articulada com uma visão focada às emergências regionais, em que "as histórias locais estão assumindo o primeiro plano e, da mesma forma, revelando as histórias locais das quais emergem os projetos globais com seu ímpeto universal" (MIGNOLO, 2003, p. 46), explicitando não somente algumas relações de poder manifestas nessa condição, mas também a oportunidade de considerar o outro lado da história, enquanto liberação de um horizonte cultural localizado (MIGNOLO, 2018). Desse modo, seguimos um posicionamento crítico "resistente às operações conciliatórias de confirmação de uma cultura dominante e, no entanto, irredutível a uma estrutura puramente formal, desvinculada das contingências de lugar e tempo" (HAYS, 1984, p. 15).

Como hipótese, consideramos que a fabricação digital, apesar de todas as suas promessas globais e mesmo vinculadas a algumas dinâmicas já em exercício no nosso contexto, pouco alterou as práticas vigentes na arquitetura, design de objetos e construção da América do Sul, devido a ter sido assimilada em projetos muito particulares e aplicada de maneira complementar, e não como prática transformadora das atividades em andamento. Este quadro já apresenta uma série de avanços frente

aos entraves culturais existentes nesses meios, mas com os processos e resultados da fabricação digital ainda apresentando certo grau de dependência e reprodução de informações, técnicas e projetos provenientes do exterior, com autonomia local em dinâmica crescente, mas ainda circunscrita em termos de proposição de projetos originários. Isso ocorre devido aos contrastes identificados em quatro campos. O primeiro, das formações discursivas e do pensamento crítico acerca da apropriação tecnológica e de temas de projeto para suprir necessidades e adaptações sociotécnicas locais – dimensão teórica. O segundo, da alocação de esforços na criação de redes de conhecimento e políticas de investimento baseadas nos problemas de arquitetura, design e construção encontrados em cada região ou comunidade – dimensão contextual. O terceiro, da consolidação de experimentos, projetos e processos de inovação baseados em técnicas e na cultura da produção local, incluindo agentes da comunidade e saberes tradicionais, evitando apenas reproduzir práticas do exterior – dimensão do design. O quarto, das transferências de tecnologia entre diversas instituições e setores produtivos, a fim de ampliar a efetividade da produção material baseada na digitalização – dimensão tecnológica.

De maneira central, a investigação trata de compreender a relação entre a condição inicial e atual dos laboratórios na América do Sul, e o que os distingue entre si, para identificar as especificidades de sua produção, condicionantes e oportunidades oriundas de cada local. O interesse da pesquisa é o de investigar como está ocorrendo a apropriação da fabricação digital em processos de criação e na produção de artefatos vinculados ao contexto histórico e cultural sul-americano, que partem de distintos propósitos, demandas e problemas a serem resolvidos. As tecnologias de fabricação controladas digitalmente têm adquirido certa distinção na cultura da produção da arquitetura contemporânea, combinadas à expansão do uso de software de modelagem associativa de geometrias, como os paramétricos e algorítmicos, e os de modelagem da informação (BIM), que possibilitam variações formais, adaptações e controle refinado do fluxo de informações do projeto. Essa predominância não se deve unicamente às questões tecnológicas, mas também, e principalmente, a um elemento central que permeia a constituição da pesquisa: a emergência de "formações discursivas" (FOUCAULT, 1987) relacionadas ao tema.

A ideia de uma formação discursiva estabelece o domínio e as relações para que um objeto se torne objeto de saber. Sendo assim,

> no caso em que se puder descrever, entre um certo número de enunciados,

> semelhante sistema de dispersão, e no caso em que entre os objetos, os tipos de enunciação, os conceitos, as escolhas temáticas, se puder definir uma regularidade (uma ordem, correlações, posições e funcionamentos, transformações), diremos, por convenção, que se trata de uma formação discursiva – evitando, assim, palavras demasiado carregadas de condições e consequências, inadequadas, aliás, para designar semelhante dispersão, tais como "ciência", ou "ideologia", ou "teoria", ou "domínio de objetividade". (FOUCAULT, 1987, p. 43)

Uma formação discursiva se define se puder mostrar como qualquer objeto do discurso em questão encontra seu lugar de aparecimento, sendo que as relações estabelecidas em cada contexto não definem os objetos em si mesmos, mas o que lhes permite aparecer, suas condições de aparecimento histórico (FOUCAULT, 1987, p. 50-55). No caso da pesquisa, essa abordagem Foucaultiana revela como objeto a emergência da fabricação digital predominando como tema de investigação relacionado às possibilidades exercidas pelas novas tecnologias. Esses discursos constituem seus objetos por meio de regras de formação, suas condições de existência, seus limites e correlações com outros enunciados, elaborando-os e os transformando (FOUCAULT, 1987, p. 31-37). São necessárias condições para que um objeto de discurso apareça, para que se inscreva num domínio com outros objetos, e "isto significa que não se pode falar de qualquer coisa em qualquer época", ou seja, o objeto existe sob as condições positivas de um feixe complexo de relações (FOUCAULT, 1987, p. 51). As condições de emergência do objeto de pesquisa dizem respeito a um domínio que conforma sistemas técnicos cada vez mais racionalizados e instrumentalizados para atender a finalidades específicas, contemplando novos modos de produzir (SANTOS, 2013). O quesito técnico também satura a disciplina contemporânea da arquitetura, como papel central no oferecimento de conhecimentos e soluções informados pelo modelo das ciências naturais e dos dados quantitativos (ALEXANDER; MAY, 2020).

As informações revisadas bibliograficamente e os dados coletados empiricamente configuram um extenso material resultante do longo período de pesquisa, o qual se pretende apresentar e interpretar considerando toda a complexidade envolvida. Logo, a trama textual concebida nessa tese sintetiza uma série de elementos com a finalidade de configurar um quadro geral e, desse modo, compartilhar as informações, impressões, interpretações e direcionamentos revelados durante o processo. As condições específicas para que o objeto de discurso consoante ao tema da pesquisa apareça no horizonte histórico global e local estão expostas nos capítulos a seguir.

2. ARQUEOLOGIA DE UM FUTURO PROMETIDO

Fabricação digital [ação, efeito ou modo]

O capítulo delineia uma narrativa sobre o aparecimento, impacto e destino das tecnologias de fabricação digital auxiliando nos processos de projeto, estruturando partes de um quebra-cabeças vinculado a história contemporânea da arquitetura, do design e da construção. A sua delimitação ocorre na tentativa de compreender um conjunto de acontecimentos que se sucederam de modo não linear e que, até o momento, constituíram o campo temático da pesquisa. Esse horizonte se estabeleceu devido ao alcance e a convergência de alguns fatores: a) a pervasividade dos processos digitais no design de objetos, nos projetos arquitetônicos e no planejamento de obras; b) o estabelecimento de princípios teóricos formativas que alicerçaram determinadas práticas, e que também se institucionalizaram na área acadêmica; c) a introdução de máquinas de outros setores produtivos, adaptadas e articuladas às finalidades específicas de fabricação para o design, a arquitetura e a construção.

A noção de arqueologia de Foucault (1987) é utilizada como estratégia de organização do capítulo[1]. A arqueologia, a medida que se propõe reconstruir temas não unicamente baseados em cronologias ou séries temporais, demarca um campo enunciativo e analisa o grau e a forma de permeabilidade de um discurso, apresentando os princípios de sua articulação com uma cadeia de acontecimentos (FOUCAULT, 1987, p. 192). Ademais, expressa o conjunto das condições nas quais se exerce a função enunciativa e define a sua existência (FOUCAULT, 1987, p. 165), registrando

1 Baseado nas recentes constatações acerca de um conjunto de publicações, chamou a atenção as que abordam temas correlatos por meio da noção de arqueologia, como o fundamental livro editado por Greg Lynn, de 2013, "Archaeology of the Digital", o livro editado por Andrew Goodhouse "When Is the Digital in Architecture?", de 2017, além dos livros "Are We Human? Notes on an Archaeology of Design", de Beatriz Colomina e Mark Wigley, lançado em 2017 – que mesmo não tratando do tema do digital, é um interessante exemplo de sistematização de categorias temáticas relacionados ao papel do design redefinindo o nosso meio e a nós enquanto humanos –, e "Design Technics: Archaeologies of Architectural Practice", editado por Zeynep Çelik Alexander e John May, lançado em 2020 – categorizando as principais técnicas de concepção e desenvolvimento de projeto.

algumas rupturas na continuidade histórica. Desse modo, certos tópicos podem ser reorganizados a fim de conceber quadros especulativos indicando a emergência de determinadas formações discursivas que infletem nas práticas de utilização das novas tecnologias: "certamente, o aparecimento de uma formação discursiva se correlaciona, muitas vezes, com uma vasta renovação de objetos, formas de enunciação, conceitos e estratégias" (FOUCAULT, 1987, p. 196). De maneira complementar, a descrição do espaço de emergência dos objetos não cabe tanto à arqueologia, mas à genealogia (STIVAL, 2019, p. 283), em que a identificação das condições de existência efetuada pela primeira é complementada pela identificação da constituição dos objetos em suas camadas históricas pela segunda.

O fenômeno investigado – objeto de discurso – está ocorrendo da passagem dos modos de projeto e materialização tradicionalmente utilizados na construção para os processos digitais, em que o virtual é reinstanciado na produção material informada por meio da manufatura controlada digitalmente. Essa premissa não está contribuindo apenas para o surgimento de outros espaços de criação – como os laboratórios de fabricação digital – ou novos conhecimentos – na utilização de tecnologias de manufatura industrial para a produção –, mas instigando distintas linhas de pesquisa, influenciando no modo como estamos adquirindo esses saberes e nas potencialidades de aplicação na prática arquitetônica. Ao mesmo tempo, impõe uma série de desafios em relação aos tipos de maquinário – sua acessibilidade e adequação nos diferentes contextos –, à condição laboral e às exigências de um domínio técnico especializado, além da efetividade da aplicação de estratégias que utilizem as tecnologias digitais como suporte para a manufatura de artefatos no canteiro ou via pré-fabricação.

A concepção de fabricação digital não tem uma origem ou definição única, mas se desdobra a partir dos avanços da capacidade de criação e controle dos processos por meio de dispositivos digitais. Ancorados nos experimentos do design digital (ou digital architecture) já em reconhecimento desde os anos de 1990 (LIU, 2002), com o uso de ferramentas computacionais e técnicas de modelagem como meios para a formulação de projetos com maior liberdade propositiva, passamos a absorver a produção de objetos físicos com "máquinas e ferramentas que integram variados processos de manufatura" (CANEPARO, 2014, p. 4), sendo "um método que utiliza dados digitais para direcionar um processo de fabricação" (DUNN, 2012, p. 18). Desse modo, o termo agrega um escopo mais amplo, ao convergir desde tecnologias "rudimentares", ativadas por controle numérico em "processos subtrativos de fabricação que incluem a maioria das formas de processos de usinagem" (CHUA; et al., 2003, p. 25), incluindo

as tecnologias de prototipagem rápida – também conhecidas como Solid Freeform Fabrication, Desktop Manufacturing ou Layer Manufacturing Technologies –, que "fornecem essa ponte da conceituação do produto à realização do produto de uma maneira razoavelmente rápida" (CHUA; et al., 2003, p. xiii). De maneira geral, diz respeito ao que anteriormente era denominado CAD/CAM (computer-aided design/computer-aided manufacturing), "processos que há muito são comuns na indústria de manufatura e, no início da década de 1990, estavam começando a penetrar na arquitetura" (MITCHELL; MCCULLOUGH, 1995), para a produção em diversas escalas e também para reduzir a dependência de componentes de construção padronizados.

A fabricação digital se constitui como campo de interesse dependente da sua dimensão de inscrição em cada contexto ou setor de produção, que pode estar presente em indústrias, makerspaces, instituições de ensino e pesquisa, além de empresas e prestadores de serviços. Há um espectro de tecnologias envolvidas: desde dispositivos de fabricação acessíveis que podem ser "construídos pelo próprio usuário a partir de projetos open-source e equipamentos de baixo custo" (NASCIMENTO; PÓLVORA, 2018, p. 928), até maquinário avançado, que representa "o estado da arte das tecnologias industriais disponíveis" (NABONI; PAOLETTI, 2015, p. 29). A compreensão de suas ações varia desde o desenvolvimento de projetos práticos a longo prazo, o suporte colaborativo em atividades experimentais de ensino e investigação (GARBER; JABI, 2006), até a disponibilização das tecnologias para a participação cidadã (NASCIMENTO; PÓLVORA, 2013). A criação utilizando as tecnologias de fabricação digital alude ao efeito de inovação, à possibilidade de produção facilitada e controlada de objetos customizados, muitas vezes, com formas complexas, além do aprimoramento de técnicas e uso diversificado de materiais. Em suma, com frequência apreendida de uma maneira técnica e positiva, permite a instauração de uma série de procedimentos de design que impõem, conjuntamente, considerações econômicas, políticas e culturais.

O ideal da automação e do controle

Não é incomum nos defrontarmos historicamente com temas que pretendem deslocar as fronteiras da arquitetura, por mais "excêntricos" que possam parecer à sua condição disciplinar, incorporados a fim de construir uma visão de futuro. Ao avaliarmos o momento contemporâneo da disciplina, esse tipo de inspiração provém de uma série de externalidades, que a adentraram a partir de meados do século passado[2]. Em nosso

2 Investiguei na dissertação de mestrado "Diagrama, dobra e parâmetro nos processos de projeto: assimilação

momento presente, é pervasiva a aproximação com a inteligência artificial, a robótica e temas correlatos, o que eu gostaria de denominar como "ideologia da autonomia", vinculada ao controle dos processos. Oriunda de setores produtivos que implementam a intitulada "indústria 4.0", essa estratégia se desdobra por meio do controle de dados, e do funcionamento flexível e otimizado dos equipamentos. Assim como em outras áreas, a sua implementação é signo da busca por eficiência no processo de produção, precisão nos resultados e adequação da logística de distribuição dos objetos. Desse modo, cabe pensar como determinadas estratégias podem ser transladados entre setores, sem acarretar uma distorção dos seus fundamentos, ou mesmo compreender o que se torna prioridade em termos de desenvolvimento local, frente às diversas e complexas tecnologias. A estratégia também contempla um horizonte de exportação tecnológica àquelas regiões que ainda não são capazes de produzi-las, legando hierarquias e lacunas de desenvolvimento às que não seriam capazes de acompanhá-la.

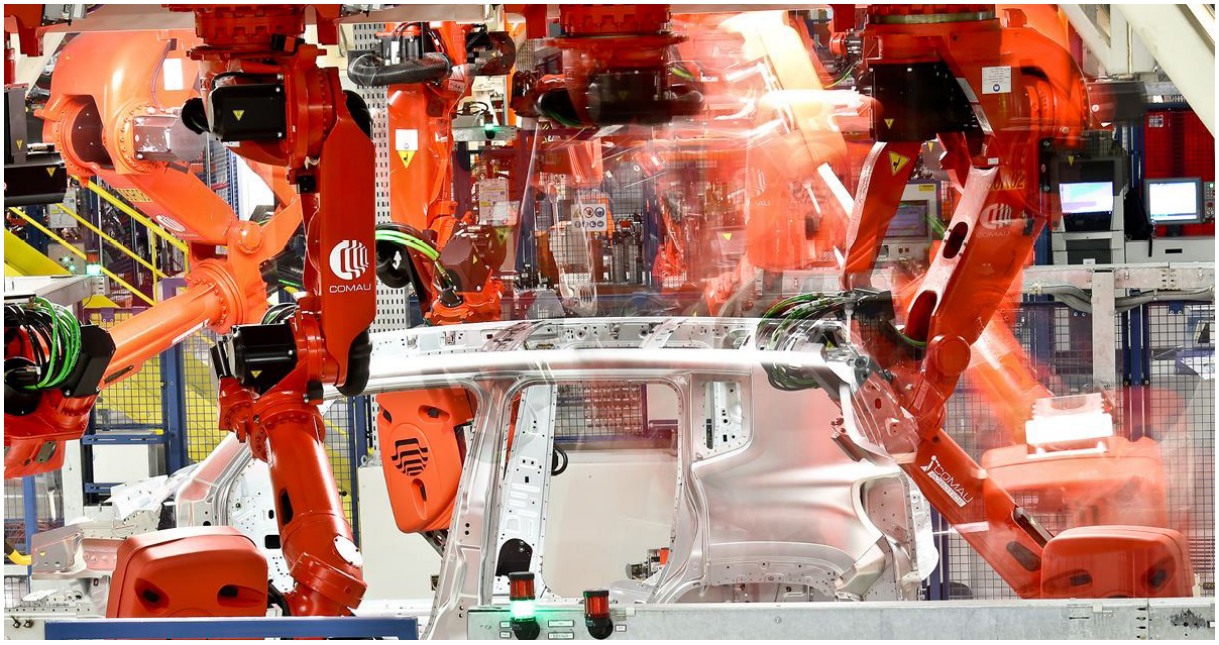


Figura 01 – Linha de produção da Fiat Chrysler em Goiana, Pernambuco

A linha de produção de automóveis é comumente reconhecida como exemplo de automação de um processo em série, que garante rapidez e precisão, evitando erros de repetição e a interferência humana.

Fonte: https://revistapesquisa.fapesp.br/inovacao-perde-folego-no-pais/

Rafael Neddemeyer/ Fotos Públicas

conceitual, técnica e tecnológica na arquitetura contemporânea" (PPG-IAU-USP), um recorte acerca do avanço do pensamento computacional a partir de três temas e três autores representativos do período contemporâneo da arquitetura, e algumas estratégias que já apontavam para o seu aparecimento em processos analógicos e em teorias aplicadas aos processos digitais. Na investigação, percebemos um descompasso no interesse pelo papel da teoria como instauradora da dimensão experimental na arquitetura, principalmente em suas fontes filosóficas, em virtude de um pragmatismo das ações voltadas ao fazer e o alcance de resultados projetuais efetivos, potencializadas pela emergência de aparatos técnicos e tecnologias computacionais. Nesse âmbito, a fabricação digital é apresentada como uma das muitas vias de exploração dessa vertente pragmática.

Entre as indústrias e serviços que implantaram esse tipo de sistema, um exemplo representativo é a concepção da "Speedfactory"[3], da Adidas, uma instalação de alta tecnologia que emprega maquinário controlado digitalmente para a criação de cada parte de um tênis, numa cadeia de produção mecanizada por robôs, máquinas têxteis, impressoras 3d e máquinas de corte a laser. Dentre as fábricas com linha de montagem e produção, a automação na indústria automotiva[4], que já estava presente por meio de braços robóticos adaptados, emprega também escaneamento digital e inteligência artificial, robôs móveis e cobots. Além dela, empresas como a Amazon[5] estão implantando sistemas automatizados de empacotamento em seus depósitos, incluindo o apoio de robôs móveis para a logística interna e entrega de mercadorias.

Figura 02 – Adidas Speedfactory

Fonte: https://www.agenciacma.com.br/speedfactory-adidas/

Figura 03 – Waymo self-driving car

Fonte: https://primerhub.com/self-driving-cars/waymo

Outra área que tem recebido esse tipo de investimento é a de veículos autônomos, com projetos que utilizam sistemas de reconhecimento das informações e feedback sendo desenvolvidos pelo Google (Alphabet), Volvo e Tesla[6]. Além do horizonte terrestre, há referências aplicando tecnologias digitais para otimizar o futuro das viagens espaciais. Uma delas é a empresa Relativity Space[7], utilizando robôs, controle de software e inteligência artificial para produzir peças de propulsores de foguetes por meio da impressão 3D com metal. Em outra oportunidade de implementar essas tecnologias, a empresa AI SpaceFactory, que ganhou o NASA's 3D Printed Habitat

3 Algumas informações complementares em <https://www.supplychaindive.com/news/adidas-speedfactory-blunder-distributed-operations/571678/>.

4 Informações complementares em <https://roboticsandautomationnews.com/2020/02/24/special-report-robotics-and-automation-in-automotive-manufacturing-and-supply-chains/30374/>.

5 Como apresentado na reportagem <https://www.reuters.com/article/us-amazon-com-automation-exclusive/exclusive-amazon-rolls-out-machines-that-pack-orders-and-replace-jobs-idUSKCN1SJ0X1>.

6 Waymo, da Google <https://waymo.com/>, Autonomous driving, da Volvo <https://www.volvocars.com/en-kw/own/own-and-enjoy/autonomous-driving>, e o Autopilot, da Tesla <https://www.tesla.com/autopilot>.

7 Mais informações em <https://www.relativityspace.com/>.

Challenge com a proposta denominada "Marsha"[8], apresentou um projeto de habitação para Marte que utiliza um sistema montável para impressão 3d do invólucro utilizando material biodegradável com extrato de rocha basáltica do solo marciano.

Figura 04 – Relativity Space

Fonte: https://www.geekwire.com/2018/relativity-space-raises-35-million-boost-3-d-printed-rocket-venture-new-heights/

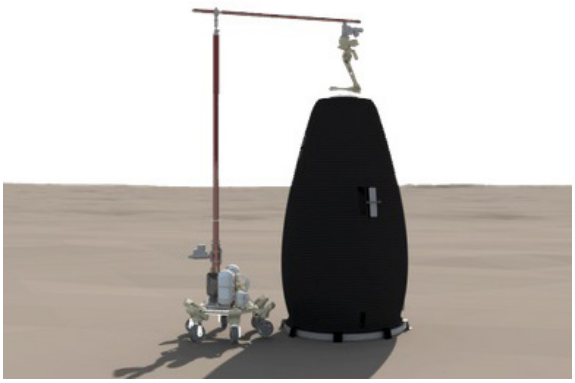


Figura 05 – Marsha / Mars Habitat

Fonte: https://www.aispacefactory.com/marsha

Antes de avançarmos em uma visão extremamente positiva em relação às tecnologias digitais, cabe aqui compreender o que está por trás da difusão das novas tecnologias automatizadas de manufatura e controle, desenvolvidas recentemente para distintos setores produtivos. Por meio desses sistemas, é possível substituir um gasto contínuo de mão de obra do trabalhador assalariado por um gasto fixo com aquisição de maquinário mais os custos de manutenção, além de envolver o controle direto das funções da máquina em vez de lidar com as incertezas dos desejos e contratempos da sua manipulação por meio do ser humano. Além disso, há maior precisão na execução das tarefas que diminuem os riscos de acidentes, o que, na visão de Greenfield (2017), pode ser resumido nos termos: baixo custo, segurança, confiabilidade e obediência (p. 170). De modo geral, esse termo diz respeito a dois discursos que emergiram recentemente no panorama do norte global: a "terceira revolução industrial" e a "quarta revolução industrial". Cada um, a seu modo, floresceu em um contexto específico, sendo o primeiro nos Estados Unidos, e o segundo na Europa.

Seguindo Rifkin (2011), discursos como esses representam o surgimento de narrativas que intencionam conectar distintos projetos "para contar uma história convincente de uma nova visão econômica para o mundo". A primeira delas, apesar de não envolver fatos exclusivamente novos, recebeu atenção devido à formulação divulgada pela revista "The Economist", em sua reportagem de capa em abril de 2012,

8 Informações adicionais do projeto em <https://www.aispacefactory.com/marsha>.

como a "terceira revolução industrial". O seu intuito foi o de promover um "renascimento" e recuperar a relevância do setor de manufatura em economias desenvolvidas e altamente industrializadas, a fim de superar a dependência do setor de serviços, vinculadas às despesas em pequisa e desenvolvimento que, consequentemente fomentariam a inovação e a competitividade. De maneira específica, o potencial transformador emerge da digitalização dos processos de produção, baseados em demandas particulares e customização, novos materiais e técnicas, o advento da impressão 3D[9] e suas possibilidades de produção local, além da aproximação com o produtor e o consumidor por meio do oferecimento de serviços complementares. A edição da revista defende que a soma desses fatores têm um potencial disruptivo para que se dissemine em diferentes áreas de produção. Independente da sua realidade de implementação, a reportagem exalta, principalmente, o contexto Estadunidense de desenvolvimento tecnológico e o torna um modelo de referência das estratégias a serem adotadas.

Não muito distinta dessa idealização está a aposta pelo alcance da "indústria 4.0", de uma forma generalizada, nos setores produtivos. Representativo dessa visão são os prognósticos que apontam para uma "revolução industrial" em marcha, mas, nesse caso, a quarta, de acordo com Klaus Schwab (2015), economista fundador do Fórum Econômico Mundial. Esse discurso economicamente positivo argumenta que as tecnologias digitais estão se tornando pervasivas em nossas vidas e criando disrupções com a velocidade e em proporções nunca antes vistas. Segundo ele, "essas possibilidades serão multiplicadas por avanços tecnológicos emergentes em áreas como inteligência artificial, robótica, Internet das Coisas, veículos autônomos, impressão 3D, nanotecnologia, biotecnologia, ciência de materiais, armazenamento de energia e computação quântica". Em consonância com essas diretrizes, não é a toa que o "manifesto de Davos 2020"[10] estabelece o futuro das companhias sob a ótica de uma quarta revolução industrial, a fim de fixar um modelo tecnológico e, assim, disseminar as estratégias formuladas desde uma centralidade – econômica, cultural, industrial e política –, remetendo a fatores como o da criação de valor, subsidiária à necessidade

9 A implementação das tecnologias de impressão 3d tem alcançado grande repercussão e interesse, principalmente desde o início dos anos 2010 e seu ciclo de "hype" <https://www.visualcapitalist.com/technology-hype-cycles-2000-2018/>, aumentando exponencialmente seu valor e participação de mercado para aproximadamente $10 Bi <https://www.visualcapitalist.com/3d-printing-shaping-business/>, com potencial de aplicação em cada vez mais setores e usos de materiais <https://www.visualcapitalist.com/3d-printing-changing-manufacturing/>, com grandes investimentos de empresas já tradicionais nos setores tecnológicos, mas também companhias inovadoras nesse conhecimento, para o fornecimento de máquinas e serviços, com as principais originárias dos EUA ou Europa <https://www.3dsourced.com/rankings/most-valuable-3d-printing-companies/>.

10 O manifesto pode ser conferido em <https://www.weforum.org/agenda/2019/12/davos-manifesto-2020-the-universal-purpose-of-a-company-in-the-fourth-industrial-revolution/>.

de contínua inovação.

Figura 06 – The third industrial revolution

Fonte: https://www.economist.com/weeklyedition/2012-04-21

Figura 06 – The fourth industrial revolution

Fonte: https://www.weforum.org/about/the-fourth-industrial-revolution-by-klaus-schwab

Para além de um modelo, essa estratégia se tornou um projeto gestado na Alemanha no início dos anos 2010, em que "o plano era a defesa da produção física, da produção das coisas, campo em que a Alemanha era forte" (SANGÜESA, 2018), além da sua tradição, incluindo outros países da Europa, presente em distintos setores da indústria pesada. Aos poucos, isso foi se constituindo como uma nova narrativa para expandir mercados de investimento tecnológico, e para fazer frente aos representantes da era digital, como os Estados Unidos e a emergente força produtiva da manufatura na China. Esse paradigma se refere à ascensão da automação e das fábricas inteligentes, constituídas por diferentes módulos de produção que podem ser rearranjados: "fábricas do futuro" baseadas em controle robótico e fluxo da informação, exigindo, também, uma mudança de qualificação dos trabalhadores para retomar a produção localmente (TEMPERTON, 2015). O empenho pela sua implementação representa o potencial de interoperabilidade em um sistema que foi projetado considerando sua conexão com outros sistemas, que estariam localizados em qualquer outra parte do mundo (SANGÜESA, 2018). Apesar das postulações em relação à 3ª e à 4ª revolução industrial prenunciarem um novo começo da cadeia produtiva, segundo Roselló (2019), a ideia não se refere a algo novo ou original, pois, de certa forma, nunca houve uma ruptura absoluta entre a Segunda Revolução Industrial e o nosso, ainda vigente, sistema econômico, e que a recorrência da projeção de "cenários futuros" se trata de uma mera compreensão desses contextos, baseados na noção de ciclos tecnológicos e

econômicos – ou seja, numa visão engessada e de recorrência cíclica.

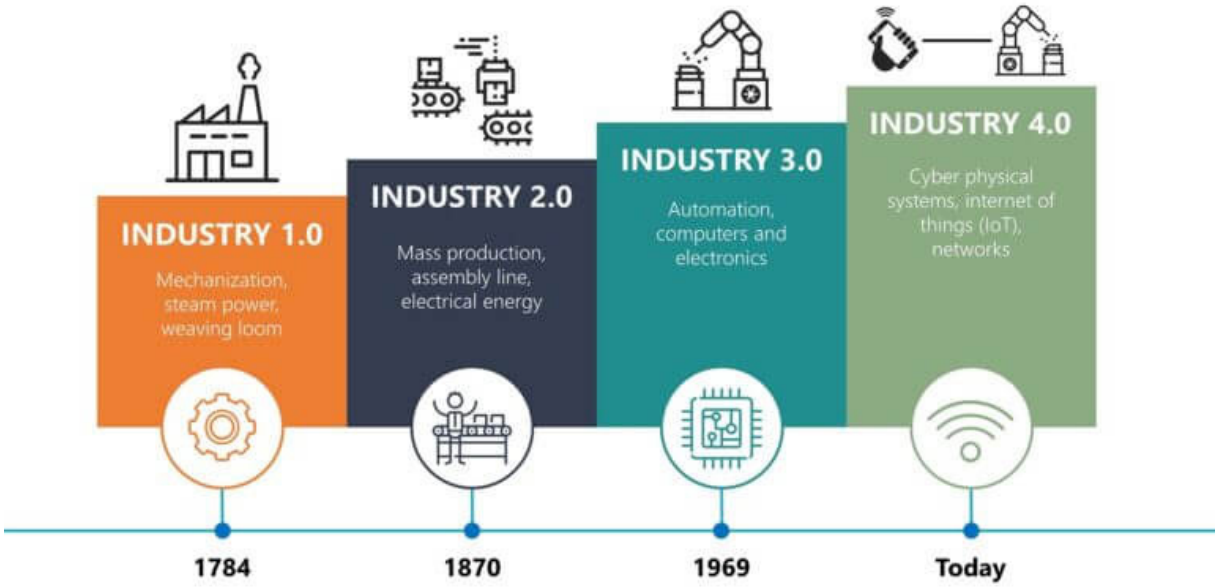


Figura 07 – A transição entre as "revoluções industriais"

Os cenários das "revoluções industriais" recentes, criando novas narrativas acerca dos ciclos industriais e seus novos paradigmas tecnológicos no norte global. Segundo os principais autores, a mudança vital para a 4ª revolução industrial seria a capacidade de processamento de informação inteligente.

Fonte: trunovate.com/blog/what-is-industry-4-0-and-why-its-important/

Transformado em livro por Schwab, em 2016, "The Fourth Industrial Revolution" sintetiza essas ideias em torno do impacto nos negócios: consumidores, empresas e clientes são os termos-chave. Mas há também a descrição do papel de outro elemento-chave nesse vínculo: o governo, que se converte via a noção de governança. Para ele, isso significa que os reguladores devem encontrar maneiras de se adaptar a um ambiente novo e em rápida mudança, com os governos reduzindo a sua função central na condução de políticas, ao mesmo tempo que engaja cidadãos para o aprendizado e a adaptação a essa nova realidade (SCHWAB, 2016), numa dupla e ambígua função de facilitador. Segundo o autor, a diferença está em que, "no geral, a mudança inexorável da digitalização simples (Terceira Revolução Industrial) para a inovação baseada em combinações de tecnologias (Quarta Revolução Industrial) está forçando as empresas a reexaminarem a maneira como fazem negócios" (SCHWAB, 2015). É interessante notar como esse discurso expande o caminho para a abertura de um certo tipo de mercado, não em relação à renovação de produtos, mas à refundação das suas bases: a infraestrutura e os sistemas de produção. O recurso de redução da 3ª revolução

industrial à computorização, e a denominação de uma outra revolução para representar o nível de complexidade e integração alcançado pelos efeitos digitais, serve para estabelecer artificialmente um outro paradigma e, de quebra, lançar um chamariz para que as empresas dos setores de manufatura se adaptem às novas mudanças.

A relevância dessas incursões econômicas relacionam-se com a mudança de visão dos países economicamente desenvolvidos que reorientaram-se às atividades de serviço, por volta da década de 1970 – no que ficou conhecido, a partir da elaboração de alguns sociólogos, sob o escopo da "sociedade pós-industrial"[11] –, para compreenderem que não se alcança um desenvolvimento econômico sustentado sem aprimorar um setor manufatureiro internacionalmente competitivo (HAUGE; CHANG, 2019). Essa percepção emergiu, principalmente, após a crise financeira de 2008, identificando globalmente a revalorização da manufatura e de seu papel enquanto facilitador e elemento-chave na capacidade de mudança e inovação sistêmica (ANDREONI; GREGORY, 2013). Indistinto se for 3a ou 4a revolução industrial, a estratégia acaba sendo dupla: a fim de se manter na dianteira na criação e na venda de máquinas e sistemas industriais avançados para manufatura, demanda-se a concepção de estratégias para repatriar a produção de "bens comoditizados" empreendida na China e em outros países emergentes, para serem manufaturados localmente, acompanhados do retorno de alguns empregos mais ou menos especializados.

Para as áreas da arquitetura e da construção, essa seria uma oportunidade de integrar tecnologias[12] – e fomentar transferências tecnológicas – de outros setores, como um segundo momento do que aconteceu nos anos de 1990, em relação às incursões com o uso de software de modelagem e animação, desenho e produção com CAD/CAM, apropriados para a realização de tarefas complexas (KOTNIK, 2010; CARPO, 2013), mas agora, mais focado no uso da robótica e na otimização dos resultados. Segundo Achim Menges (2015), a atual "revolução difere das três anteriores porque seu objetivo principal não é o aumento da produtividade, mas sim, níveis mais altos

11 Kumar (2005) comenta que, nesse período, um conjunto de visões demarcaram a teoria da sociedade pós-industrial, como de Daniel Bell, no livro The Coming of Post-Industrial Society (1973), mas, também, Peter Drucker, no livro Age of Discontinuity (1969), e Alvin Toffler, com o livro Future Shock (1970), em que "um clima de crise substituiu o otimismo dos anos 1960" (p. 29-30), mas mantendo uma fé iluminista na racionalidade e progresso, naquele momento, focada em uma nova sociedade definida pelos modos e tecnologias de aquisição, processamento e distribuição da informação (p. 31).

12 Como no exemplo da reportagem "How Technology is Disrupting the Construction Industry", grande parte das companhias reconhece que a adoção de tecnologias digitais é fundamental para a continuidade de seus trabalhos e sendo capaz de transformar o modo como se trabalha: a escolha têm se concentrado no BIM, na análise e uso de sistemas de controle da informação, com menor taxa de adesão para a impressão 3d e pouco de robótica <https://www.visualcapitalist.com/how-technology-is-disrupting-the-construction-industry/>.

de flexibilidade, adaptabilidade e integração" (p. 31), o que pode oferecer efeitos mais relevantes para o design arquitetônico. De outro modo, as propostas são incorporados por meio de narrativas temáticas mais específicas, como a ideia de "Terceira revolução digital", proferida por Neil Gershenfeld, que envolveria "a capacidade de transformar dados em coisas e coisas em dados" (2012, p. 44), por meio da fabricação digital.

Esse gênero de discurso positivo já ecoou por um viés similar, no âmbito da administração e da economia, a partir da concepção da "segunda era da máquina", concebida pelo professor Brynjolfsson (2014), do MIT, em livro homônimo. Para ele, o que caracteriza a segunda era da máquina é a melhoria exponencial sustentada na maioria dos aspectos da computação, quantidades extraordinariamente grandes de informações digitalizadas e inovação recombinante (BRYNJOLFSSON, 2014, p. 82). Essa visão positiva argumenta pela ampliação quantitativa da compreensão do mundo, enquanto dinâmica receptiva expandindo as limitações do humano, em um processo complementar de controle, conexões e artificialização. Além disso, advoga por uma transição do material para o imaterial, representado, pelo que o autor expõe, como "ativos intangíveis": propriedade intelectual, capital organizacional, conteúdo gerado pelo usuário e capital humano (BRYNJOLFSSON, 2014, p. 107). Aqui, mais uma vez, o foco da criação de valor acontece como otimização econômica por meio de ferramentas e suporte de dados, mas que não estão diretamente conectados a alguma garantia de melhora substantiva na vida cotidiana.

A visão otimista dos autores aponta para uma condição, por vezes, inconsistente, fortuita e cambiante de ser aplicada em contextos dissemelhantes, pois incorpora objetivos que não são facilmente alcançados ou não são completados de maneira similar em outras realidades, com efeito, ampliando o abismo do desenvolvimento industrial e da implementação desses sistemas. A sua efetividade depende de fatores ligados à compreensão e à adaptação dos modelos, amadurecimento tecnológico e adequações locais, além de uma margem de soberania subordinada ao voluntarismo político e de investimentos em pesquisa. Nesse cenário, estabelecem-se "espaços hegemônicos", com a "produção intimamente ligada à criação, nos países do centro, de novas formas de produzir" (SANTOS, 2013, p. 58), que determinam hierarquias, fluxos de transferência de conhecimentos, de técnicas e de tecnologias. De maneira geral, representa as operações em curso nos países industrialmente avançados, com críticas em relação a sua implementação, que remetem a um processo de supremacia e imperialismo das potências mundiais (SCHADT; ZOBEL, 2021), retomando temas relacionados à globalização e aos choques econômicos que fragilizaram contextos

emergentes e os enquadraram em uma divisão internacional de tarefas nos anos de 1990.

Por mais que as estratégias envolvam, primariamente, o campo digital e imaterial, o que poderia facilitar o acesso às informações, e assim manipulá-las, a colonialidade do conhecimento se impõe, à medida que nem todos os circuitos estão abertos e acessíveis. As relações e significados empregados com as novas tecnologias na dimensão material e imaterial não se apresentam da mesma maneira para todas as áreas, mudando consistentemente se pensarmos as demandas produtivas situadas que permeiam a área da arquitetura e a da construção. Por vezes, essas dinâmicas acabam por ser executadas de modos que não alterem a estrutura do projeto ou do problema a ser sanado. A retórica anunciada representa a ideia atualizada de progresso que se torna rotina, em que a contínua renovação é "fisiologicamente requerida para a pura e simples sobrevivência do sistema; a novidade nada tem de 'revolucionária'" (VATTIMO, 1996). Além desse discernimento inicial, há de se ter em conta fatores regionais que podem vir a restringir essa revolução, como o acesso a insumos, a limitação de conhecimento técnico e de aplicações efetivas em setores como o da construção.

A sua face mais problemática pode não ser a das mudanças na ordem da robotização do trabalho e das relações humanas, mas a de gerar um novo nível de dependência que não será mais puramente econômico, e sim, de condições tecnológicas, acirrando uma situação extremamente desigual entre as regiões, frente à pressão pela mundialização dos preceitos da indústria 4.0 como princípios estruturadores das lógicas de produção. As questões de trabalho terão que ser certamente repensadas, ainda mais sob a ótica da colaboração humano-robô (HRC), mas não recaindo sob um determinismo de substituição dos empregados por máquinas. O caminho envolve um aprimoramento contínuo no nível de especialização, além da necessidade de adaptação duradoura das tecnologias, principalmente na área da arquitetura e construção, onde se necessita da customização exercida pela diversidade projetual. Logo, o escopo de trabalho vai se ampliando, e a diversidade de funções passa a exigir trabalhos em colaboração ou em grupo, que, em seus diferentes níveis de especialização, desdobra-se entre uma "funcionalidade operacional" e uma "funcionalidade criativa". Aprofundaremos esses pontos mais adiante, após olharmos mais atentamente aos diversos cenários e situações que emergiram na arquitetura, design e construção.

Para a área da construção, o mesmo Fórum Econômico Mundial já formulou

diretrizes para que o setor alcance essa aproximação com a indústria 4.0, exigindo transformações estruturais para a aplicação das tecnologias digitais[13], que engloba as ferramentas e materiais, passando pelo setor industrial e o setor público. Distante dessas iniciativas de cunho político-econômico, tornaram-se conhecidas do grande público, e assim, divulgadoras de uma maneira didática da aplicação das tecnologias fabricação digital, as iniciativas de impressão 3D em larga escala de partes ou mesmo de edificações inteiras. Uma das primeiras empresas a implementar sistemas de manufatura aditiva com material cimentício foi a Winsun, fundada em 2003, em Xangai na China, e que desde 2008 vem construindo elementos para casas unifamiliares e para residências verticais, entre outros empreendimentos. A empresa dinamarquesa Cobod desenvolveu um sistema mecanizado modular para a construção, por meio de impressão 3D no local, aplicando-o na primeira residência materializada na Europa com essa tecnologia, em 2017. No mesmo ano, a empresa Apis Cor imprimiu 3d, na Rússia, as paredes e divisões de uma residência de 38m^2 em 24h. Nos Estados Unidos, a empresa ICON, localizada no Texas, tornou-se referência ao desenvolver sistema similar e aplicá-lo na construção da primeira casa impressa 3d no país. A WASP, empresa do sul da Itália, que iniciou desenvolvendo impressoras 3D de menor escala, lançaram, em 2015, a BigDelta, como um sistema de grande escala capaz de construir protótipos de residências com materiais ecológicos. O que elas têm em comum consiste na busca por parcerias e colaborações, a capacidade ainda um pouco limitada de construir quase que exclusivamente as partes verticais principais da edificação, a intenção de integrar elementos locais ou reutilizáveis e fornecer residências com custos acessíveis, fabricadas rapidamente, e o desejo de contribuírem para um mundo mais sustentável.

Figura 08 – Residências da Winsun impressas em partes e montadas no canteiro

Fonte: https://www.businessinsider.com/a-chinese-company-3d-printed-10-houses-in-a-day-2014-4

Figura 09 – "The Chicon House", da ICON

Fonte: https://archello.com/project/chicon-house

Figura 10 – "Gaia", a primeira casa impressa 3D com terra

Fonte: https://www.3dwasp.com/en/3d-printed-house-gaia/

13 A partir de um extenso relatório gerado em 2016, intitulado "Shaping the Future of Construction: A Breakthrough in Mindset and Technology", que contou com a contribuição de uma série de profissionais e empresas de grande porte na área da construção <http://www3.weforum.org/docs/WEF_Shaping_the_Future_of_Construction_full_report__.pdf>.

O desenvolvimento e a aplicação de novas tecnologias de fabricação para a arquitetura e a construção ainda encontra-se em estágio rudimentar se compararmos aos outros setores, como citados anteriormente, mas tem avançado em suas ações para o espaço que é seu locus central: o canteiro de obras. Grande parte das práticas estão em nível experimental e de avaliação, apresentando certas limitações, frente à flexibilidade da construção tradicional. Contudo, o controle homogêneo de fabricação dos componentes e a rapidez na fabricação simultânea tornaram-se fatores de interesse para investimentos no setor. Soma-se a isso, a propaganda e a divulgação desses acontecimentos, atraindo a atenção do público em geral para os processos singulares no meio, por envolver novas tecnologias de uma forma não usual.

Essas dinâmicas estão se realizando, na prática, de maneira similar a alguns sistemas que já eram imaginados há certo tempo. É ilustrativa a imagem que compõe um conjunto de gravuras criadas na França, na virada para o século XX, que apresentam uma visão sobre os distantes anos 2000. Nela, é possível perceber a figura do arquiteto como o profissional administrando as funções do canteiro, mas protegido em sua cabine. Nessa situação, simultaneamente, esboça e realiza a leitura do projeto, para controlar os sistemas mecânicos que desempenham, sem a direta interferência humana, as variadas tarefas a serem executadas, desde a lapidação até a montagem das pedras.

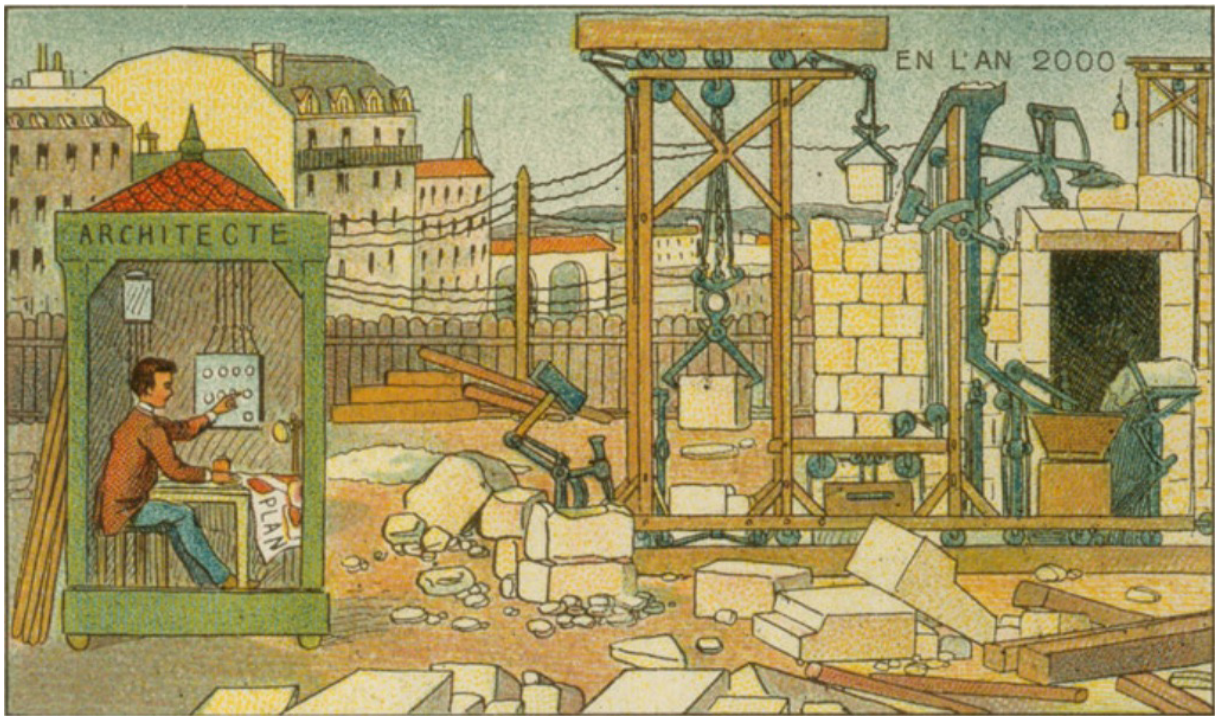


Figura 11 – Visão dos anos 2000
Mais informações sobre as gravuras podem ser encontradas em:
<https://publicdomainreview.org/collections/france-in-the-year-2000-1899-1910/>.
Fonte: CANEPARO, 2014, p. 62.

Para a arquitetura, o processo de produção da construção não será modificado pelas tecnologias de fabricação digital sem alterações fundamentais nas estruturas sociais e de mercado da prática de projeto, pois "a arquitetura carece, muitas vezes, das economias de escala, do capital massivo e dos subsídios do governo que otimizam essas tecnologias nas disciplinas adjacentes, não importa o quanto comparamos retoricamente nossa indústria com outras" (MOE, 2010, p. 164). Isso nos remete à questão de que, com o desenvolvimento das tecnologias e a complexidade que envolve o seu domínio, elas são tanto pervasivas às outras áreas quanto exigem respostas conjuntas de profissionais das mesmas. A não conformidade a essa interdisciplinaridade indica que

> padronizar e automatizar técnicas de controle numérico não prescreve um futuro automático e de padronização. Uma série de decisões e hábitos sociais determinam o curso dessas técnicas. Isso chama a atenção para o papel da tecnologia na arquitetura – neste caso, tecnologias de fabricação digital – não como uma prática tecnicamente determinada, mas sim uma que evolui ao longo do tempo e é determinada por necessidades e desenvolvimentos sociais e culturais. [...] Com cada onda sucessiva de novas tecnologias, os arquitetos parecem perder mais terreno do que ganham (MOE, 2010, p. 165).

Portanto, a velocidade de adequação de sistemas autônomos às disciplinas construtivas dependerão muito mais do funcionamento do próprio humano, seus desejos e práticas circunscritas às suas ações, do que da evolução tecnológica em particular. O anseio de tornar as tecnologias a serviço das nossas vontades, numa separação de funções entre criatividade e execução, não caracteriza um fato recente, mas reverbera outros períodos históricos e a compreensão do papel das máquinas nos processos de design.

O controle das novas tecnologias

O espírito do novo tempo para a arquitetura digital foi se consolidando ao longo de décadas, baseado no avanço computacional, de software e de equipamentos provenientes de contextos de desenvolvimento e pesquisa fora dela. A rápida evolução que percebemos nas duas últimas décadas é calcada em uma história longa e fragmentada de criação tecnológica e de seus propósitos. Se, atualmente, "a lacuna entre o design e a produção tem sido reduzida pela lógica das novas ferramentas digitais" (CARPO, 2017, p. 43-44), é de semelhante relevância compreender o suporte que os aparatos mecânicos e eletrônicos concederam às práticas de design e às formulações teoréticas que se seguiram, além da situação de suas origens. As máquinas de controle

computacional serviram, inicialmente, à indústria de produção pesada, passando a ser assimiladas por alguns setores da construção para produções específicas. Com o tempo, alcançaram um nível tecnológico que diminuiu a sua escala para serem utilizadas em tarefas comuns e cotidianas de design e fabricação, retornando ao setor industrial para se adequarem aos preceitos e demandas dos campos do design e da construção. Ou seja, houve um ciclo de criação, reestruturação e reabsorção emblemática do tipo de maquinário e de suas aplicações. Basicamente, os aparelhos tecnológicos de fabricação digital podem ser categorizadas entre aditivos – como impressoras 3D –, subtrativos – como as fresadoras e cortadoras laser –, formativos – como as termo formadoras – ou de montagem – como os sistemas robóticos.

Já a capacidade de emancipação do sujeito em relação às dinâmicas de controle manual das ferramentas, a fim de se alcançar efeitos de estandardização, ocorre por meio da exigente formação de uma nova classe de técnicos especialistas "que possuem as habilidades dos processos de manufatura e das linguagens de programação necessárias para controlá-los" (CANEPARO, 2014, p. 4). Essa posição não se limita aos meios digitais, já que os códigos de controle também são considerados como um conhecimento específico para o manejo de dispositivos mecanizados. Os processos de mecanização que sucederam períodos de revolução, por seus distintos modos de ativação e efeito, apenas desencadearam um processo embrionário de automação em meados do século XX. Essa tecnologia específica ficou conhecida como CNC, ou Computer Numerical Control, permitindo que "equipamentos automatizados sejam controlados e operados em tempo real através do uso de linguagem simbólica" (SCHODEK, et al., 2005, p. 237). O maquinário vinculado à essa tecnologia emprega diversos tipos de processos e suas correlatas ferramentas, como a usinagem ou a remoção de material; deformação, moldagem e fundição; e a adição de elementos. Basicamente, o que se altera são o número de eixos e a ferramenta adaptada ao processo: como serra, furadeira, esmeril e fresadora; cortadoras a laser, plasma ou jato d'água; processos formadores com dobragem, injeção de material e térmicos; depósito de material por meio de sinterização, laminação ou fundição.

As criações prévias que ofereceram suporte para a elaboração dos sistemas "computacionais" e CAD/CAM[14], são denominados por Schodek (et al., 2005, p. 17-24) como "fluxos paralelos de desenvolvimento". Isso engloba desde os primeiros teares para

14 O CAD é uma referência ao uso de programas computacionais aplicados para a criação, modificação e análise de representações gráficas 2D ou 3D. O CAM se refere a programas computacionais que criam instruções detalhadas em códigos que guiam máquinas para manufaturar peças com precisão.

tecer padrões a partir de cartões perfurados de Jacquard, e os modelos "rudimentares" de máquinas fresadoras de controle automático da Pratt and Whitney – a Lincoln Miller –, e da Browne and Sharpe – Universal Miller –, no século XIX, o desenvolvimento de logaritmos de Napier, no século XVII, o mecanismo analógico de cálculo analítico de Babbage, no século XIX, além dos primeiros computadores programáveis, no século XX. A Inglaterra foi um país de vanguarda no desenvolvimento de hardware e software com o Colossus, funcionando em 1944, seguido da Alemanha e dos Estados Unidos, com o Eniac, em operação no ano de 1946.

Figura 12 – Joseph-Marie Jacquard - Jacquard Loom, 1804

Fonte: https://ageofrevolution.org/200-object/jacquard-loom/

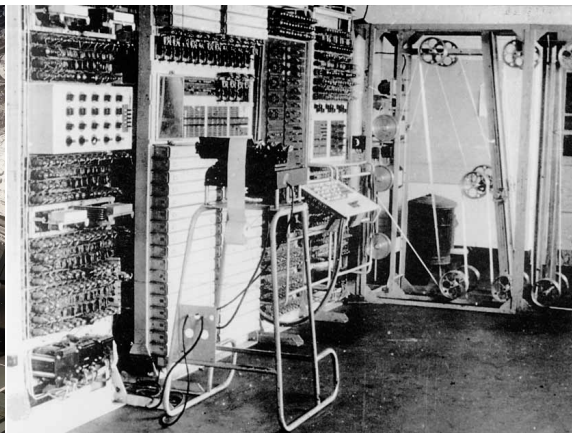


Figura 13 – Colossus, 1944

Fonte: https://www.telegraph.co.uk/technology/connecting-britain/colossus-bletchley-computer-broke-hitler-codes/

Com os esforços e a corrida pelo desenvolvimento tecnológico no período do pós-guerra, para que oportunizassem o domínio da informação como um fator estratégico, houve um ritmo acelerado de inovações nas novas potências econômicas e bélicas, a fim de explorar o emprego de métodos e tecnologias de cálculo e precisão. Logo, com o fim da Segunda Guerra Mundial, a indústria aeroespacial dos Estados Unidos foi a primeira a experimentar a integração de computadores na produção industrial e, portanto, "os primeiros protótipos de computadores eletrônicos foram produto de grandes investimentos militares na automação da decifração de códigos secretos" (CANEPARO, 2014, p. 52). A aplicação dos computadores rudimentares nesses setores passou do campo da análise das informações para o controle e produção material de elementos estratégicos para as nações.

Segundo Llach (2015, p. 43 e 46), o projeto para automatizar a produção material, por meio de um modo de computação rudimentar, iniciou nos laboratórios de pesquisa de servomecânicos no MIT (Massachusetts Institute of Technology). Foi no Laboratório

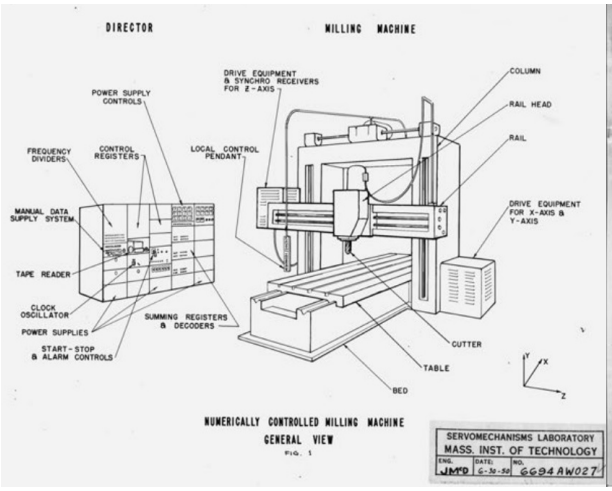
de Servomecanismos[15] que a primeira máquina de fresagem de controle numérico foi demonstrada, em 1952, operando sob o princípio utilizado até então, de programas armazenados em sequências de informação em fita perfurada que dirigiam a máquina. Com essa condição para a criação de processos, "a materialidade e as restrições físicas nos meios de armazenamento determinaram o tipo de informação armazenada e a gama de ações materiais que eles podiam prescrever" (LLACH, 2015, p. 43). A condição analógica da leitura de dados dos primeiros equipamentos computacionais foi adaptada às novíssimas tecnologias das máquinas-ferramentas. Contudo, "a visão do controle numérico não veio [originalmente] do MIT, mas de John T. Parsons, então vice-presidente da Parsons Corporation, Aircraft Division – uma empresa de fabricação de aeronaves com sede em Michigan" (LLACH, 2015, p. 47), nos Estados Unidos. Parsons e Frank Stulen empregaram computadores eletrônicos para a manufatura industrial no final dos anos 1940, a fim de conceber peças de um helicóptero em escala industrial (CANEPARO, 2014, p. 54). O seu objetivo era o de obter maior precisão e rapidez na produção de peças, e contavam com incentivos para tal realização.

A força motriz do projeto surgiu pelo cruzamento de interesses militares, industriais e acadêmicos que aconteciam nesse período nos Estados Unidos, ilustrando "uma visão hegemônica da tecnologia que, de modo otimista, retratou os computadores como a chave para o projeto nacional de supremacia e competitividade global, lançando a tecnologia em si como um esforço patriótico" (LLACH, 2015, p. 46). Incorporando esse espírito de inovação, Parsons projetou em sua indústria "um sistema completamente automatizado, no qual os eixos X e Y de uma fresa eram movidos por motores elétricos controlados por um leitor de cartão perfurado" (CANEPARO, 2014, p. 54). A necessidade de precisão e flexibilidade na produção na indústria aeroespacial a tornou um setor receptivo aos processos de inovação como os de implementação de máquinas-ferramenta e, assim, "em 1949, a Força Aérea dos EUA financiou um estudo de prova de viabilidade de uma fresadora de três eixos operada por um computador. Esta tecnologia recebeu o nome de Controle Numérico" (CANEPARO, 2014, p. 54). É a partir desse momento que temos a concepção de uma tecnologia que continua a ser empregada desde em máquinas industriais até nas impressoras 3d caseiras.

A ideia do projeto e a oportunidade do financiamento fizeram com que Parsons colocasse "o Laboratório de Servomecanismos do MIT como subcontratado de um contrato da Força Aérea que ele havia obtido para produzir um protótipo de trabalho

15 Mais detalhes sobre a história do "Servomechanisms Laboratory" pode ser encontrada em <https://libraries.mit.edu/mithistory/research/labs/mit-servomechanisms-laboratory/>.

da tecnologia" (LLACH, 2015, p. 47). A tarefa delegada ao MIT foi a de desenvolver uma máquina-ferramenta que pudesse generalizar os princípios do controle numérico e, assim, "fabricaram a 'Card-a-matic Milling Machine' para a fresagem de contorno em três eixos controlada por um computador e programada por meio de cartões perfurados" (CANEPARO, 2014, p. 55). Como podemos ver na imagem abaixo, o primeiro protótipo apresenta a máquina de controle complexa e com um tamanho considerável, e a ferramenta simples e diminuta.



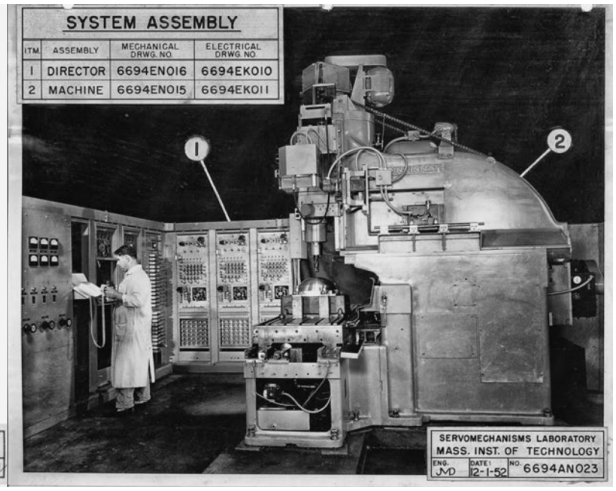


Figura 14 – Patente "Numerical Control Servo-System" e esquema do sistema de controle numérico da fresadora, de 1952.

Fonte: Llach, 2015, p. 35

Figura 15 – Registro fotográfico da Card-a-matic Milling Machine.

Fonte: Llach, 2015, p. 35

Tal hegemonia e visão otimista da tecnologia ocorreu devido a um projeto nacional que visava a supremacia global e a ampliação da competitividade da indústria no período da Guerra Fria. Para além das aplicações militares, um objetivo chave do projeto de automatizar as máquinas foi o de disseminar a nova tecnologia para a indústria de manufatura, posição operada pelo MIT como centro de publicização desses novos conhecimentos (LLACH, 2015, p. 47). Moe comenta que os sistemas de hardware e software desenvolvidos no Laboratório de Servomecanismos do MIT se tornaram base para uma série de outros empreendimentos, como o CAD, o CAM e a modelagem paramétrica (MOE, 2010, p. 160).

A história dos empreendimentos militares dos Estados Unidos, entre as décadas de 1950 e 1960, foram fundamentais para o desenvolvimento das técnicas de fabricação digital e das práticas de projeto relacionadas a elas. Ainda assim, reflete apenas algumas aplicações do conceito mais geral do Controle Numérico, pois a sua história "é uma

história de uma técnica que fundamentalmente é usada para abstrair propriedades em números para efetivamente regularizar, tornar rotina e quantificar o que de outra forma é irregular, aleatório e qualitativo" (MOE, 2010, p. 154). Desse modo, a racionalidade instrumental e o cálculo das ações se tornaram o modo operativo da aplicação das técnicas desenvolvidas. Efetivamente, os potenciais dessa inovação ressoaram em outros setores devido aos efeitos para a cadeia de produção, como a

> redução do tempo de inatividade e aumento da produtividade; uniformidade no processamento com maior precisão de padronização e, portanto, repetibilidade; a redução da força de trabalho especializada; a otimização de resíduos; o aumento da versatilidade através da capacidade de usar uma única máquina-ferramenta, um centro de trabalho, em vez de várias máquinas especializadas, como máquinas de fresagem ou perfuração. No entanto, a programação e a fixação da peça foram laboriosas e complicadas. A indústria não estava disposta a realizar os enormes investimentos necessários para o desenvolvimento industrial da tecnologia para o controle numérico, de modo a produzir uma gama radicalmente nova de máquinas-ferramentas. Nessa circunstância, o problema foi novamente resolvido pela intervenção do governo: em 1956, a Força Aérea dos EUA encarregou diversas empresas de desenvolver máquinas-ferramentas com controle numérico (CANEPARO, 2014, p. 56)

Apesar da tecnologia e das vantagens já conhecidas, o impulso para sua difusão também se deve ao esforço governamental. A base técnica do Controle Numérico influenciaria culturalmente outros aspectos da vida ocidental, como uma sucessão de métodos quantitativos usados para coordenar todos os tipos de produção humana, além de significativo para o desenvolvimento de uma maior compreensão matemática do mundo (MOE, 2010, p. 155-156). Segundo Caneparo, a própria etimologia do novo termo "Controle Numérico" explicita o sentido de inovação legado por "máquinas controladas pela linguagem analítica da matemática, redigidas por uma nova classe de técnicos (programadores) de acordo com a emergente linguagem da tecnologia da informação" (CANEPARO, 2014, p. 66). Apesar da interferência humana ainda existir, ela estaria limitada a uma primeira etapa de trabalho, pois se partia da crença de que para alcançar a uniformidade e a repetição das peças, o processo de produção deveria reduzir ou até eliminar as variáveis de interferência humana no material: "havia uma ambição aberta para eliminar o erro e as demandas de um técnico humano e substituí-los por máquinas computadorizadas" (MOE, 2010, p. 161).

Segundo Llach (2015), há uma dimensão filosófica – em termos de fundamentação conceitual – nas considerações históricas iniciais acerca dos processos de automação

do design, processamento de informação e fabricação dos projetos auxiliados por computador. Ela envolve a compreensão de que a máquina não oferece liberdade absoluta, mas a oportunidade de criar baseado nas múltiplas restrições geométricas, materiais e computacionais do sistema (LLACH, 2015, p. xii). No seu trabalho de escavação historiográfica, o autor identificou que o aperfeiçoamento da esfera mecanizada e a de software estavam muito mais imbricadas do que os entendimentos recentes sobre o tema indicavam, que apresentam visões cindidas ou complementares entre ambas, inscrevendo uma mudança tecno-cultural que define certa epistemologia computacional do design como prática homem-máquina, de codificação por meio da manipulação abstrata e simbólica (LLACH, 2015, p. 58). Desse modo, refletiram os discursos sobre design e criatividade daqueles que desenvolveram as primeiras máquinas numericamente controladas e software de computação gráfica (LLACH, 2015, p. xvi). Logo, estabeleceu-se uma relação entre as possibilidades poéticas, as inscrições políticas definidas pelos atores e o contexto de "competitividade" estabelecido (LLACH, 2015,p. 69).

O desenvolvimento do CAD deriva dos experimentos relacionados à máquina de Controle Numérico, e "engenheiros e pesquisadores que trabalharam sob o guarda-chuva do CAD Project, uma operação de pesquisa interdepartamental entre os departamentos de engenharia elétrica e mecânica do MIT, financiada pela Força Aérea dos EUA entre 1959 e 1970" (LLACH, 2015, p. 49). O então nomeado "Computer-Aided Design Project", conduzido por Douglas T. Ross e Steven Coons, entre 1959 e 1970, foi uma ação na qual "exploraram sistemas que poderiam realizar processos de design" (LEPIK; FANKHÄNEL, 2020, p. 68). De significativa relevância também foi o estabelecimento das teorias cibernéticas, no final da década de 1940, e a instauração da inteligência artificial como um campo de estudos, em meados dos anos de 1950, "que negociaram os limites entre o humano e a interface computador/máquina" (DUNN, 2012, p. 15). O trabalho elaborado no projeto permitiu o surgimento de uma extensa linhagem de outros projetos, como o Sketchpad, de Ivan Sutherland, como o primeiro sistema interativo de edição gráfica orientado ao desenvolvimento de objetos por meio geometrias, criado entre 1963 e 1964 (SUTHERLAND, 1963}. Outro trabalho diretamente influenciado pelo projeto foi o de Nicholas Negroponte e Leon Groisser, fundadores do Architecture Machine Group, no MIT. De acordo com Llach (2015), os pesquisadores envolvidos no projeto CAD o fizeram com base em certas premissas de trabalho, a partir das quais "interpretaram as representações de design como formas de construção, o que gerou uma maneira de pensar o design como um processo estruturado de gerenciamento de informações, permitindo especular sobre novas formas de trabalho de design" (LLACH, 2015, p. 67). Desse modo, fica exposto

como o ideal do projeto já incluía não apenas alcançar um paradigma representacional, mas informacional do processo de criação.

A partir da necessidade de se definir mais rapidamente os inputs de controle do maquinário CNC, e automatizando a produção das instruções, foi desenvolvido por Douglas T. Ross, em 1956, como líder do Computer Applications Group no Servo Lab do MIT, o Automated Programming Tool (APT), "uma linguagem escalável para a especificação do caminho da máquina ferramenta que permitisse que os usuários sem habilidades de programação usassem máquinas-ferramenta numericamente controladas" (LLACH, 2015, p. 42). Na sequência, após a série de divulgações dos primeiros experimentos com a CNC feitas pelo laboratório do MIT, em 1952 (LLACH, 2015, p. 39), Patrick J. Hanratty desenvolveu o PRONTO (Program for Numerical Tooling Operations), em 1957, na General Electric, o primeiro software de programação para controle numérico comercial[16]. A demonstração pública também incluiu a Bell Labs, na qual Kumar Patel desenvolveu, em 1963, o primeiro laser de dióxido de carbono que, em 1965, o Western Engineering Research Center, em Buffalo, EUA, foi pioneiro ao empregá-lo enquanto laser em um dispositivo de corte[17].

As inovações tecnológicas para a área da manufatura e da prototipagem digital voltaram a ser objeto de interesse em pesquisa e desenvolvimento de maquinário, a partir dos anos de 1980. Em 1983, o engenheiro estadunidense Charles W. Hull desenvolveu um dispositivo capaz de solidificar camadas de foto polímero através da luz ultravioleta, denominada "Stereolithography" (SLA)[18], cuja empresa DTM Inc. foi adquirida, posteriormente, pela 3D Systems Corporation. Logo depois, a tecnologia "Selective laser sintering" (SLS)[19], capaz de solidificar camadas de diversos tipos de materiais em pó por meio do uso de laser, foi criada por Carl R. Deckard, em 1986, e registrado pela University of Texas. Em 1989, foi registrada a patente da tecnologia "Fused Deposition Modeling" (FDM)[20], que realiza o depósito em camadas de material termoplástico e compósitos, inicialmente no formato de filamento, desenvolvida por

16 Também conhecido como o "pai do CAD/CAM". Extraído de <https://www.sme.org/technologies/articles/2010/masters-of-manufacturing-patrick-j.-hanratty/>.

17 Extraído de <https://www.sculpteo.com/blog/2016/10/05/the-history-of-laser-cutting-from-masers-to-co2-laser-cutting/>.

18 Visualização da patente "Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography" <https://patents.google.com/patent/US4575330A>.

19 Visualização da patente "Method and apparatus for producing parts by selective sintering" <https://patents.google.com/patent/US4863538>.

20 Visualização da patente "Apparatus and method for creating three-dimensional objects" <https://patents.google.com/patent/US5121329A>

S. Scott Crump, cofundador da empresa Stratasys. Além destas, há outros métodos e tecnologias que foram sendo criados e utilizados de modo expandido em setores de produção industrial, como o "Direct metal laser sintering" (DMLS), "Plasma Cutting", "Waterjet Cutter", entre outros. Por meio da identificação dessas iniciativas, percebe-se o encadeamento de criações e como o investimento em uma delas desdobra em ações para com outras tecnologias.

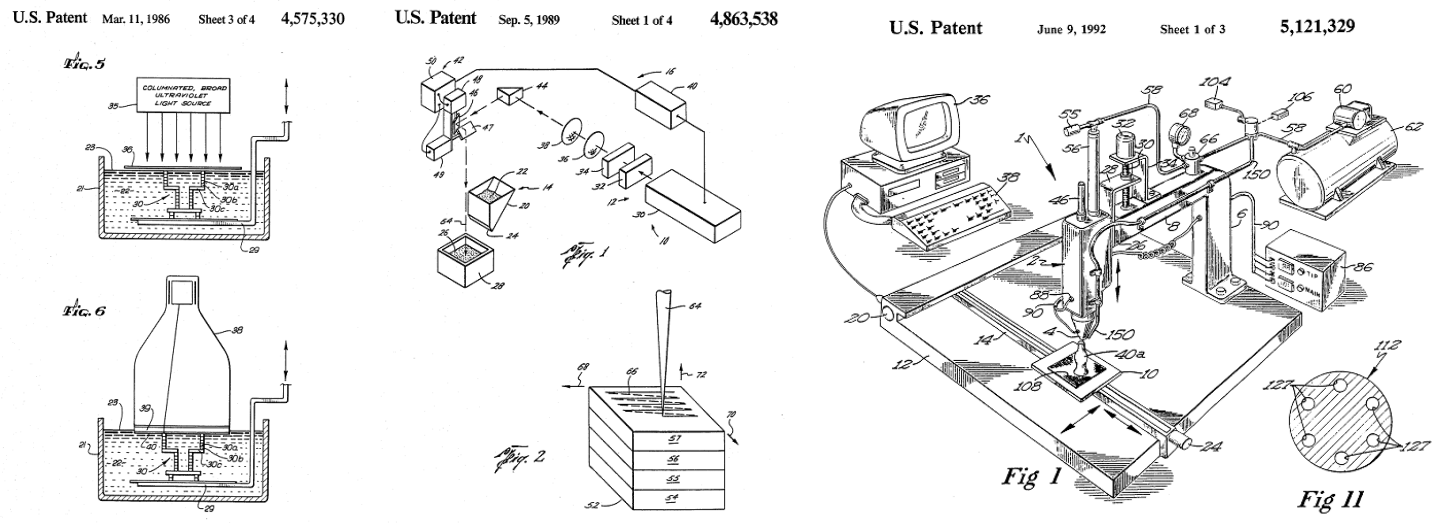


Figura 16 – Patente do método e tecnologia SLA
Fonte: https://patents.google.com/patent/US4575330A

Figura 17 – Patente do método e tecnologia SLS
Fonte: https://patents.google.com/patent/US4863538

Figura 18 – Patente do método e tecnologia FDM
Fonte: https://patents.google.com/patent/US5121329A

Com os principais e mais conhecidos métodos e tecnologias de fabricação digital já criados e estabelecidos até o início dos anos de 1990 no âmbito industrial, certos acontecimentos e iniciativas particulares contribuíram para a disseminação dos mesmos. Na área da construção, algumas pesquisas se direcionaram à adaptação das tecnologias industriais para experimentos, envolvendo, por exemplo, as técnicas de manufatura aditiva com depósito em camadas de material cimentício e aditivos, no "contour crafting" (KHOSHNEVIS, et al., 2006), criado no Centre for Rapid Automated Fabrication Technologies (CRAFT) da University of Southern California, em 2003, e outras técnicas de 3D concrete printing (3DCP) na Loughborough University, em 2008 (BUSWELL; et al., 2018). Um pouco fora desse circuito, Bock (2007) identificou que os

primeiros sistemas robóticos[21] para a construção já estavam sendo produzidos no Japão, na década de 1970 auxiliando a pré-fabricação e nos anos de 1980 empregados no canteiro, ao longo dos anos, a criação de tecnologias foi evoluindo para que os sistemas fossem empregados para além das fábricas, em atividades de suporte, finalização e montagem no local, em arranha-céus e outras edificações verticais, já na década de 1990. Uma das primeiras contribuições na academia para a inserção dos processos de automação na construção foi a de Carlos Balaguer, com a criação do "RoboticsLab" na Universidad Carlos III de Madrid[22], com pesquisas iniciadas no começo dos anos de 1990, com diversos tópicos relacionados aos processos de pré-fabricação. O primeiro projeto em nível de União Europeia voltado para a construção foi o ROCCO[23] (Robot Construction System for Computer Intergrated Construction), desenvolvido de 1992 até 1997, que consistia num sistema robótico móvel para montagem de alvenaria no canteiro, de modo flexível em suas configurações (ANDRES, et al., 1994), envolvendo parceiros industriais e centros de pesquisa da Alemanha, Espanha e Bélgica.

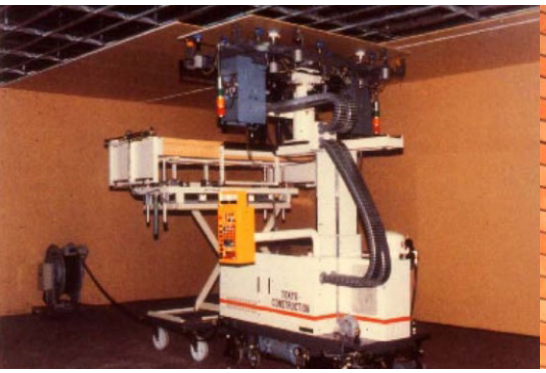


Figura 19 – Robô de acabamento interior para montagem de forros

Fonte: Bock, 2007, p. 205

Figura 20 – Robô de diagnóstico de fachada

Fonte: Bock, 2007, p. 209

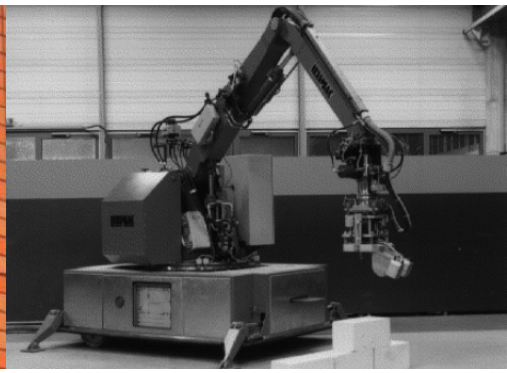


Figura 21 – Protótipo do sistema ROCCO

Fonte: GAMBAO, 1997

A acessibilidade da tecnologia FDM se ampliou, por volta dos anos 2000, num período em que as impressoras 3D de pequeno porte[24], ou desktop, tornaram-se o centro das atenções pelo mundo. O projeto "RepRap" foi concebido na University of Bath, Inglaterra, em 2004, com o objetivo de desenvolver uma "máquina de prototipagem rápida de código aberto e auto-replicante" (JONES, et al., 2011). Baseado num sistema cartesiano de movimento e na tecnologia FDM, que incluiu toda

21 Apesar de ser aparentemente mais complexo, a patente para o primeiro robô industrial, denominado "Programmed Article Transfer", foi criado por George Charles Devol Jr., solicitada em dezembro de 1954, e emitida em 13 de junho de 1961 (GRAMAZIO; KOHLER, 2014, p. 12-13).

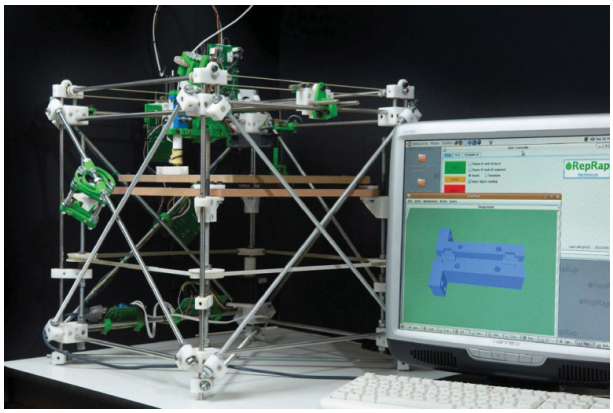
22 Mais informações sobre o laboratório em <http://roboticslab.uc3m.es/roboticslab/robottypeandapp/robots-construction>.

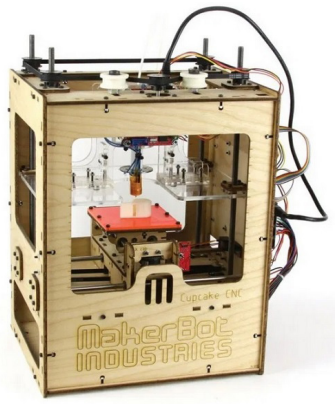
23 Mais informações sobre o projeto em <http://www.bri.ar.tum.de/index.php/lehre/ausmip/8-home/39-rocco-robot-construction-system-for-computer-intergrated-construction>.

24 Ver mais sobre a história em <https://3dinsider.com/3d-printing-history/>.

a mecânica e o software de trabalho, o primeiro modelo foi criado em 2007, intitulado "Darwin". Devido a sua proposta de design aberto, rapidamente o modelo "RepRap" foi apropriado em diversos empreendimentos derivados do projeto, principalmente por desenvolvedores que participaram do mesmo. Além disso, a expiração de uma patente-chave relacionada à tecnologia FDM, em 2009, permitiu a sua assimilação facilitada na construção das impressoras 3D.

A empresa MakerBot, em Nova Iorque, foi a primeira a se aproveitar da expiração para lançar comercialmente kits com peças para a montagem da impressora por usuários comuns, a "Cupcake CNC", em 2009. Apesar da sua área de impressão ser diminuta, apenas 100 mm x 100 mm x 130 mm (L/C/A), o preço de $950 a tornava um dispositivo de prototipagem rápida razoavelmente acessível. Além disso, a empresa criou o "Thingiverse", uma biblioteca online e repositório de arquivos de acesso aberto para compartilhamento[25], o que significou um suporte e maior engajamento de interessados na formação de uma comunidade de impressão 3D. A empresa Prusa, instalada em Praga, apesar de ser criada oficialmente em 2012, iniciou seus trabalhos em 2010, com aprimoramentos no modelo da "RepRap Mendel". Em 2012, lança a "Prusa i3", com a configuração de uma nova estrutura e aperfeiçoamentos na mecânica, tornando-se um modelo compacto e largamente copiado. Há outros exemplos mais diversificados do projeto "RepRap", como a "Hangprinter"[26], criada em 2017, que pode ser adaptada a um espaço livre sem a limitação da caixa de impressão.





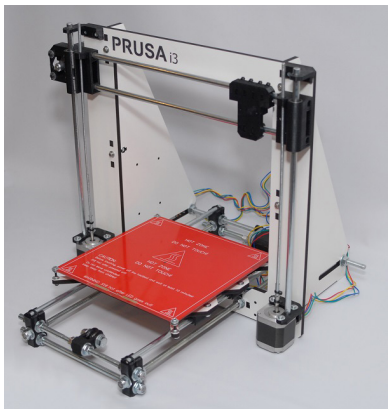


Figura 22 – RepRap "Darwin"
Fonte: JONES, et al., 2011, p. 182

Figura 23 – Makerbot CupCake-CNC 3d printer
Fonte: makezine.com/makerbot-cupcake-cnc/

Figura 24 – Prusa i3
Fonte: https://reprap.org/wiki/Prusa_i3/pt

25 Mais informações em <https://www.makerbot.com/stories/engineering/history-of-3d-printing/>.

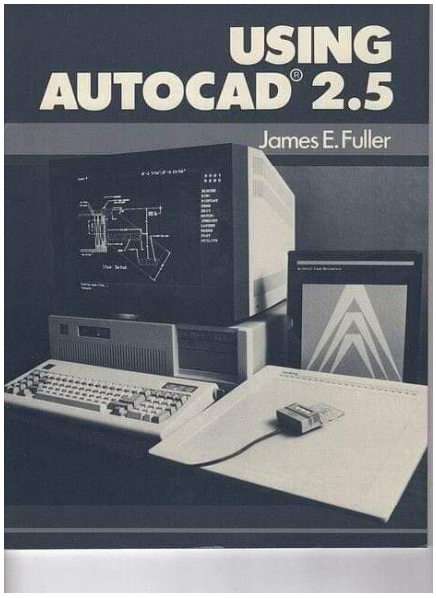
26 Ver informações sobre o projeto em <https://hangprinter.org/>.

Com o efeito cultural dos discursos e da propaganda envolvendo a personalização e o fazer próprio, as tecnologias de fabricação alcançaram um nível de popularidade mundial. Com o computador se tornando um dispositivo cotidiano de trabalho, adaptado às necessidades produtivas e à utilização experimental, consequentemente, "o design arquitetônico se torna uma operação puramente informativa, e seus processos são definidos por uma faixa específica de tecnologias culturais e de mídia" (CARPO, 2011, p. 12). A outra face da moeda estava na integração das práticas arquitetônicas, e do design com a computação e outras tecnologias, já apontado por William J. Mitchell, que entendia que o ato de design consiste no processo de computabilidade para moldar informações necessárias para orientar a fabricação (MITCHELL, 2011, p. 86). Esse cenário de compreensão dos software e de seu potencial de aplicação conformou-se em uma longa jornada, crucial para a coordenação CAD/CAM pelos arquitetos e profissionais da área.

Apesar desse início conjunto, muitos software experimentais foram desenvolvidos especificamente para assistir aos engenheiros na tarefa de criação e representação, portanto, apenas CAD. O UNISURF foi um sistema pioneiro para estabelecer essa interface, criado por Pierre Bézier, em 1968, a partir de uma série de técnicas matemáticas para descrever superfícies curvas, para o projeto e manufatura de carros na companhia francesa Renault (BÉZIER, 1971). Em 1973, a Siemens Software nos Estados Unidos adquiriu o código de um Automated Drafting and Machining (ADAM) software, para produzir o que se tornou o UNIGRAPHICS, um modelador de sólidos. O desenvolvimento e uso do CADAM (Computer-graphics Augmented Design and Manufacturing), pela divisão de engenharia da empresa Lockheed dos EUA, a partir de 1965, surgiu como alternativa ao sistema APT no trabalho de Controle Numérico. A empresa francesa de aviação Dassault, após um período de uso licenciado do CADAM, iniciou o desenvolvimento do CATIA (Computer-Aided Three-Dimensional Interactive Application), em 1977 – sendo lançado comercialmente em 1981 pela Dassault Systèmes, "projetado para ser usado em aplicações complexas de modelagem e na usinagem de geometria de superfície" (WEISBERG, 2008). A partir da versão 5 do CATIA, foi lançado, em 2005, a primeira versão do software Digital Project. Desenvolvido pela Gehry Technologies, ele não só foi fundamental para a continuidade do desenvolvimento dos projetos de Frank Gehry, como também foi utilizado como suporte para diversos projetos complexos de outros escritórios.

Na década de 1980, uma série de software foram apropriados ou concebidos para a área de arquitetura e da construção. Paul Coates e John Frazer criaram, por

volta de 1980, o PAD (Power Assisted Draughting), um dos primeiros sistemas de apoio ao desenho 2D em microcomputador a partir de linhas de comando, acessível aos arquitetos e engenheiros (COATES; et al., 1982). O AutoCad, concebido em 1982 pela Autodesk, o MicroStation da Bentley Systems, o Alias, e o VectorWorks (como MiniCAD), em 1985, concebidos como suporte para o desenho digital. O Archicad, da Graphisoft, lançado com o nome "Radar CH" para o Apple Lisa, em 1984, modificando seu nome na versão 2.0 para Apple Macintosh, em 1986[27], surgiu como a primeira plataforma de construção virtual de geometrias 2D e 3D armazenando informações no modelo, o precursor do BIM. O Pro/Engineer, em 1987, abre caminho para o uso de um sistema multiplataforma CAD/CAM baseado em sólidos e superfícies NURBS. Modeladores vetorizados, como o 3d Studio, em 1990 – lançado anteriormente como protótipo, em 1988 –, Form Z, em 1991, Solidworks, em 1995, Maya e a versão 1.0 do Rhinoceros 3D, em 1998 – versão standalone em 1994 –, como modeladores de formas curvas e sólidos 3D, voltados ao campo do design e animação. No ano de 2000, é lançado o Revit, outra plataforma BIM, adquirido em 2002 pela Autodesk. Em 2003, a Bentley Systems lança o GenerativeComponents, primeiro software de modelagem associativa que utiliza programação gráfica como apoio. A partir daí, tornaram-se conhecidos no meio plugins que ofereciam expansões para os software já existentes, inicialmente com o RhinoScript, por volta de 2002 – como um plug-in que implementa Windows Script para a versão 3.0 do Rhinoceros 3D –, e dentre os mais conhecidos, os de programação visual, Grasshopper para Rhinoceros 3D, em 2007, e Dynamo para Revit, em 2013. Além deles, uma série de software específicos para o controle de maquinário pelo público leigo surgiram nos últimos 10 anos, como interfaces para cortadoras a laser e fresadoras CNC, e fatiadores para impressão 3D.



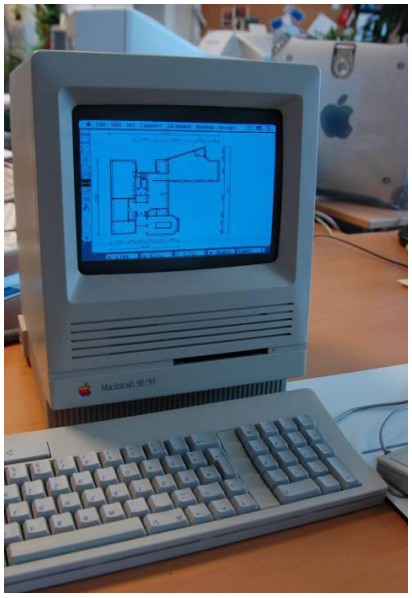


Figura 25 – Interface do Autocad 2.5 (versão 7), 1986

Fonte: www.flickr.com/photos/btl/1530044068/

Figura 26 – Interface do Archicad 2.0, 1986

Fonte: https://m.facebook.com/archicad/photos/p.10150666432983043/10150666432983043/?type=1&p=20

27 Mais informações em <https://helpcenter.graphisoft.com/knowledgebase/25683/>.

O potencial de integração de informação orientada ao objeto, como ideal de design apresentado pelo projeto CAD, obteve certo interesse nos primeiros software utilizados na indústria mecânica e de aviação. Por volta dos anos de 1980, o suporte para o desenho de representação geométrica predominou, legando um resultado voltado ao visual e, por mais que reingressasse no interesse pela modelagem da informação, apresentou uma disjunção com funcionalidades CAM. É somente alguns anos depois, por meio de software específicos e complementos, que a informação de projeto para a construção volta a ganhar um reforço, através da preparação dos projetos para a fabricação, em parte, baseados na capacidade de controle paramétrico, algorítmico e de programação legado ao usuário. Além disso, os sistemas formais articulados para a fabricação – as geometrias, o vocabulário e os processos –, sempre estiveram implicados e delimitados pelas possibilidades das ferramentas oferecidas pelos software, "carimbando algumas de suas qualidades" (SERRIANO, 2003) nos projetos materializados.

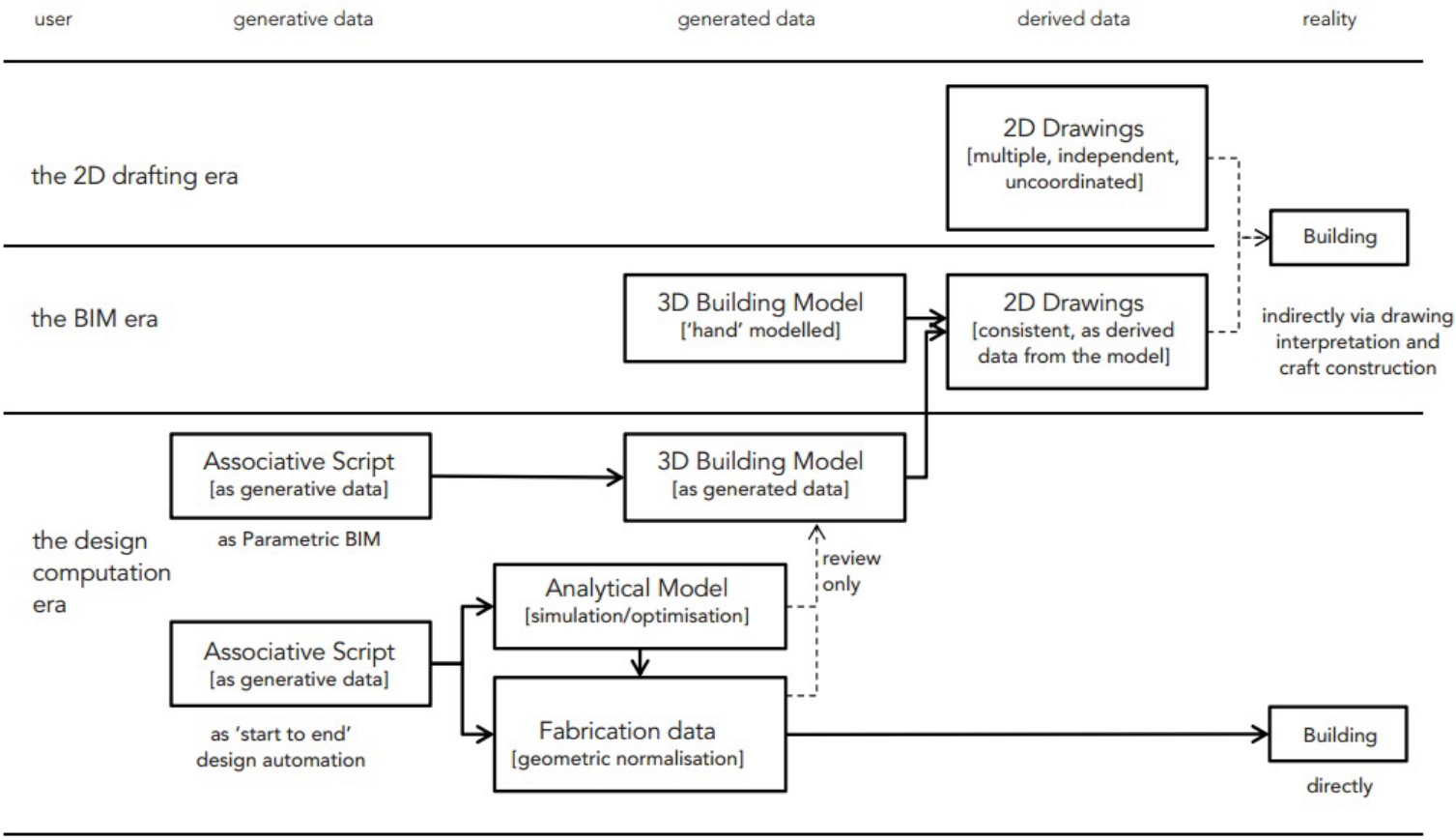


Figura 27 – Esquema da evolução do paradigma CAD para a do design computacional

Fonte: PETERS; PETERS, 2013, p. 40

O grande desafio é o de integrar, seguindo como base o esquema acima, os planos de informação e modelagem da informação da construção para a geração computacional de informação que possa ser associada, num sistema de interoperabilidade, à produção de dados precisos para a fabricação via maquinário digital, seja via pré-fabricação ou construção no canteiro. Atualmente, o crescente interesse pela busca de um controle mais direto da manufatura (Direct digital manufacturing) tem envolvido, preferencialmente, sistemas robóticos, devido à sua flexibilidade e versatilidade para a produção de elementos construtivos. Ao mesmo tempo, tem oportunizado a abertura de áreas de pesquisa interdisciplinares, enquanto expõe uma série de desafios para a sua adoção na indústria da construção (DAVILA DELGADO, et al., 2019), principalmente no que diz respeito ao papel do arquiteto como "master builder", na busca por integração e fluxo de trabalho entre ferramentas de informação e robótica (MESCHINI, et al., 2016). A aposta por esses vetores indica a aplicação das tecnologias de ponta com o intuito de se alcançar um estatuto de inovação próprio nas áreas da arquitetura e da construção.

A invenção de uma nova prática

A dinâmica de utilização das novas tecnologias digitais estava, preliminarmente, centrada nos escritórios e indústrias de manufatura. No final dos anos 1990 e início dos anos 2000, era necessário expandir o conhecimento técnico envolvido nas práticas com CAD/CAM, conduzindo-o às escolas de arquitetura. Aos poucos, foram sendo inseridos nos currículos e nas atividades de ensino novas formas de lidar com os processos de projeto para os futuros profissionais, adequando-os não somente às expectativas de alguns projetos visualizados em publicações, mas também expandindo todo um setor de equipamentos e ferramentas técnicas para as disciplinas. Logo, a área da arquitetura e composição de projetos, acostumada à utilização de modelos materiais como apoio ao desenvolvimento dos processos, percebeu-se transitando para um domínio virtual expandido, e colocando em questão quais seriam suas fronteiras a partir dali, em relação ao mundo material. Investimentos que começaram em setores de produção, passaram a ser implantados em escritórios, e então, foram introduzidos nas instituições de ensino e pesquisa.

Nesse cenário, o "paperless studio", iniciado em 1992, no curso de arquitetura da Universidade de Columbia dos Estados Unidos, foi uma das primeiras e mais conhecidas iniciativas a se estabelecer o computador e as ferramentas digitais como centrais para

o desenvolvimento experimental e expressivo em busca de novas linguagens e da formação do arquiteto da próxima geração (TSCHUMI, 2017). A proposta de ensino foi reconhecida por integrar arquitetos renomados em uma iniciativa que se desdobrava como um protótipo, no sentido de avançar nas relações conservadoras de ensino em uma escola tradicional, para além dos padrões já estabelecidos. As novas máquinas computadorizadas, por mais que não excluíssem o uso do papel impresso, "foi muito mais testar sem um plano, sem realmente conhecer o que poderia resultar disso" (TSCHUMI, 2017, p. 418), em que ao interface digital era cultuada e não se faziam modelos físicos. Uma sala cheia de computadores, pensada atualmente, não parece ter incorporado tanta inovação, mas, ao pensarmos na ainda relutante separação entre a conformação de disciplinas de design digital, as de projeto e as de técnicas construtivas, percebemos que, desde esse exemplo de implantação paradigmático, o avanço não acontecerá apenas por meio da disponibilidade das tecnologias aos estudantes.

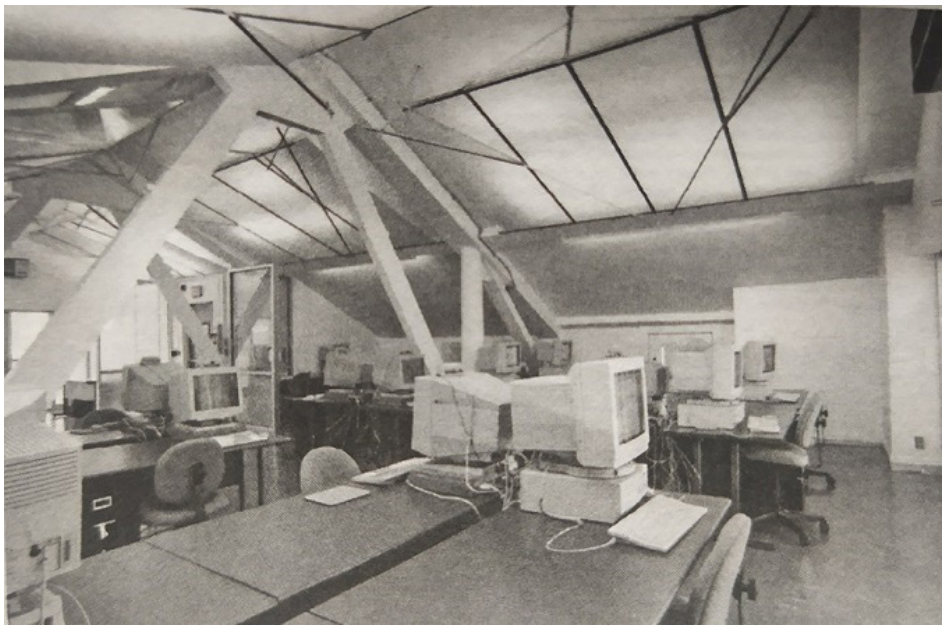


Figura 28 – O espaço do "paperless studio" na Columbia University em 1994.

Para além de aparentar ser uma mera sala com computadores, o estúdio era um ambiente no qual cada professor tinha liberdade de experimentar com dinâmicas de projetos utilizando uma gama de software e processos digitais.

Fonte: Tschumi, 2017, p. 407

William J. Mitchell, na sua trajetória de pesquisa em relação ao design digital, computação e estratégias CAAD, desde os anos de 1970, trabalhando no Media Lab do MIT, não apenas instigou a produção de uma arquitetura contemporânea que explorasse a materialização de propostas experimentais complexas pelos arquitetos, integrando os processos digitais. Ele compreendia que as técnicas e tecnologias CAD/CAM poderiam ser transferidas para a produção de modelos arquitetônicos ou modelos físicos de

pequena escala, mas não como artefatos finalizados (MITCHELL; MCCULLOUGH, 1995). Essa visão representa um dos primeiros esboços para transmitir conhecimento técnico, da prática de projeto e execução em que se estava imbuído naquele momento, para o ambiente de ensino, mesmo que Mitchell não tivesse claro todo o seu futuro potencial. De fato, já se estava compreendendo que o domínio das ferramentas de software CAD, que requeria uma especialização aprofundada dos arquitetos, aos poucos, exigiria dos mesmos um maior conhecimento dos software CAM e das máquinas de manufatura controladas por cada um deles. Mais do que isso, que mesmo com a indeterminação futura, explorar os limites das ferramentas digitais provocaria um reconhecimento das escolas como precursoras dessa práxis, e geraria, conjuntamente, a difusão comercial dos próprios software e maquinário.

Na década seguinte, o que estava ocorrendo como um interesse pela integração dos computadores em disciplinas de escolas de arquitetura situadas em países desenvolvidos, aos poucos, desdobrou-se na implantação das tecnologias para a fabricação de modelos físicos. Mark, Martens e Oxman (2001) ensaiaram modos estruturados para introduzir tópicos de integração com as tecnologias computacionais, com o intuito de aprimorar as habilidades dos futuros arquitetos. Mesmo que de maneira um pouco abstrata, os autores propõem "assuntos relacionados que poderiam ser incluídos em um currículo de arquitetura" (MARK; MARTENS; OXMAN, 2001, p. 168), sem necessariamente indicar uma mudança de paradigma. O desafio, naquele momento, estava em se pensar como integrar as tecnologias emergentes, adequar os cursos de design e aliar novas teorias que pudessem contribuir para guiar a exploração do pensamento computacional. De um nível básico até o avançado, sugerem uma gama de tópicos que poderiam ser incorporados, como a compreensão dos meios digitais, sua capacidade de análise e simulação, incluindo o domínio de processos de controle numérico e robótico para prototipagem rápida e fabricação de componentes construtivos (MARK; MARTENS; OXMAN, 2001, p. 170).

No início dos anos 2000, o uso das tecnologias digitais de manufatura já era reconhecido como significativo para os processos de aprendizagem e investigação em design, especialmente a prototipagem rápida. Novamente, Branko Kolarevic foi um autor-chave para difundir as novas tecnologias digitais aplicadas para o desenvolvimento e fabricação de modelos com geometrias complexas em cursos eletivos de pós-graduação (KOLAREVIC, 2001) que, naquele momento, ocorriam na University of Pennsylvania. A essa publicação, seguiram outras que investigaram estratégias de design, as tecnologias de fabricação e as técnicas de montagem. A

prototipagem rápida de modelos arquitetônicos e partes de componentes que podem ser encaixados, por Larry Sass, no MIT (SASS, 2004), estratégias de investigação material utilizando máquinas de pequeno porte em experimentos para introduzir as ferramentas ao longo de semestres letivos, por Karl Daubmann, no Taubman College (DAUBMANN, 2004), e investigações que exploram o potencial dos meios de design e fabricação CNC em larga escala, por Lisa Iwamoto, na University of California – Berkeley (IWAMOTO, 2004). É em meados dessa primeira década que os processos investigativos estão acontecendo de maneira complementar aos de ensino, nos quais a concepção de fabricação digital transpõe o entendimento da prototipagem rápida de modelos, em direção à fabricação CNC de componentes da construção (SASS, 2007).

Em 2006, Larry Sass concebe com Rivka Oxman uma das primeiras formulações teóricas que compreendia um método para o que passou a ser denominado "fabricação digital", baseado na criação de protótipos rápidos. Segundo eles, para além do design digital, "a prototipagem rápida pode, potencialmente, suportar um ambiente abrangente e integrado para estudar a forma, a criação de espaço e a física dos materiais em relação aos processos das máquinas na construção" (SASS; OXMAN, 2006, p. 326). Em sua aplicação, máquinas formadoras, subtrativas e aditivas eram pensadas como um dos meios para o processo de design: entre o suporte nas primeiras etapas de criação e um produto para a construção. Objetos conceituais e em escala reduzida, usualmente, já eram produzidos com os dispositivos de prototipagem rápida nas escolas. Percebe-se, pela exposição no artigo, que o assunto principal do uso das tecnologias estava na exploração de formas livres e complexas, prototipando pequenos elementos onde se poderia materializar variações a partir de uma mesma ideia.

A proposta dos autores é passar de um nível de processo de "design de modelos como um objeto singular" para o "design de modelos de informação construídos com componentes delimitados por métodos de construção do mundo real" (SASS; OXMAN, 2006, p. 339-340). Assim, o processo se amplia em termos de escala, considerações sobre detalhes e materiais utilizados desde o seu início. O método denominado por eles de "Digital Design Fabrication" consiste na "modelagem por computador aplicada ao processo de design desde o estágio inicial [design generativo, baseado em regras], incluindo materialização e [...] modelagem de informações detalhadas do projeto" (SASS; OXMAN, 2006, p. 336). Ou seja, sugere uma cadeia de processo mais estruturada e que aproximasse as tecnologias de fabricação da realidade do arquiteto desde o primeiro estágio, incluindo a possibilidade de se gerar documentação BIM (que, naquele momento, estava sendo discutido superficialmente sobre formas de sua

integração com as outras tecnologias).

Neil Gershenfeld do MIT utilizou, em 2005, o termo "digital fabrication" de maneira despretensiosa no seu livro "FAB", comentando que estaríamos à beira de uma revolução, não explicando claramente como isso aconteceria, mas fornecendo dicas de que boa parte dela ocorreria por meio da quantidade de informação imbuída na produção, e por um tipo de engenharia reversa envolvida na compreensão da montagem e dos usos dos materiais. Em 2003, iniciaram um projeto, apoiado pela National Science Foundation dos EUA, de modelos de laboratórios que foram denominados "fab labs" (ou "fabulous labs"). Com o passar de alguns anos, o autor se rendeu ao discurso da fabricação digital como meio para uma nova revolução, em que "a fabricação digital permitirá que os indivíduos projetem e produzam objetos tangíveis sob demanda, onde e quando precisarem" (GERSHENFELD, 2012, p. 43). A sua visão, contudo, privilegia a personalização dos objetos, mas seguindo um viés de experimentação e aprendizado pelo fazer, num sentido mais profundo, que considera "processos de fabricação nos quais os próprios materiais são digitais" (GERSHENFELD, 2012, p. 50).

A partir de meados do século XX, programas de arquitetura, seguindo as escolas de engenharia, foram incluindo conteúdo científico em contrapartida aos métodos educativos tradicionais, como os de manuseio de ferramentas em oficinas ligadas às atividades de trabalho manual e empírico, tanto associados ao design industrial quanto ao artesanato, que outorgaram fama a escolas como a Bauhaus. De acordo com Celani (2012), esse processo culminou em um movimento, nos anos de 1960, a partir do qual os novos "métodos científicos" de processos de projeto foram elaborados e testados em resposta aos programas complexos da arquitetura. Estes foram influenciados pelo desenvolvimento nas áreas de pesquisa operacional, inteligência artificial e tecnologia de computadores. Seus principais objetivos eram: 1) projetar melhor, entendendo o processo de design; 2) externalizar o processo de design, permitindo que grandes equipes colaborassem; 3) permitir que partes repetitivas do processo de design fossem automatizadas pelo computador (CELANI, 2012, p. 471-472). Os laboratórios de pesquisa foram conduzindo experimentos cada vez mais pelo viés técnico, considerações de cálculo, agregando a diversidade das novas tecnologias e com a tendência a reunir um corpo profissional mais especializado e interdisciplinar.

As primeiras experiências implementadas com as novas tecnologias digitais para manufatura em cursos de arquitetura, a fim de gerar pequenos protótipos e facilitar a

criação de modelos, passaram a integrar tecnologias transferidas de outros setores de manufatura, entre atividades instrucionais e de pesquisa. Há um embrião da introdução de processos digitais e de manufatura no MIT – Center of Bits and Atoms, em 2001[28], e o Media Lab, em 1985[29] –, além de outras escolas dos Estados Unidos. Há também, desde 2005, a presença dos arquitetos Gramazio e Kohler na cadeira de "Architecture and Digital Fabrication" em conjunto com a criação do primeiro laboratório de pesquisa com robótica (DFAB) na ETH Zurich, que introduziu lógicas de programação e o uso de robôs industriais para se articular maior flexibilidade na construção, e a criação do "robot research facility", para realizar, por meio do robô industrial, tarefas muito específicas e customizadas (BONWETSCH; KOBEL; KOHLER; GRAMAZIO, 2006). Se num primeiro momento havia muitas limitações em relação à escala de fabricação dos objetos e componentes e ao uso de materiais com uma resistência adequada, a pesquisa focada nesse âmbito ampliou o escopo das tecnologias passíveis de serem incorporadas para a construção. Desse modo, a ideia de laboratórios digitais foi sendo maturada por distintas propostas de implantação, cada qual a partir de um contexto e iniciativa muito particulares, iniciados pelos arquitetos ligados às instituições. Essa ideia também está baseada na mudança de concepção que considera o arquiteto não apenas como o projetista, mas também aquele que produz ou manufatura os elementos construtivos.

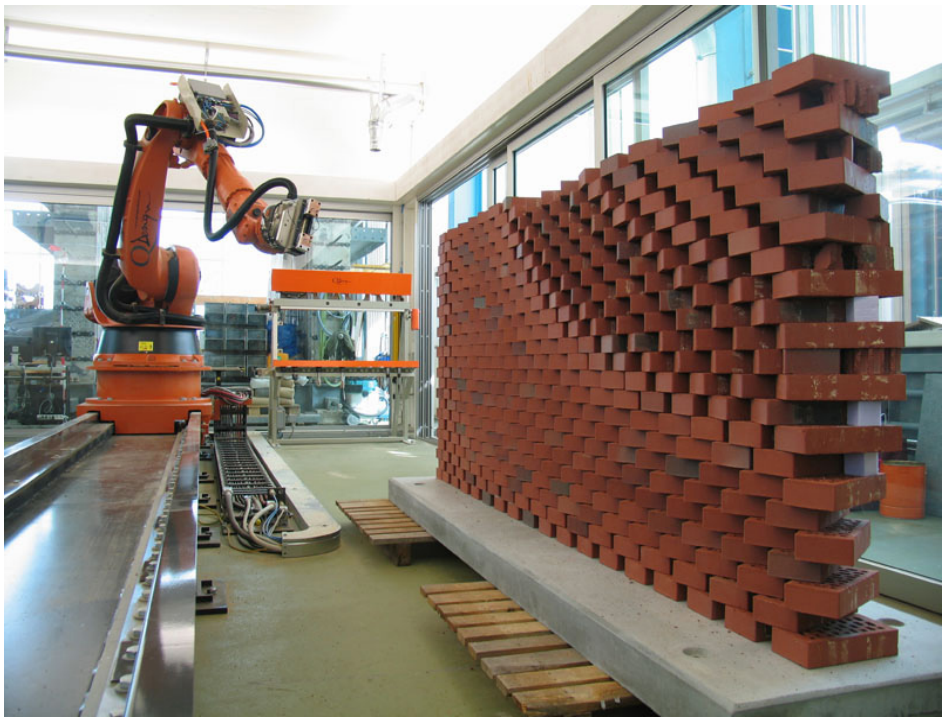


Figura 29 - "The Programmed Wall", ETH Zurich, 2006

Um dos primeiros laboratórios a inserir atividades experimentais com robótica foi o de Fábio Gramazio e Matthias Kohler.

Fonte: gramaziokohler.arch.ethz.ch

28 Mais informações em <http://cba.mit.edu/about/index.html>.

29 Mais informações em <https://www.media.mit.edu/about/overview/>.

Para o público das escolas de arquitetura e design, começaram a surgir publicações mais instrutivas e didáticas em relação a fabricação digital, com material técnico e descritivo. Entre elas, o "Digital Fabrications: Architectural and Material Techniques" (IWAMOTO, 2010), que apresenta métodos de trabalho, documentação de processos e protótipos materiais de projetos fabricados em diferentes escalas, organizados em categorias específicas relacionadas aos modos de produção. O "Digital Fabrication in Architecture" (DUNN, 2012) apresenta, por um viés histórico, o desenvolvimento de projetos através da classificação de tópicos como a geração digital, a integração de tecnologias e das estratégias adotadas para materialização. Outro exemplo é o "Material Strategies in Digital Fabrication" (BEORKREM, 2013), que cataloga uma série de projetos e investigações, em seus processos de concepção e desenvolvimento até o resultado final, baseado nos materiais utilizados, como madeira, concreto e metal. Também o "Digital Fabrication" (YUAN; MENGES; LEACH, 2018), em que há uma compilação de pesquisas e aplicações de tecnologias avançadas em casos recentes de experimentos realizados em instituições e estúdios especializados. Nos anos seguintes, outras publicações foram lançadas a fim de difundir a produção, tanto para o âmbito acadêmico quanto para o público da área não especializado nos temas das novas tecnologias.

Apesar da disseminação de trabalhos, seja relativa à área da construção, de projeto, pesquisa ou ensino, o tema da fabricação digital ainda tem desafiado premissas teóricas, históricas, pressuposições epistemológicas, sociais e políticas. Em texto recente, o professor de Harvard Antoine Picon (2019) aponta que a prática orientada por meio do controle computacional e das tecnologias avançadas torna a fabricação digital "uma das expressões da mudança fundamental em nossa compreensão da materialidade" (PICON, 2019, p. 227), ao ampliar as qualidades objetivas da matéria em busca de uma poética particular. Segundo o autor, o estatuto atual das atividades que utilizam a fabricação digital compreende tanto o fator de nostalgia, que "pode estar realmente ligado ao desejo de retomada e reinvenção" (PICON, 2019, p. 228) pelo papel do designer como artesão, quanto o ideal de disrupção oportunizado para o futuro da indústria da construção.

Devido à atuação do designer e do fenômeno de pervasividade das novas tecnologias, Picon (2019) argumenta que deve-se percebê-la ao considerar suas fundamentais contradições: como um fenômeno cultural que alcança a dimensão social, ela é contraditória e limitada ao trazer ao mundo visões que não são completamente compatíveis com o mundo físico (PICON, 2019, p. 236). O que, para ele, de fato

guiaria o desejo e o imaginário em torno da aplicação das tecnologias avançadas de fabricação é a capacidade de inspiração criativa que permite uma poética dinâmica, complexa e ornamental, além da sua razão objetiva que associa um conhecimento especializado e aproxima dos arquitetos a realização concreta e acelerada dos projetos. Segundo o autor, o que vislumbramos atualmente como fabricação digital consiste no desenvolvimento tecnológico e social e em uma série de narrativas que estão aliadas a sua produção (PICON, 2019, p. 235). Mais uma vez, os avanços técnicos e tecnológicos estão promovendo discursos associados a outras dimensões de aprendizado e de produção.

Arquitetura na era digital produtiva

A arquitetura é lembrada por seus marcos construtivos, frequentemente, ícones que podem ser apontados como paradigmas no tempo. Em vários momentos da história, edificações imponentes e simbólicas fascinaram o público, muitas vezes causando, também, estranhamentos em relação a sua aparência. A contemporaneidade tem sido marcada por uma profusão de estilos, em muito, baseados nas possibilidades fomentadas pelas ferramentas digitais. Isso amplia-se por meio de uma visão da complexidade das ciências e do mundo, em que não é necessário seguir regras notacionais de projeto, sendo possível criar um mundo totalmente novo em um ambiente virtual expandido pelos software. O digital se tornou uma condição que é pervasiva em nossas vidas, por meio da proliferação de possibilidades culturais, em que atividades sociais têm sido entrecruzadas com tecnologias cada vez mais complexas (STALDER, 2018), influenciando desde as tarefas cotidianas aos modos de produção material da sociedade. Inevitavelmente, este é um tópico que impulsiona questões epistemológicos e inovações associadas aos estudos tecnológicos nos campos do design, da arquitetura e da construção. Sendo assim, a compreensão das dinâmicas digitais nessas áreas é ampla e, por isso mesmo, difusa e de difícil compreensão em suas virtudes e vícios, devido à uma profusão de discursos e práticas ao longo das últimas décadas no cenário mundial. Nesse sentido, o entendimento de seus desdobramentos depende da demarcação histórica, do registro e da construção de um imaginário baseado em obras escritas e em projetos consolidados no horizonte da arquitetura contemporânea.

Assim como demarcou Kolarevic (2005, p. 5), cada era extrai vantagens das inovações oferecidas pelas tecnologias do seu tempo, nesse momento, isso se dá de

maneira acelerada e borrada em suas fronteiras de entendimento, com a arquitetura contemporânea legitimando-se por meio do uso dos últimos avanços em meios digitais. Logo, boa parte dessas propostas expressa desdobramentos de uma linguagem "high-tech" ou "futurista", mas não da mesma maneira com a qual esses conceitos foram empregados anteriormente. No final dos anos de 1960 e início dos anos de 1970, um período de "utopismo ingênuo" envolveu propostas de mudanças radicais ao que estava estabelecido, em que "era comum imaginar o futuro em termos de tecnologias avançadas visualmente impressionantes e em grande escala", uma era de inventos extraordinários, "e esses artefatos de alta tecnologia se refletiram nas previsões arquitetônicas da época" (MURPHY, 2016). Arquitetos e grupos se consolidaram por associar os seus projetos às inovações tecnológicas do período, como Archigram, Buckminster Fuller, Frei Otto, Luigi Moretti, entre outros, um momento de "tecno-euforia" que envolvia certa retórica mística e imagens sedutoras, conformando uma dimensão estética do desenvolvimento científico (SCOTT, 2007, p. 21).

Alguns elementos que moldaram a nossa visão sobre o campo expandido do digital já encontram paralelismos em obras anteriores na história da arquitetura. Em 1948, Sigfried Giedion (1970) publicou "Mechanization Takes Command", apresentando uma visão da mecanização e os seus efeitos na dimensão humana, visando desde os processos de produção até um conjunto de equipamentos domésticos que estavam presentes e conformando uma série de fatores na vida cotidiana. Isto envolveu uma coleta e apresentação enciclopedista de equipamentos, máquinas, objetos e sistemas pré-fabricados. Em 1960, Reyner Banham publicou "Theory and Design in the First Machine Age" (1967), indicando uma perspectiva acerca das máquinas cada vez mais existentes, inclusive no âmbito doméstico, que determinavam relações de poder e influenciavam a estética do momento, uma era de revolução doméstica com as pequenas máquinas. Estas questões dominaram não somente o design de produtos, mas também diretrizes de pensamento nas escolas de arquitetura e nas próprias construções. Em comum, a análise cultural das mudanças tecnológicas presentes em cada momento e as suas reverberações, incluindo os campos do design, da arquitetura e da construção. Ambos os trabalhos apontavam que esses campos estão determinados a se adaptarem a fenômenos mais amplos do que o da própria edificação.

Décadas depois, em 2003, Branko Kolarevic organizou uma das primeiras publicações que difundiu, de maneira sistemática, um novo paradigma, com o livro "Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing". Por meio de uma abordagem inédita, apresentou projetos nos quais foram adotadas referências externas

à disciplina, como teorias da complexidade, e as possibilidades das ferramentas digitais que propiciavam a manipulação de formas curvas e geometrias complexas com maior liberdade expressiva, já que não havia ainda uma base conceitual clara que pudesse guiar estilos e linguagens de projeto condizentes com essas demandas. Este percurso situou e avançou um conjunto de técnicas para "buscas formais", que intentaram dar conta de experimentos para alicerçar métodos pelos quais a forma poderia encontrar a si mesma (KOLAREVIC, 2005, p. 242). A figura do "digital master builder" é central nessa experiência, já que impele "os arquitetos a se tornarem coordenadores (master builders) de informações entre várias profissões e ofícios envolvidos na produção de edifícios" (KOLAREVIC, 2005, p. 11). Simultaneamente, iniciativas criativas a partir desses processos necessitaram do desenvolvimento técnico e tecnológico para criar soluções construtivas e de fabricação dos elementos construtivos que iniciavam uma nova etapa na exploração tectônica contemporânea.

O autor captou atenção para o tema do digital por meio de uma dupla estratégia: apresentar projetos arquitetônicos recentes (grande parte da década de 1990 e início dos anos 2000) que estavam aplicando na prática os processos de design e da manufatura digital, e a aproximação com a capacidade de produção da indústria pesada (automotiva, naval e aeronáutica), por meio da possibilidade de absorção e transferência tecnológica. Kolarevic estabeleceu a possibilidade de uma relação direta entre a concepção e a produção digital na escala da construção, denominada "produção digital", convergindo os processos CAD/CAM. Nesse guarda-chuva, foi introduzido pelo autor o termo "fabricação digital" que, a partir de um conjunto de máquinas de controle numérico (CNC) com tecnologias aditivas, subtrativas e formativas já reconhecidas, representava o quanto "os arquitetos estão se envolvendo muito mais diretamente nos processos de fabricação, pois criam as informações traduzidas pelos fabricantes" (KOLAREVIC, 2005, p. 50).

Em 2004, no livro "Refabricating Architecture: How Manufacturing Methodologies are Poised to Transform Building Construction", Stephen Kieran e James Timberlake estenderam alguns de seus apontamentos no rumo da fabricação. Os autores criticam o fato de que, na arquitetura, ainda são exigidos anos para se transcorrer do projeto à construção, enquanto que outros setores industriais (automotivo, naval e aeronáutico) avançam na busca por novos materiais e processos, por isso, haveria lições a serem transferidas destas indústrias (KIERAN; TIMBERLAKE, 2004, p. 11). Eles também reivindicam a retomada do papel do arquiteto como "master builder", capaz de integrar habilidades e conhecimentos por meio de ferramentas de controle informacional, sob a

posição de um profissional que "é a amálgama de um cientista de materiais, engenheiro de produto, engenheiro de processo, usuário e cliente, que cria arquitetura informada pela mercadoria e a arte" (KIERAN; TIMBERLAKE, 2004, p. xii). Aqui, a discussão está muito mais centrada na mudança de posição do arquiteto frente à uma cadeia de produção especializada e às implicações da mudança na própria arquitetura, enquanto disciplina que evolui lentamente em relação ao seu escopo de trabalho e dinâmica material.

A visão dos autores faz frente à aproximação de Giedion e Banham, ao apontarem que "a arquitetura, ao longo do século passado, finalmente se tornou uma máquina" (KIERAN; TIMBERLAKE, 2004, p. xiii), em que haveria maior desenvolvimento de sistemas complementares e complexos que compõem a edificação, para além da estrutura, cobertura e vedação. Em um tom de manifesto, defendem que o arquiteto do nosso tempo teria a função de um "designer de processos", em virtude de uma visão integrada que fomenta uma inteligência coletiva de trabalho, em vez de uma imposição singular (KIERAN; TIMBERLAKE, 2004, p. 109) que os torna meramente definidores de estilos (KIERAN; TIMBERLAKE, 2004, p. 7). Isso envolveria o desenvolvimento de processos e materiais, o controle de conhecimentos e tarefas para a montagem de componentes integrados que otimizassem e acelerassem o processo construtivo. A informação é fator chave para expandir a capacidade de elementos produzidos, considerando a customização em massa como um fator cultural a ser apropriado com a participação do usuário (KIERAN; TIMBERLAKE, 2004, p. 111), incorporando a modularidade e a flexibilidade na produção, em vez de um pensamento vernacular da construção, no qual se utiliza o que está imediatamente disponível para uso.

No mesmo ano, 2004, foi lançado o livro "Digital Tectonics" de Neil Leach, David Turnbull e Chris Williams, na tentativa de preencher a lacuna existente, naquele momento, em relação ao problema da tectônica vista em oposição à presença do digital na arquitetura contemporânea. A tectônica digital é um paradigma teórico que surgiu no início dos anos 2000, de forma a tentar unir a imaterialidade do virtual com a materialidade da construção. Segundo Leach (et al., 2004), essa mudança de paradigma é observada ao se modelar as propriedades materiais dos componentes arquitetônicos, o interesse na lógica estrutural dos edifícios, o novo espírito de colaboração entre arquitetura e engenharia, convergindo para práticas interdisciplinares, além das técnicas mecânicas que modelam a estética e a forma. A publicação acabou focando em novos modelos teóricos, desde os mais abstratos e conceituais, até os baseados em operações projetuais, geometrias e materialidade, representando uma estética computacional.

Ainda nesse período, Charles M. Eastman (2004), pesquisador da Georgia Tech e um dos desenvolvedores das estratégias de modelagem da informação para a construção, apresenta condições para a reestruturação da indústria da construção, em que, dentre elas, estava incluída a integração dos tópicos de design e da fabricação. Para ele, aquele momento era crucial para se fazer ajustes na prática do arquiteto, na passagem de um conhecimento tácito e artesanal da construção, para a adequação às exigências de condicionantes mais complexos em que "os novos métodos de fabricação são motivados pelo desejo de oferecer suporte à construção de novas formas de edifícios" (EASTMAN, 2004, p. 22). O autor, que já apresentava como elemento crucial o domínio de software de modelagem 3D ricos em informação e com controle paramétrico de suas alterações, incluiu a funcionalidade de executá-las por meio da integração de estratégias de fabricação no processo de design.

Em 2005, o livro de Schodek "Digital Design and Manufacturing: CAD/CAM Applications in Architecture and Design" sistematizou uma série de estratégias, tecnologias e práticas, envolvendo design e manufatura. Com um viés histórico e técnico mais aprofundado, a publicação é muito ilustrativa do cenário da manufatura digital na arquitetura até então, ao divulgar uma série de imagens e esquemas de funcionamento de máquinas, detalhes e elementos fabricados, assim como se utiliza da exposição de uma larga gama de projetos como estudos de caso. Essa estratégia apresenta uma visão positiva e, ao mesmo tempo, realista em relação à certa profusão de possibilidades para a realização da manufatura na arquitetura. O principal argumento dos autores é que há um efeito liberalizador oportunizado pelo uso das novas tecnologias digitais, com efeito de expandir o vocabulário de projeto com mais qualidade e precisão (SCHODEK; et al., 2005, p. ix). Segundo eles, as técnicas CAD/CAM e as principais aspirações de design que começaram a influenciar vertentes de projetos na arquitetura, a partir dos anos de 1980 e 1990, são provenientes do design industrial.

Eles apontam que as linhas de desenvolvimento que contribuíram para a evolução dos sistemas CAD/CAM estão relacionados à industrialização e ao consequente desenvolvimento de maquinário tecnológico como respaldo, o surgimento da automação e a evolução das tecnologias computacionais (SCHODEK; et al., 2005, p. 17). Isso oportunizou, na medida em que houve otimização dos processos, a passagem de uma base de atividades artesanais para processos especializados de produção. Os projetos apresentados detalham não somente a transferência tecnológica de outros setores produtivos, via o uso de software e adaptações técnicas, mas a crescente conexão com indústrias especializadas de manufatura e a transformação de materiais,

como metal e vidro. Os autores introduzem um conceito que será desdobrado no futuro pela prática da fabricação digital, o "design for production", que, nesse momento, ainda estava em viés de adaptação, ao estabelecer princípios de design direcionados não só para, mas também, por meio de considerações delineadas e codificadas por diretrizes de manufatura e montagem, suportadas por diferentes tecnologias de fabricação.

Logo após uma sequência de publicações que sistematizavam determinadas aplicações das novas tecnologias digitais, em 2006, Rivka Oxman publicou "Theory and design in the first digital age", texto muito difundido por formular uma estrutura teórica mais ampla em relação à nova abordagem dos processos de design digital proposta por ela[30]. A autora aponta que uma diversidade de categorias e conceitos relacionados à arquitetura digital têm sido situados no horizonte do discurso, instigando novas direções formais e postulando novos métodos de design. Ela recorda que o não estandartizado e a sua capacidade de propor variadas alternativas à lógica da repetição foi um dos primeiros conceitos atribuídos ao design digital, que segue se desdobrando em estratégias e modos de pensar a arquitetura. Para não se limitar à mera exploração do meio digital, teorizações sobre novos conteúdos vinculados ao design digital emergiram a partir da década de 1990. Segundo a autora, no período inicial, o design "favoreceu a investigação material e performativa capaz de produzir geometrias topologicamente complexas e diferenciação formal sobre a continuidade do objeto de design" (OXMAN, 2006, p. 234). Nesse sentido, o processo de exploração formal estava muito baseado nas novas possibilidades de interação entre geometrias e interfaces.

Desde antes e durante esse período, uma série de conceitos discursivos, abstratos e de fontes filosóficas, foram operacionalizados e adentraram o âmbito do design digital no sentido formativo, como o rizoma, o diagrama, a dobra, o não linear e a complexidade. Apesar disso, segundo a autora "observamos que o discurso do design digital foi fortemente motivado por transformações na práxis" (OXMAN, 2006, p. 238), em que o grau de controle individual do designer tem aumentado, somado ao seu novo papel na interação com os meios. Dentre as principais características dessa mudança. apontadas por Oxman, estão a transformação do conceito de forma para formação, a emergência de processos de design não determinísticos - incluindo a função do designer como criador de ferramentas digitais -, praticados por meio das estratégias

30 Cabe ressaltar dois acontecimentos anteriores que contribuíram para o conhecimento do trabalho da autora e a difusão de suas ideias em nosso continente: o artigo "The conceptual content of digital architecture. A content analysis in design", publicado no primeiro número da Arquiteturarevista, no primeiro semestre de 2005, e o texto "Digital architecture – towards a new discourse", apresentado no SiGraDi em 2005, no Peru.

de design topológico, associativo e de animação (OXMAN, 2006, p. 251). A questão da fabricação (digital) ainda não aparece explicitamente no texto, mas há referência à passagem de um funcionamento descritivo utilizando CAD para uma integração entre o virtual e o material (OXMAN, 2006, p. 249), porque a sua aproximação com o arquiteto ainda era algo que ocorria em nível experimental. Por mais que a autora ensaiasse, naquele momento, a necessidade de uma aproximação, já que os esforços de maturação estavam mais focados nos processos de design virtual, os processos em desenvolvimento de protótipos e os processos de trabalho com a materialidade, dependiam do acesso às tecnologias no ambiente industrial.

O conceito de não estandardização foi um dos que, primeiramente, sintetizou desejos de arquitetos e de designers pelo não convencional, em torno de experimentos que utilizavam extensivamente os recursos computacionais em formas dinâmicas e complexas, que insinuavam um retorno à tradição orgânica (MENNAN, 2008). Referência desse momento foi a exposição "Non standard Architectures", organizada por Frédéric Migayrou no Centre Pompidou de Paris, entre dezembro de 2003 e março de 2004, que reuniu trabalhos de arquitetos como Asymptote, dECOI, DR_D, Greg Lynn, Kol/Mac Studio, Kovac, NOX, Objectile, Oosterhuis, R&Sie, Servo e UN Studio[31]. Bernard Cache, um dos participantes da exposição, tornou-se conhecido pelo trabalho do seu escritório "Objectile", que também representa um conceito baseado em Deleuze sobre objetos que não contêm uma forma definida, mas de contínua variação gerada por funções matemáticas, resultando em elementos decorativos de formas complexas. Cache já indicava a noção do conceito no livro "Earth moves", de 1983 (com tradução para o inglês em 1995) e, posteriormente, no texto de 2007, intitulado "Towards a Non Standard Mode of Production", em que menciona sobre a fascinação da forma para os arquitetos e a sensação de poder ao controlá-la.

Figura 30 – Um dos Objectile, de Bernard Cache, 1995

Fonte: Klinger; Kolarevic, 2008, p. 18

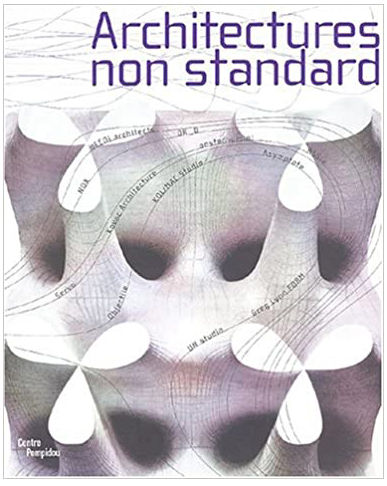


Figura 31 – Cartaz exposição "Non standard Architectures"

Fonte: https://www.amazon.com/Architectures-non-standard-Centre-Pompidou/dp/2844262317

31 Da reportagem da revista Domus <https://www.domusweb.it/en/architecture/2004/02/03/-non-standard-architectures-at-the-centre-pompidou.html>.

Em 2010, Antoine Picon elaborou, com base nesse breve e recente período, uma história da arquitetura contemporânea, centrada nos efeitos do que ele chama de uma "nova cultura digital". Diante de um cenário de inovações tecnológicas, as mudanças profundas fomentadas pelos meios digitais acarretaram alterações na manipulação de geometrias, em direção a elementos complexos, que reforçaram a crise de códigos tectônicos tradicionais (PICON, 2010, p. 10). Ao revisar historicamente os sistemas computacionais, desde meados do século passado, em face às intenções de se estabelecer interfaces entre homem e máquina, reconheceu a própria arquitetura como uma interface comunicativa que se desdobra por meio da sedução das novas formas geométricas, mecanismos de formação e o vocabulário formal expandido pelos meios digitais. A narrativa de Picon parece fazer um contraponto aos autores mencionados anteriormente em relação à interpretação do período, ao apontar que a arquitetura digital desafia a integridade do objeto arquitetônico e da disciplina como presença estática, de forma até a causar estranhamento por seus perfis excêntricos (PICON, 2010, p. 91).

Com o domínio do ambiente digital, aprofunda-se a instabilidade proporcionada pela escala do projeto na virtualidade computacional (PICON, 2010, p. 124). Logo, o computador, que permitiria uma articulação mais íntima entre concepção e produção, acaba por estabelecer uma distância entre o imaginário arquitetônico e a realidade da construção, já que as escolhas de design têm um amplo grau de independência das tecnologias de sua realização (PICON, 2010, p. 128). Percebe-se, nesse momento, um temor recorrente acerca de se obter capacidade de produzir os elementos materiais com a mesma fluidez e facilidade com que se projetava digitalmente. Nas descrições do autor, no final da primeira década de 2000, há um grande peso na interpretação do design em termos de design computacional, e na ideia de uma arquitetura digital como centralizadora na recente história da arquitetura contemporânea. Contudo, vislumbra efeitos práticos e simbólicos a partir de uma nova materialidade, mas sem apontar a profusão das tecnologias de manufatura digital como algo essencial para esse alcance. Não à toa, surgiram grupos de pesquisa e desenvolvimento, como o SmartGeometry Group, fundado em 2001, e em escritórios como Arup (Advanced Technology and Research group), o Specialist Modelling Group (SMG) no Foster + Partners, e o Digital Technology Group no Herzog & de Meuron (De KESTELIER; PETERS, 2013).

Nessa transição de expectativas e possibilidades para a realidade, muitos exemplos surgiram como referência no horizonte dos processos e das práticas de projeto. Um dos arquitetos que, representando um novo paradigma de aplicação prática das tecnologias

em projetos construídos, ao experimentar uma série de processos de design digital, foi o canadense Frank Gehry, implementando dinâmicas para a racionalização das geometrias complexas para a fase da construção. O seu escritório desenvolveu projetos como o Fish Sculpture (1992), em Barcelona, o conjunto Neuer Zollhof (1999), em Düsseldorf, e o Ray and Maria Stata Center do MIT (2004), em Cambridge, para além do conhecido Museu Guggenheim (1997), em Bilbao, que simbolizam uma amostra da arquitetura que estava por vir no futuro, derivada das ferramentas digitais. As experimentações formais a partir de modelos físicos são transferidas, por meio de escaneamento 3D, ao software CATIA – originário da indústria aeroespacial –, que permite a manipulação de geometrias complexas e de contínuos ajustes nos dimensionamentos em um modelo de informação e para a fabricação, numa abordagem denominada "the Master Model" (GEHRY; LLOYD; SHELDEN, 2020). A execução dos elementos construtivos aconteceu por transferência de informações digitais diretamente para a fabricação na indústria, como as estruturas e peles metálicas em painéis segmentados individualmente, as peças de vidro para as fachadas, ou os moldes de isopor fresados para materializar os painéis de concreto estrutural customizados. Outro exemplo nesse horizonte foi o projeto do Kunsthaus em Graz, finalizado em 2003, Peter Cook e Colin Fournier, em que, a partir do modelo digital, foram extraídas informações e desenvolvidas técnicas de manufatura para a execução da superfície acrílica translúcida de dupla curvatura.

Figura 32 – Golden Fish

Fonte: https://www.permasteelisagroup.com/project-detail?project=1980

Figura 33 – Zollhof Towers

Fonte: http://architectuul.com/architecture/neuer-zollhof

Figura 34 – Ray and Maria Stata Center (MIT)

Fonte: https://www.dezeen.com/2017/04/21/architecture-mit-massachusetts-institute-technology-10-impressive-campus-buildings/

Uma tarefa profissional muito particular, mas bem conhecida no meio da arquitetura, foi o trabalho de Mark Burry para com a continuidade das obras da Sagrada Família, de Antônio Gaudí, em Barcelona, que introduziu tecnologias de prototipagem rápida e de fabricação industrial no desenvolvimento de protótipos

dos elementos regrados da igreja, por volta de 2001[32]. Os modelos das peças foram criados digitalmente, utilizando-se da estratégia do design paramétrico, ou geometria associativa, pioneira no momento, baseadas nas regras generativas de revoluções em hiperboloides legadas por Gaudí (BURRY; BURRY; FAULÍ, 2001, p. 80). Segundo Burry (2002, p. 316), as tecnologias CAD/CAM já estavam sendo utilizadas no projeto da Sagrada Famíília desde 1990, e a prototipagem rápida, introduzida oficialmente no início de 2000, com a geração de moldes para os elementos estruturais e o uso de estereolitografia com cera e impressão em plástico para a fabricação de modelos reduzidos, com a finalidade de realizar a avaliação das geometrias e a comunicação com os artesãos responsáveis pela pedraria. Ao longo do tempo, as atividades de manufatura foram se aprimorando e incorporando o corte de peças de pedra por meio de sistemas robóticos.

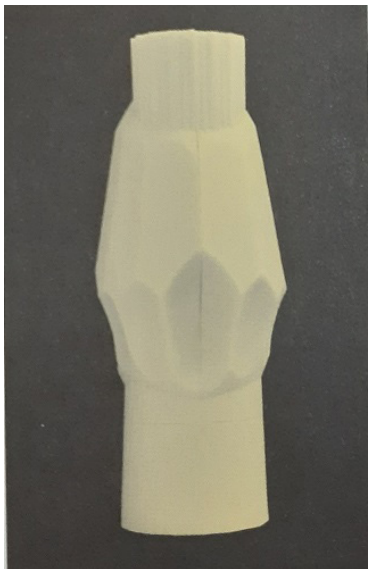


Figura 35 – Protótipo de elemento em escala da Sagrada Família, impresso 3d na ThermoJet da 3d Systems utilizando cera, 2001

Fonte: BURRY; BURRY, 2016, p. 47

Figura 36 – Processo de corte em pedra utilizando um braço robótico, para gerar a coluna da fachada da Sagrada Família

Fonte: BURRY, 2011, p. 124

Diante do já corrente cenário de produção europeia de obras arquitetônicas por empresas de manufatura, sob o signo de variação e diferenciação, Achim Menges, no artigo "Manufacturing Diversity", de 2006, apontou que é crítico "entender a produção digital como um aspecto estratégico do processo de design, em vez de uma atividade meramente facilitadora" (2006, p. 71). Essa dinâmica estava sendo desenvolvida, principalmente, na indústria da pré-fabricação de elementos implementados em edificações de grande porte produzidos naquele momento. Desse modo, noticia que

32 Em que os métodos de criação de geometrias e da criação de modelos foram atualizados por meio das tecnologias digitais <https://www.archdaily.com/613197/construction-of-sagrada-familia-accelerated-by-3-d-printing-technology>.

diversos processos tiveram que ser adaptados ou absorvidos de outras áreas para a manufatura dos componentes arquitetônicos, especialmente para fabricar painéis de dupla curvatura, inicialmente sendo gerados pelo uso de moldes esculpidos com fresadora CNC. Aos poucos, as tecnologias e materiais que eram utilizados para gerar os moldes, passaram a fabricar partes dos elementos estruturadores e auxiliar no desenvolvimento de sistemas construtivos complexos. Contudo, geralmente o modelo digital servia como um orientador para a produção, ou mesmo algumas linhas do projeto eram utilizadas como base que necessitava ser engenheirado pela empresa, utilizando como ferramentas software customizados e alguns detalhamentos manuais (MENGES, 2006, p. 73). A partir de uma capacidade já instalada em algumas indústrias que dispunham de sistemas CAM e máquinas CNC, incluindo unidades de manufatura robótica, surgiram oportunidades de introduzir experimentos construtivos em grupos de pesquisa nas instituições, utilizando as novas tecnologias no processo de aprendizado. Dentre esses projetos, está o Serpentine Pavilion, criado por Álvaro Siza e Eduardo Souto de Moura, em colaboração com Cecil Balmond e Arup and Partners, instalado em 2005, na cidade de Londres, após a estrutura de madeira ter sido produzida pela unidade de fabricação robótica da indústria alemã Finnforest Merk.

Figura 37 – Serpentine Pavilion criado por Álvaro Siza e Eduardo Souto de Moura

Fonte: MENGES, 2006, p. 76

A dinâmica de criação da informação para a manufatura, denominada "file-to-factory", mantinha o arquiteto, de certa maneira, distanciado do setor de produção, em que o designer, com base nos conhecimentos técnicos da manipulação digital do software e da capacidade do maquinário, criava o arquivo para ser enviado para uma fábrica com profissionais capazes de efetuarem a sua leitura e executá-lo com os materiais e tecnologias requeridas. Havia, assim, uma dinâmica de projeto em que a via operacional do escritório para o canteiro não era direta e fluida. Naquele primeiro momento, as máquinas estavam situadas como auxiliares em algumas tarefas da produção e construção, como na pré-fabricação, ampliando a capacidade de gerar materialmente os devaneios complexos nos projetos. Agora, as máquinas são responsáveis pela implementação de uma nova inteligência construtiva, capaz de

ampliar o escopo de possibilidades imaginadas e auxiliar o intelecto humano por meio de tarefas generativas e automatizadas de fabricação.

De maneira muito lenta, no início, o emprego dessas estratégias e tecnologias foi se expandindo para além do uso por arquitetos e escritórios mainstream. O que determinou, em parte, a aceitação dessas dinâmicas foram alguns fatores, como um certo pragmatismo em se afastar de teorias abstratas e ser um facilitador da inovação na disciplina, num sentido experimental (RAJCHMAN, 2013), que envolvia tecnologia direcionada à eficiência para o alcance de certos fins. No caso, consistiu na facilitação na criação de ícones renovados no horizonte da arquitetura, gerando um efeito de atenção às recentes expressões pessoais dos arquitetos e designers, possibilitadas pela aplicação de novas tecnologias, implicando na emergência dos "starchitects". Outro fator foi o que Kolarevic (2005) chamou de "digital continuum", em que a presença do digital se ampliou por diversos mecanismos, promovendo uma conexão mais direta do processo de design para a construção. Um fator complementar foi o da customização dos elementos construtivos que, no processo de fabricação digital, ficou conhecido como "digital mass customization".

O tema da customização em massa foi, por seus meandros, um dos tópicos que mais se adequou à possibilidade de criação individualizada, o que levou Mario Carpo (2017) a defender que a customização em massa digital é uma ideia dos arquitetos, aproveitando o potencial de automatizar processos para criar geometrias complexas em protótipos sob medida e componentes em larga escala para o setor de arquitetura e da construção civil. Além disso, a customização em massa se apresenta como alternativa à produção em massa. A produção em massa, que é rotineira em linhas da indústria, na arquitetura, exaltaria o tedioso e o enfadonho. Ao mesmo tempo, a customização em massa exige uma dinâmica convergente entre muitos fornecedores, aumentando o custo de preparação. A customização se encaminha, muitas vezes, na arquitetura, para o sentido da personalização, que acaba relegado a certas classes de consumidores que possam alcançar um nível de exclusividade do produto, se contarmos todo o esforço envolvido nesse sentido para, por exemplo, construir elementos de uma residência familiar. O maior domínio do arquiteto em termos de conhecimentos interdisciplinares, técnicos e tecnológicos, pode direcionar alguns aspectos de customização – não unicamente do projeto, mas dos componentes materiais –, no sentido de uma ampliação flexível do vocabulário da construção, e em colaboração com outros profissionais sintonizados no processo. Em suma, a aplicação de fato desses preceitos ainda está muito determinada pela escala e complexidade exigida para a edificação.

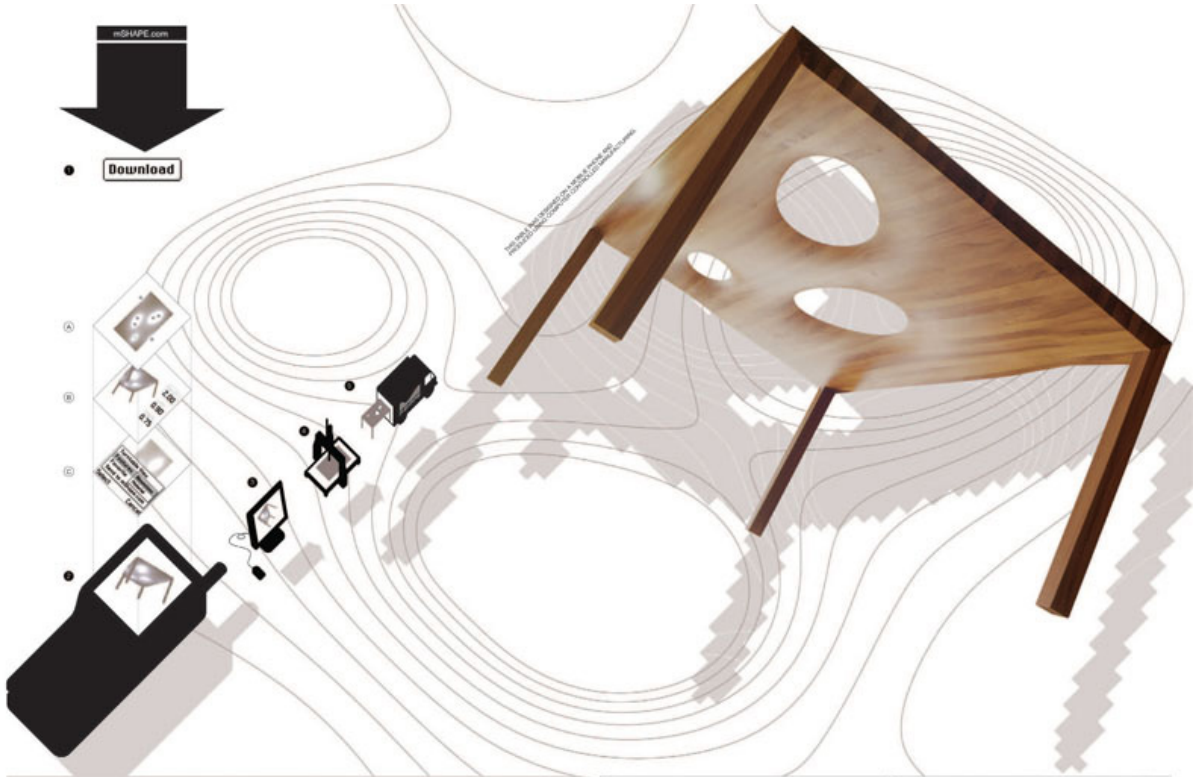


Figura 38 – mTable

A mesa mTable foi um projeto de customização desenvolvido em 2002 por Fabio Gramazio & Kohler, que envolvia a ecolha de detalhes formais em uma mesa a partir de uma interface instalada no celular do usuário. As informações eram enviadas para uma indústria que, por meio de uma fresadora CNC, executava as modificações no modelo original. Demonstra um dos primeiros esforços de avançar da etapa de concepção de um projeto para a capacidade de materialização pelo mesmo agente, utilizando como suporte a fabricação digital.

Fonte: https://gramaziokohler.com/web/d/installationen/17.html

No texto "o fetichismo da arquitetura", Sérgio Ferro (2006) questiona a lógica e a racionalidade na produção material que guia a forma dos novos paradigmas da arquitetura contemporânea – como Nouvel e Gehry –, entre outras construções dos "starchitects" que desafiam as normas mais evidentes do bom senso construtivo, já que "a forma fetiche apaga as contradições das relações de produção inscritas na temporalidade do trabalho (valor é tempo) na espacialidade imóvel das formas plásticas (FERRO, 2006, p. 302). Para além dessa rigidez constitutiva, talvez, para muitos desses arquitetos, a exploração processual que desafie esse bom senso fosse o preço a se pagar para ilustrar, mesmo que por meio de desperdícios excessivos, que certos desdobramentos técnicos no avanço da tectônica digital seriam possíveis. Os saltos que aconteceram nas últimas décadas foram grandes: de poucos projetos arquitetônicos desenvolvidos digitalmente, utilizando software criados para outros setores industriais e com seus elementos produzidos em fábricas, para a concepção projetual com software específicos para as áreas de design e construção, podendo ser prototipados e manufaturados no próprio local de trabalho.

Homo Faber ou os novos espaços de inscrição técnica do fazer

A convergência das novas tecnologias digitais em diversos aparatos, e sua disseminação enquanto equipamentos de suporte para a criação, encaminhando-se, inclusive, ao usuário não-especializado, gerou a oportunidade de restituir uma série de práticas relacionadas às atividades do fazer. Para o filósofo Vilém Flusser (2009, p. 40), o gesto do fazer – de ir ao encontro da matéria para transformá-la num artefato por meio da técnica –, promove também o de investigar o mundo enquanto uma fase posterior de seu desenvolvimento. Apesar dessa dupla relação com o objeto e o mundo, e da benéfica implicação dialética de aprendizado entre o indivíduo e o seu meio, o autor reivindica atenção para o fato de que "neste ponto em nossa descrição do gesto de fazer, surge uma nova dificuldade: o problema da especialização, da divisão do trabalho" (FLUSSER, 2009, p. 41). É possível compreender que, no cenário em que vivemos, essa distinção não conforme uma dicotomia entre o imaterial e o material. O ser humano não deixa de ser um homem de ação, mas, em nossa sociedade pós-industrial, a capacidade de manipular a informação atribui um valor cognitivo excepcional à essa tarefa, que ainda delimita certa hierarquia em relação às atividades do fazer: o intelectual e o manual. A emergência desse tópico em nosso meio, que não é algo exatamente novo ou original, deve-se tanto aos fatores culturais, institucionais, tecnológicos e discursivos.

A condição e o estatuto do sujeito envolvido nessa dinâmica se altera. Nela, "o desaparecimento do artesão qualificado é uma instância na transferência em curso do poder econômico e político daqueles que trabalham com suas mãos para a classe privilegiada de 'analistas simbólicos' que manipulam informações" (WILLIS; WOODWARD, 2010, p. 195). Esse arranjo se enquadra no que Flusser denomina a diferença entre o "homo faber" e o "homo ludens", já que o primeiro dá conta do fazer, e o segundo, de manipular informação. Uma das previsões de Flusser (2011) era a de que o homem estaria cada vez mais ligado às questões do fazer nas fábricas contemporâneas, nas quais realizaria o seu potencial criativo, aprendendo o funcionamento das novas tecnologias e aplicando saberes muito específicos, efetivando plenamente o termo homo faber. Outra previsão do filósofo diz respeito à importância do design como uma cultura emergente, na qual o interesse transita das coisas para a informação, e o homem se torna um jogador que manipula códigos e símbolos ao controlar os aparelhos: o homo ludens. A condição atual, que envolve o domínio das tecnologias digitais, representa um tipo de síntese entre essas duas categorias.

O projeto "Fab Lab" se consolidou como uma proposta que, indiretamente, converge esses fatores. Os Fab Labs são lugares onde a cultura digital e a produção material se fundem e ingressam em um novo estágio, em que há uma coleção de máquinas disponíveis para se materializar coisas (WALTER-HERRMANN; BÜCHING, 2013, p. 11). Abreviação para "fabrication laboratory", foi o mais relevante e difundido movimento para sistematizar a dinâmica de funcionamento de um espaço que empregasse novas tecnologias para prototipagem. Ele se tornou uma marca registrada com o apoio de uma rede mundial, representando uma proposta que inclui instruções para o uso e a aquisição de maquinário por um valor de até 50 mil dólares[33]. A ideia cresceu e se ampliou a partir do seu surgimento, em uma disciplina ministrada pelo físico Neil Gershenfeld, membro do Center for Bits and Atoms (CBA) do Massachusetts Institute of Technology (MIT), denominada "how to make (almost) anything", no ano de 1998. A princípio, o que havia sido uma atividade direcionada aos estudantes de física, recebeu inscrições de outras áreas – como arquitetos e artistas –, com o objetivo de criar e desenvolver um objeto inexistente segundo um problema corrente, utilizando "high-tech fabrication tools". Ao longo de alguns anos, com o cenário se repetindo, Gershenfeld percebeu o potencial concebido, e articulou a criação de um modelo que pudesse ser levado para além do MIT, em 2002.

No livro "FAB: the coming revolution on your desktop", lançado em 2005, Gershenfeld apresentou um elemento-chave para o sucesso e a continuidade da articulação maker nos espaços de aprendizado, que estava no horizonte da disciplina lecionada no MIT e também originou o programa "Fab Lab", baseado na articulação e trabalho multidisciplinar promovido por estudantes e pesquisadores de áreas tão diversas, como físicos, químicos, biólogos, matemáticos e engenheiros (GERSHENFELD, 2005). Na descrição de Gershenfeld sobre a primeira experiência com a disciplina "How To Make (almost) Anything", em 1998, relata a aparição de estudantes das artes e arquitetura, além dos já esperados, reagindo de maneira empolgada às propostas do curso, ao envolver atividades práticas e abertas de design, muito distante do que se esperava de uma disciplina ordinária: "eles foram motivados pelo desejo de fazer as coisas que sempre quiseram, mas que não existiam" (GERSHENFELD, 2005).

Apesar do modo como a rede se desdobrou, a descrição inicial apresentada no livro estava relacionada à proposta de desenvolver "fabricadores pessoais", o que "significa não apenas a criação de estruturas tridimensionais, mas também a integração

33 Mais informações em: Andy Greenberg. "Neil Gershenfeld: The fab life", Ago. 26, 2008. Disponível em: <http://www.cbc.ca/news/technology/neil-gershenfeld-the-fab-life-1.708914>.

da lógica, detecção, atuação e exibição – tudo o que é necessário para criar um sistema funcional completo" (GERSHENFELD, 2005). A ideia do autor era a de que esse tipo de sistema maquínico pudesse fabricar qualquer coisa, inclusive a si mesmo, num processo de autorreprodução. A partir dessa concepção, estabeleceu com seus colegas do MIT um conjunto de máquinas que pudessem realizar as tarefas em um espaço e com dinâmicas adequadas, absorvendo a experiência prática da disciplina "How To Make (almost) Anything". Foram esses os fatores que propiciaram a emergência da concepção de laboratório, que demarcasse uma diferença em relação à configuração de tarefas distribuídas na indústria, para um processo de aprendizado impulsionado pela demanda de conhecimento (GERSHENFELD, 2005).

A dinâmica dos Fab Labs foi fortalecida pelo estabelecimento de redes de colaboração entre os laboratórios associados à marca, que permite a troca de informações, o compartilhamento de projetos e interações para criações coletivas (WALTER-HERRMANN; BÜCHING, 2013, p. 151). Como resultado, a concepção de "Fab Lab" incorpora princípios de funcionamento, organização e indicativo de equipamentos (Fab Wiki)[34], uma plataforma virtual que torna visível informações sobre laboratórios associados no mundo (Fablabs.io)[35], uma fundação para financiamento da ampliação da rede (Fabfoundation)[36] e cursos de aprendizagem e experiências (Fab Academy)[37]. O projeto "Fab Lab" difundiu uma série de princípios, como o de estabelecer um processo de aprendizado derivado de demandas dos usuários, promover acessibilidade para a produção de artefatos, estabelecer espaços para a educação, estimulando a compreensão da cultura maker e Do-It-Yourself "como uma resposta à cultura de massa" (WALTER-HERRMANN; BÜCHING, 2013, p. 12-4).

Para além da criação de um espaço físico, a proposta engloba fatores culturais e educacionais, que não se restringem ao uso técnico do maquinário, mas à possibilidade de convergência do capital humano voltando os seus esforços para a produção de algo comum, ou seja, ações nas quais importariam também os processos, trocas e conhecimentos adquiridos, "como ambientes de aprendizagem multidisciplinar" (WALTER-HERRMANN; BÜCHING, 2013, p. 28). A sua flexibilidade organizacional de um Fab Lab permite que o modelo seja adaptado e utilizado para demandas em diferentes disciplinas técnicas, como a arquitetura, a robótica e o design de produtos, entre

34 O quadro amplo de informações em <http://wiki.fablab.is/wiki/Main_Page>.

35 O mapa e a lista de espaços cadastrados por país em <https://www.fablabs.io/>.

36 Mais informações sobre a instituição em <https://fabfoundation.org/>.

37 Mais informações em <https://fabacademy.org/>.

outros, gerando diferentes séries de artefatos. É interessante pensar até que ponto essa rede pode ser considerada como um "movimento social global" com o intuito de agir localmente, isso para entendermos os limites do impacto social promovido, para que não se reduza à uma coleção de máquinas ou à produção de objetos comerciais. É corrente o discurso, já apontado, sobre a democratização dos espaços e empoderamento dos usuários, além da dimensão da educação e acesso ao conhecimento promovido pelas atividades dos mesmos (PICON, 2019). Apesar do esforço pela difusão global da proposta, contudo, boa parte dos laboratórios está inserido em instituições de ensino superior e em setores de serviço, o que exige um certo nível de domínio técnico para o desenvolvimento de projetos e limitações de acesso aos espaços. Esse fato atualiza a noção de divisão do trabalho, na qual surgem os "especialistas tecnológicos", treinados com o domínio técnico e o entusiasmo capaz de controlar e difundir o apreço pela fabricação pessoal e customizada.

Figura 39 – Vigyan Ashram FabLab, o primeiro estabelecido fora do MIT, em 2002

Fonte: http://vigyanashram.com

Figura 40 – FabLab SP, o primeiro no Brasil, criado em 2012, na FAUSP

Fonte: www.usp.br/aunantigo

Figura 41 – Fab Lab Barcelona, um dos mais conhecidos da Europa

Fonte: fabacademy.org

Neil Gershenfeld explicita que a grande força dos Fab Labs não está no quesito técnico, mas sim no social (GERSHENFELD, 2012, p. 57), já que envolve a elaboração de um conhecimento que é compartilhado, e estariam direcionados às inovações que atendam ao meio e aos seus problemas. Para o autor, estamos vivenciando uma era de revolução digital que não se resume à evolução dos processos de manufatura aditiva e subtrativa, "mas a habilidade em transformar dados em coisas e coisas em dados" (GERSHENFELD, 2012, p. 44) que, segundo ele, comporta uma analogia próxima à história da computação. Quando Gershenfeld costumava perguntar aos seus estudantes "para o que serve a fabricação digital?", a resposta se vinculava à personalização de produtos (GERSHENFELD, 2012, p. 46-47). Para ele, a difusão dos Fab Labs pelo mundo representa parte de um "mais amplo 'movimento maker' de high-tech do-it-yourselfers, que estão democratizando o acesso aos meios modernos para fazer coisas" (GERSHENFELD, 2012,

p. 48), sintetizando a recorrência ao antigo modelo "Do It Yourself".

De maneira crescente, características do movimento "do-it-yourself" (DIY), que passaram a ser o "movimento maker", tornou-se um eixo convergente para ações vinculadas ao uso da fabricação digital, e que acaba por sustentar-se devido à dinâmica dos Fab Labs e reforçá-la, sendo resultado de uma ideologia de retorno e ressignificação das atividades manuais e inventivas que envolvem o sujeito em uma autodeterminação ativa do fazer. O movimento DIY originou e se difundiu como um movimento cultural – na realidade, contracultural[38] –, por convergir uma série de ideias e ideais que permearam diversas ações, caracterizado por um senso de autonomia anárquico, ligado à identidade punk, e de reação ao consumismo. Essa emergência ocorreu nos anos de 1950, e se difundiu pela década seguinte, principalmente, a partir da Inglaterra e em países situados no cenário do pós-guerra que se encontravam em condições de escassez, ao mesmo tempo que foram envolvidos pelos princípios da sociedade de consumo. Desse modo, cresceu como um movimento ideológico de resistência e enfrentamento que, segundo George McKay, passou a envolver uma consciência mais reflexiva e política, associada aos esforços coletivos, colaborativos e de práticas sociais alternativas (PRADO, 2017).

A cultura DIY dizia respeito à capacidade de realizar reparos e criações caseiras a partir do que estava à mão, configurando uma adaptação a uma situação de necessidade. Em anos recentes, a retomada do movimento DIY tem a sua força associada aos aspectos do dia a dia: as pessoas estão cada vez mais fazendo sua própria roupa, cerveja, sapatos e até móveis (PRADO, 2017). Sua transmutação para a narrativa do movimento maker acontece devido à maior acessibilidade às máquinas e ferramentas diversas, à difusão da internet e dos meios digitais, de repositórios de arquivos open-source[39] e redes de compartilhamento, o que promoveria "uma nova dinâmica e diferentes alternativas para as cadeias produtivas" (FONSECA DE CAMPOS; DIAS, 2018). Um exemplo que se tornou conhecido para a área da arquitetura e da construção foi o projeto Wikihouse[40], criado em 2011, na Inglaterra, em que a estrutura de uma habitação pode ser acessada, modificada e materializada em peças de madeira compensada com o uso de fresadora

38 "Refers to groups that operate outside of mainstream society often showing alternative ways of living, thinking and doing". Mais informações em <http://www.permanentculturenow.com/introduction-to-diy-counterculture/>.

39 Nesse caso, há declaração de princípios tanto em relação a fontes abertas de software <https://opensource.org/osd-annotated> e hardware <https://www.oshwa.org/definition>, que, basicamente, indicam sobre a disponibilidade da documentação do projeto, livre acesso às devidas fontes de informação para alterações e distribuição, sem discriminação em relação às pessoas, grupos e campos de empreendimento.

40 Mais informações sobre o projeto em <https://www.wikihouse.cc/About>.

CNC. Para McKay, diferentemente das origens do movimento DIY, há contradições que o acompanham hoje, pois apesar de ter surgido como uma reação ao consumismo, virou algo fortemente comercial por ser reconhecidamente "descolado" (cool), tornando-o também rentável, já que correspondia aos processos de cooperação, e não com a exploração ou com a cultura do lucro (PRADO, 2017).

Figura 42 – Wikihouse, SpaceCraftSystems, 2014

Uma das versões da estrutura do projeto Wikihouse cortada em suas peças e montada unicamente por encaixes.

Fonte: https://archipreneur.com/social-archipreneurship-how-wikihouse-is-making-housing-affordable/

Com a profusão do entusiasmo em torno da "cultura do fazer", uma série de livros, revistas, eventos e programas televisivos foram gestados para divulgar e difundir essa "nova" dinâmica, que representa "narrativas atuais que envolvem a realidade do fazer" (NASCIMENTO, 2014). Dale Dougherty fundou a revista "Make:", em 2005, focada em projetos faça você mesmo (DIY) e faça com outros (DIWO), e a Maker Faire, em 2006, consolidando eventos anuais para agregar pessoas em torno desses ideais. O livro "Makers: the new industrial revolution", lançado em 2012, de Chris Anderson, ex-editor da revista Wired, tornou-se um dos livros mais conhecidos nesse quesito, por ampliar a visão acerca do tema, em direção à concepção de uma nova revolução já entoada por outros setores. Posteriormente, o diretor Mark Hatch, da empresa TecShop – uma rede

que fornece suporte, máquinas e materiais para makerspaces –, lançou, em 2013, o livro "The Maker Movement Manifesto: Rules for Innovation in the New World of Crafters, Hackers, and Tinkerers". O autor considera, como princípios para essa finalidade, que deve-se envolver as ações práticas, compartilhar objetos e conhecimento, presentear as suas criações, estar em constante aprendizado, utilizar as ferramentas adequadas, divertir-se com as ações, integrar-se às atividades do movimento maker, fornecer suporte às instituições e aceitar processos de mudança[41]. As sugestões são simples e até corriqueiras, permanecendo entre o desafio de sair da inércia da contemplação e do consumo, e as estratégias de marketing por trás da venda de produtos para a fabricação digital doméstica.

Figura 43 – Documentário "Maker", 2014

Fonte: http://makerthemovie.com

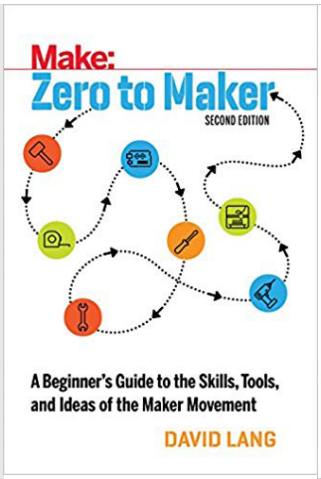


Figura 44 – Livro derivado da revista "Make"

Fonte: https://www.makershed.com/products/zero-to-maker-second-edition

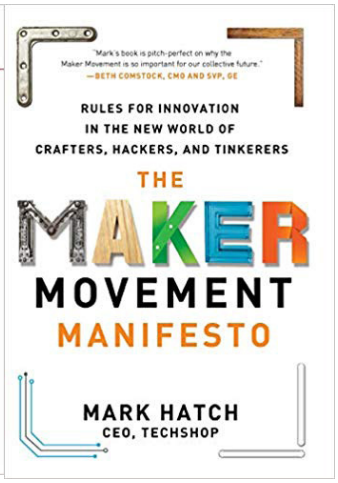


Figura 45 – O "maker movement manifesto"

Fonte: https://www.oreilly.com/library/view/the-maker-movement/9780071821124/

O poder da democratização dessas plataformas é, para Anderson (2012, p. 63), a possibilidade de disponibilizar ferramentas nas mãos daqueles que necessitam ou que pretendem colocar suas ideias em prática. Contudo, reconhecer a aplicação voltada à fabricação pessoal como um dos objetivos da fabricação digital pode limitar a aspiração inventiva aos interesses do indivíduo e ao nível de consumo, legando ao usuário a capacidade de simplesmente fazer o que não está a venda (GERSHENFELD, 2012, p. 49). As novas características do movimento "maker" tornaram-se a utilização de ferramentas digitais para projetar e criar protótipos virtualmente, o compartilhamento das criações em plataformas online, e a permissividade de se apropriar, modificar e fabricar quantos objetos quiser (ANDERSON, 2012, p. 21). Segundo o autor, o que

41 Mais informações em <http://www.techshop.ws/images/0071821139%20Maker%20Movement%20Manifesto%20Sample%20Chapter.pdf>

iniciou como uma mudança cultural baseada na fascinação sobre as novas ferramentas de prototipagem, e a capacidade de transferir o que estava online para impactar no mundo real, transformou-se gradativamente em uma mudança econômica (ANDERSON, 2012, p. 19). Em vez de se trabalhar em uma fábrica, parte da economia de manufatura atual estaria se moldando com base em processos "bottom-up", com uma dinâmica distribuída e "empreendedora", englobando distintas escalas de atividades e processos de inovação (ANDERSON, 2012, p. 24-32).

A fabricação digital e o processo "maker" encontram similitudes, pois "são baseados em três pilares teoréticos e pedagógicos: a educação experimental, o construcionismo e a pedagogia crítica" (BLIKSTEIN, 2013, p. 206). A primeira noção se refere às experiências de aprendizado conectadas com os objetos do mundo real e o seu contexto, ideia que é originalmente atribuída ao filósofo e pedagogo estadunidense, seguidor da corrente do pragmatismo, John Dewey (BLIKSTEIN, 2013, p. 206). A segunda noção diz respeito à teoria de Piaget sobre o construtivismo, ou a construção do conhecimento que se dá na medida em que os estudantes estão engajados a partir de interesses pessoais (BLIKSTEIN, 2013, p. 207). O terceiro ponto parte da pedagogia de Paulo Freire, de sua concepção acerca de um currículo culturalmente significativo e da educação como forma de empoderamento e questionamento das situações impostas (BLIKSTEIN, 2013, p. 207). Interessante notar que todas essas teorias estão voltadas à uma realidade propositiva e formativa, pensando soluções aplicáveis às práticas educacionais. Para Blikstein (2013, p. 209), as atividades com a fabricação digital modificaram a apreciação dos estudantes pelo trabalho manual, além de acelerar processos de ideação e invenção.

Para além de algumas aplicações já situadas, segundo Nascimento (2014), estamos testemunhando um momento de "hype" afirmativo em torno do "fazer" ou do "movimento maker", que perpassa diversos tipos de atividades, de objetivos comerciais até compromissos éticos e estruturas políticas. Um outro fator crítico é que os discursos e propagandas das práticas maker e dos laboratórios acabam "aderindo aos postulados sobre a tecnologia como uma questão de controle individual e acesso ao conjunto mais promissor de ferramentas e máquinas" (NASCIMENTO, 2014, p. 2), comercializando uma imagem que depende da determinação pessoal e de um quadro de máquinas com capacidade suficiente para facilitar o processo, em vez de dificultá-lo. Isso porque "o problema reside na crença de que o que é visto como ferramentas baratas, poderosas e disponíveis conduzirá, por si só, uma revolução generalizada na propriedade e no uso dos meios de produção e, portanto, trará mudanças econômicas, culturais, sociais e políticas" (NASCIMENTO, 2014, p. 2), já que estas são concebidas e

desenvolvidas por certos atores em determinados cenários.

Segundo Van Holm (2015), há uma distinção de origem, atribuição e funcionamento entre os espaços que incorporam o "movimento maker": makerspaces, hackerspaces e fab labs. E isso envolve muito mais uma questão midiática do que de atribuição, já que "makerspace não existia como um termo até 2005, quando a MAKE Magazine foi publicada pela primeira vez por Dale Dougherty e a Maker Media" (VAN HOLM, 2015). De acordo com o autor, a concepção de makerspace passou a ser associada às oficinas compartilhadas de ferramentas, em contraste aos hackerspaces, mais voltados para a abertura e compreensão do funcionamento dos componentes de computadores e eletrônicos. Ao contrário dos espaços acima citados, que têm a sua criação de modo independente e descentralizado, "os Fab Labs originam-se diretamente do Center for Bits and Atoms [...] e o MIT manteve maior controle sobre o termo Fab Labs do que o Make Media tem sobre o makerspace, permitindo a eles estabelecer diretrizes sobre quais organizações podem usar esse termo" (VAN HOLM, 2015). Percebemos que, ao longo dessa trajetória, essas concepções foram apropriadas e mercantilizadas com o intuito de fomentar o envolvimento de um público comum, ao mesmo tempo, interessado na aplicação das tecnologias.

A proposta originária de Neil Gershenfeld, dos Fab Labs e seus correlatos serem espaços "para fazer (quase) qualquer coisa", incentivaria os desejos e interesses de pessoas envolvidas com as novas tecnologias (geeks, fabbers e hobbystas) em escala e complexidade acessível ao conhecimento do usuário. Parte desse conhecimento é difundido pela web e apropriada em espaços de ensino técnico, profissional e superior. Contudo, esse ideal esbarra em alguns entraves, como em relação ao conhecimento técnico necessário para se desenvolver algo com certo nível de complexidade, relevância e impacto e, ao invés disso, o risco da produção recair, como já citado, sobre uma série de objetos para o consumo pessoal. A máxima de Gershenfeld é cativante em um cenário que engloba infraestrutura e espaço adequados, profissionais com conhecimento técnico qualificado e material diversificado a disposição. Ainda mais, o plano de um Fab Lab se diferencia em alguns quesitos das oficinas artesanais, com suas bancadas e equipamentos: o que se ganha em tempo de execução e facilidade geracional da máquina controlada digitalmente, limita-se em relação à escala e aos materiais habilitado para serem trabalhados.

As várias faces da inovação

O termo inovação volta a ser fundamental na arquitetura, já que, por meio das tecnologias digitais, a criação de novos elementos para o projeto não depende apenas do setor industrial, mas cresce também a importância da participação dos profissionais e pesquisadores na tarefa do desenvolvimento de soluções situadas. Os projetos que envolvem o termo inovação têm apresentado novas roupagens para antigas estratégias, ao incorporar preceitos economicistas, mas também preceitos sociais. De um modo geral, representam conformações sociotécnicas muito específicas, derivadas de seu contexto, condição, política de criação, e nível de inserção tecnológica, incluindo o aparecimento das tecnologias em si mesmas. Nesse sentido, o tema da sustentabilidade, como exemplo, tem fomentado um caráter convergente para a exploração de novas propostas de design e de materialidades, com foco na necessidade de se reduzir o consumo energético e a emissão de gases, praticar a reciclagem e a economia circular (HEBEL; WISNIEWSKA; HEISEL, 2014).

De acordo com Aksamija (2016), inovação em arquitetura está relacionada às novas práticas de projeto e avanços em diferentes tópicos, como tipos de materiais (novas propriedades e aplicações), design computacional (ferramentas, métodos e simulação), tecnologias para automação em construção (máquinas controladas por computador, robôs e elementos responsivos), processos de design e prática arquitetônica (técnicas de construção, integração entre pesquisa e prática). O uso de tecnologias digitais avançadas tornou o aspecto da customização fundamental para a produção da arquitetura inovadora, devido à sua correspondência com o tema da produção particularizada e muito específica, capaz de diferenciá-la de propostas mais tradicionais. Isso foi colocado em prática por meio de experimentos que desenvolvem protótipos de construção, técnicas e processos, além de promover uma evolução na disciplina da arquitetura e das competências profissionais, tendência que expressa um "impulso tecnológico", ou seja, "a indução de novos produtos e processos de pesquisa no design por um setor que busca se expandir em novos mercados" (NABONI; PAOLETTI, 2015, p. 3).

O fator de inovação considerado pelo viés econômico seria o da diminuição dos custos da edificação, além da adaptação de práticas da indústria da construção e de escritórios de arquitetura. Os aspectos envolvidos na relação de inovação são classificados como produto, serviço e processo, determinados por distintos níveis, seja

incremental, radical ou transformativo, em que seus procedimentos constitutivos incluem pesquisa e desenvolvimento, comercialização ou implementação, e disseminação, todas considerando diversas atividades e resultados envolvidos (AKSAMIJA, 2016, p. 13-15). Entretanto, além dos fatores produtivos, há cada vez mais a emergência de fatores políticos como determinantes para a inovação.

A relação entre atores que configuram redes em formas sociais variadas são capazes de estabelecer níveis de colaboração, determinando suas ações no mundo, no intuito de promover "plataformas interdisciplinares entre especialistas [experts] sociais e tecnológicos e processos participativos envolvendo cidadãos e comunidades" (NASCIMENTO; PÓLVORA, 2013, p. 34). A demarcação de significado para os envolvidos resulta em algo novo, que não estaria estabelecido anteriormente. Segundo Adrian Smith (2017), para além do sentido de inovação – a capacidade de explorar com sucesso uma nova ideia ou método para se alcançar um efeito material e social desejado –, o papel da inovação social surge como um articulador de agendas, capaz de redirecionar a capacidade de se pensar a inovação diretamente voltada para objetivos de desenvolvimento social. Isso porque a sua principal motivação é melhorar propriamente o bem-estar humano, sem contá-lo como uma consequência secundária, sendo "mais efetiva e mais duradoura quando se baseia em processos de participação cidadã" (SMITH, 2017, p. 2).

A inovação social representa a atuação criativa de modo a resolver problemas que, anteriormente, eram percebidos como de difícil abordagem, indicando caminhos viáveis para lidar com os mesmos, por meio de "soluções que quebram os modelos econômicos tradicionais e propõem novos, operando com base na multiplicidade de motivações e expectativas dos atores" (MANZINI, 2015, p. 12). Para essa finalidade, o papel dos designers treinados seria o de promover iniciativas nos diferentes nós da rede de atividades formada, capazes de disparar e oferecer orientação aos processos de design colaborativo (MANZINI, 2015, p. 51). Manzini acredita que, para a concretude dessas relações,

todo projeto é (ou deveria ser) uma atividade de pesquisa de design e deve promover experimentos sociotécnicos [...] Para fazer isso, devemos olhar para toda a sociedade como um imenso laboratório de experimentação sociotécnica que, por sua vez, exige a produção e difusão de conhecimento acerca do design capaz de capacitar indivíduos, comunidades, instituições e empresas para inventar e melhorar as formas

originais de ser e fazer as coisas (MANZINI, 2015, p. 54).

A inovação nos sistemas sociotécnicos não surge unicamente do fator técnico, mas é social e culturalmente impulsionada pelas adaptações e investigações promovidas em diversas situações e necessidades. Segundo o autor, "quanto mais pessoas forem expostas a estas tecnologias, maiores serão suas oportunidades e capacidade de absorvê-las, e entenderão como elas podem ser usadas ou adaptadas" (MANZINI, 2015, p. 16). Nesse caso, torna-se relevante a difusão desse conhecimento por designers experientes, a fim de fomentar o interesse de um público amplo, ao mesmo tempo que vai de encontro à cultura – enquanto um conjunto de hábitos, interesses e elementos simbólicos – já construída, tornando-se um processo "necessário para alimentar tanto um senso crítico (do estado atual das coisas) quanto uma atitude construtiva" (MANZINI, 2015, p. 38). Além disso, Manzini considera que as estratégias de projeto devem se moldar na forma de pesquisa em design, pois os problemas tendem a crescer em complexidade, e a finalidade é a de produzir um conhecimento explícito, discutível, transferível e acumulável (MANZINI, 2015, p. 38-39). Desse modo, as práticas particulares podem ser difundidas e ampliadas, para contribuirem como referências em outros contextos.

O objetivo de estabelecer estratégias de design baseadas em pesquisa é o de encontrar não apenas uma solução técnica para o problema, mas também construir o seu significado, para que faça sentido aos envolvidos (MANZINI, 2015, p. 45). Outro setor encapsulado pela inovação social é o da economia social, que segue as seguintes características: o uso intensivo de redes distribuídas para sustentar e gerenciar relacionamentos; borrar os limites entre produção e consumo; ênfase na colaboração e em interações repetidas, cuidado e manutenção, em vez de consumo pontual; atribuir um papel forte para valores e missões (MANZINI, 2015, p. 15). Quando alcançamos um nível de colaboração, as práticas tendem a ser elaboradas a partir de uma organização mais horizontal, em que a importância de cada indivíduo, nas diferentes etapas de decisão que são compartilhadas, adquire relevância. Essa visão é denominada "bottom-up", pois incorpora o que emerge de modo indeterminado pelo grupo. A visão "top-down", representa uma organização mais tradicional, estruturada de uma maneira hierárquica e centralizada em decisões individuais ou provenientes de instituições, organizações cívicas e empresas. Desse modo, "organizações colaborativas devem ser consideradas como iniciativas de baixo para cima, não porque tudo acontece no nível de base, mas porque a pré-condição para sua existência é o envolvimento ativo de pessoas diretamente interessadas" (MANZINI, 2015, p. 83). Situando de forma sintética

as principais perspectivas relacionadas ao quesito da inovação, cabe pensar como assimilar características relevantes para com o uso das tecnologias de fabricação digital.

Teorias, narrativas e discursividades

Essencial no surgimento e consolidação das formações discursivas, as publicações em revistas (acadêmicas ou não), sites de arquitetura, conferências, e livros, fomentaram aspectos fundamentais para um complexo e diverso paradigma de constituição da legitimidade relacionada às práticas de fabricação digital. Como já mencionado anteriormente, teorias relacionadas aos meios digitais na arquitetura têm se desdobrado de um foco mais amplo sobre os processos e estilos, para tópicos mais específicos e pragmáticos, desde os anos de 1990. Segundo Llach (2015), esses são os novos "tratados arquitetônicos", ou seja, "aquelas visões de mundo, concepções de uso e suposições sobre a prática que passam a informar os sistemas tecnológicos que as pessoas produzem e as práticas de design que elas sustentam" (LLACH, 2015, p. 149). Mais do que isso, indicam a formação de cânones interpretativos a partir de sistemas de significação (BONTA, 1977), nesse caso, não apenas dos projetos em si, mas dependentes de e devido aos processos e às tecnologias empregadas. A conformação de um cenário específico de estudo tem fomentado o interesse por essa linha de pensamento e modo de produção, que extrapola escalas e contextos.

Nicholas Negroponte, um dos fundadores do Architecture Machine Group no MIT, e ligado ao projeto CAD, lançou, em 1970, o livro "The Architecture Machine: Toward a More Human Environment", no qual vislumbrava o futuro do CAD e do uso de máquinas como assistentes no processo de design, muito pautado pelos princípios da cibernética do momento, considerados evolutivos e parceiros, a medida que se aprimoram mutuamente de forma colaborativa em relação ao seu meio de aplicação. No livro "Computer-aided architectural design", de 1977, William J. Mitchell lança mão de uma base teórica para métodos de design assistidos por computador, especialmente relacionada aos sistemas generativos, para tornar a solução de problemas automatizado. William J. Mitchell, novamente, com a publicação "Digital Design Media", em 1991, trata da presença das diversas dimensões dos meios digitais e acerca da formação de uma nova cultura para os usuários, que estava porvir.

A atenção ao fenômeno e ao impacto das tecnologias digitais na disciplina da

arquitetura e nos projetos de alguns arquitetos, iniciou com a publicação da edição especial da revista Architectural Design "Folding in Architecture", de Greg Lynn, em 1993, que busca na base filosófica de Deleuze sobre a dobra, o barroco e as ideias de Leibniz, uma série de conceitos para fundamentar preceitos de continuidade, curvatura e fluidez, adquiridos por meio de novas ferramentas computacionais. Em 2004, no livro "Digital Tectonics", Neil Leach observa uma mudança de paradigma que incorpora o virtual e o físico, com o objetivo de consolidar um corpo de discussão e projetos que se consolidaram nesse cenário. A evolução de ferramentas de design acompanhou o desenvolvimento de técnicas digitais que passaram ao nível generativo, e esse estatuto se deve à introdução do design computacional na arquitetura (CAETANO; LEITÃO, 2019).

Há também edições com propostas de sistematização de conteúdo, conformando antologias de textos teóricos relacionados ao tema da fabricação digital na arquitetura. O primeiro foi o livro "Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing" de Branko Kolarevic, de 2003, que elenca práticas arquitetônicas contemporâneas em que as tecnologias digitais modificaram a forma como os edifícios foram concebidos, projetados e produzidos, além de textos com uma visão positiva acerca das tecnologias de fabricação. No outro lado do atlântico, uma edição da revista Architectural Design intitulada "Emergence: Morphogenetic Design Strategies", editada por Michael Hensel e Achim Menges, ambos na AA, é lançada em 2004, focando na ideia de evolução e otimização nos processos de projeto, construtivos e de novos materiais, fazendo referência aos sistemas formais emergentes encontrados na natureza, e retomando algumas ideias do arquiteto inglês John Frazer em seu livro "An Evolutionary Architecture", publicado em 1995. Em 2013, Antoine Picon lança "Ornament: The Politics of Architecture and Subjectivity", para apontar que, como um dos efeitos do controle computacional, há uma nova expressividade nas obras contemporâneas que voltam a se apropriar dos ornamentos como forma de comunicação e atribuição de sentido, o que causa efeitos para além dos condenados pela pureza do modernismo.

Conformando antologias de textos teóricos relacionados inclusive ao tema da fabricação digital na arquitetura, há o livro editado por Mario Carpo "The Digital Turn in Architecture 1992 – 2012", lançado em 2012, uma coletânea de textos que representam temas-chave nesses 20 anos de virada digital na arquitetura. Assim como o livro editado por Rivka Oxman e Robert Oxman, "Theories of the Digital in Architecture", de 2014, que conta com um conjunto de textos teóricos que apontam conceitos emergentes na forma de uma nova taxonomia, contribuindo para a análise do discurso. Com o lançamento do livro "The second digital turn", em 2017, Mario Carpo visa atualizar os

temas vinculados ao campo digital, apontando para a evolução da impressão 3D e da complexidade de informação capaz de gerar uma arquitetura com excesso de dados. Em 2013, Greg Lynn edita o livro "Archaeology of the Digital", que investiga a gênese e o estabelecimento de ferramentas digitais para a conceitualização, visualização e produção de projetos no final dos anos 1980 e início dos anos 1990, resultando em uma exposição, no mesmo ano, no Canadian Centre for Architecture.

Figura 46 – "The Robot and the Architect are Friends", 2010

Fonte: https://www.bldgblog.com/2011/03/the-robot-and-the-architect-are-friends/

Em meados da primeira década dos anos 2000, os robôs (re)entram em cena na área da arquitetura como tecnologias que ampliam a liberdade de automação dos processos construtivos, especialmente com Gramazio e Kohler, que apostavam que, no futuro, os robôs seriam capazes de comandar todos os aspectos da construção[42]. Na publicação "Digital Materiality in Architecture", de 2008, apontam que a materialidade é cada vez mais informada, produzindo processos e assimilando tecnologias com os robôs industriais, utilizados enquanto ferramentas que permitem aos arquitetos criarem seus instrumentos de design e gerar, de modo flexível, formas de expressão. A tecnologia robótica torna-se mais difundida e aceita nos meios de investigação nesse período, resultando, inclusive, na criação da "Association for Robots in Architecture", em 2010, por Sigrid Brell-Cokcan e Johannes Braumann. A publicação da Architectural Design, "Made by Robots", em 2014, editada por Gramazio e Kohler, objetiva afirmar

42 https://www.bldgblog.com/2011/03/the-robot-and-the-architect-are-friends/

a integração da fabricação robótica nos processos de design, divulgando análises e projetos de profissionais envolvidos com o tema. No mesmo ano, os autores publicam o livro "The Robotic Touch: How Robots Change Architecture", em que apresentam projetos e informações técnicas sobre as atividades elaboradas na ETH Zurich.

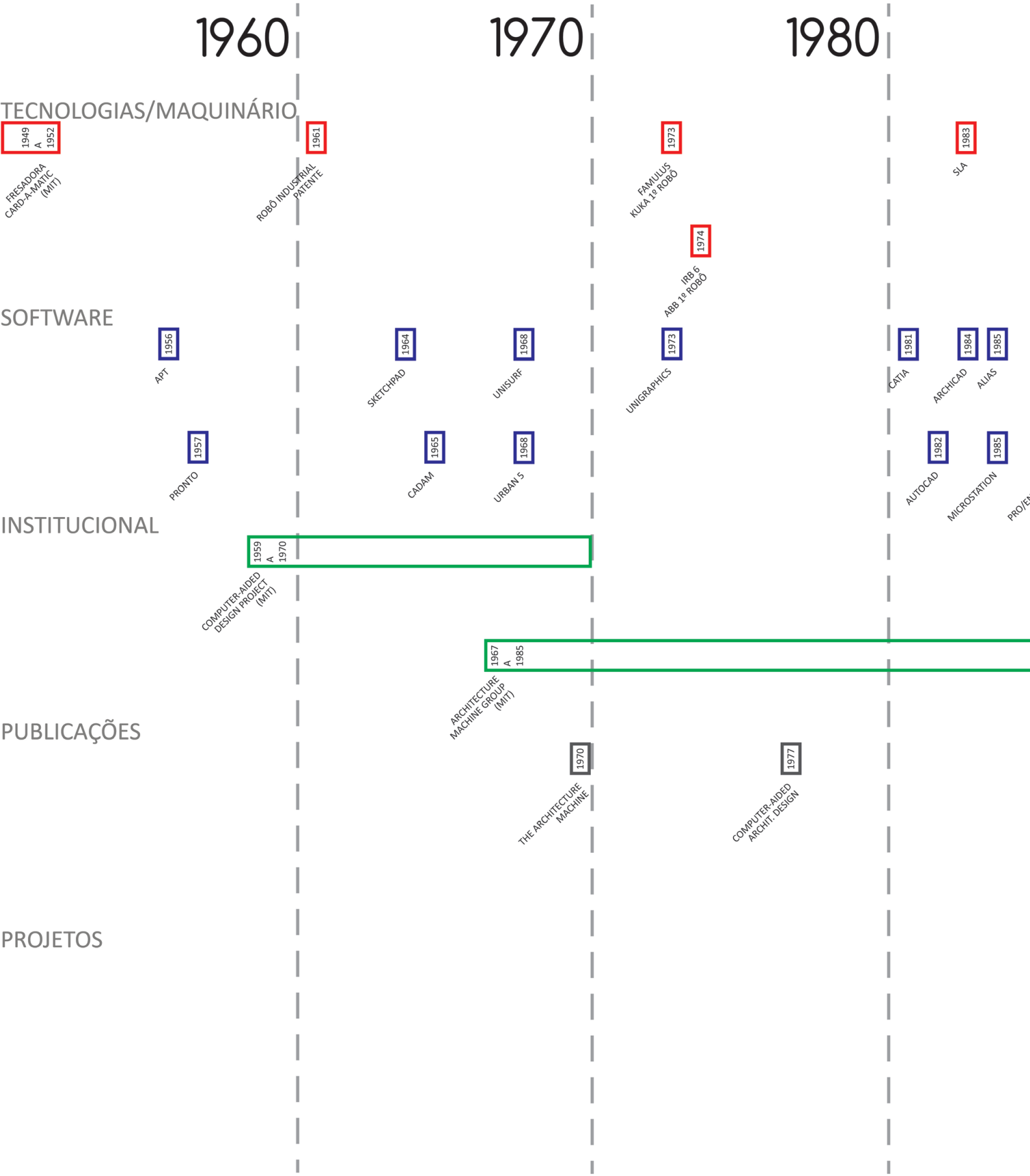
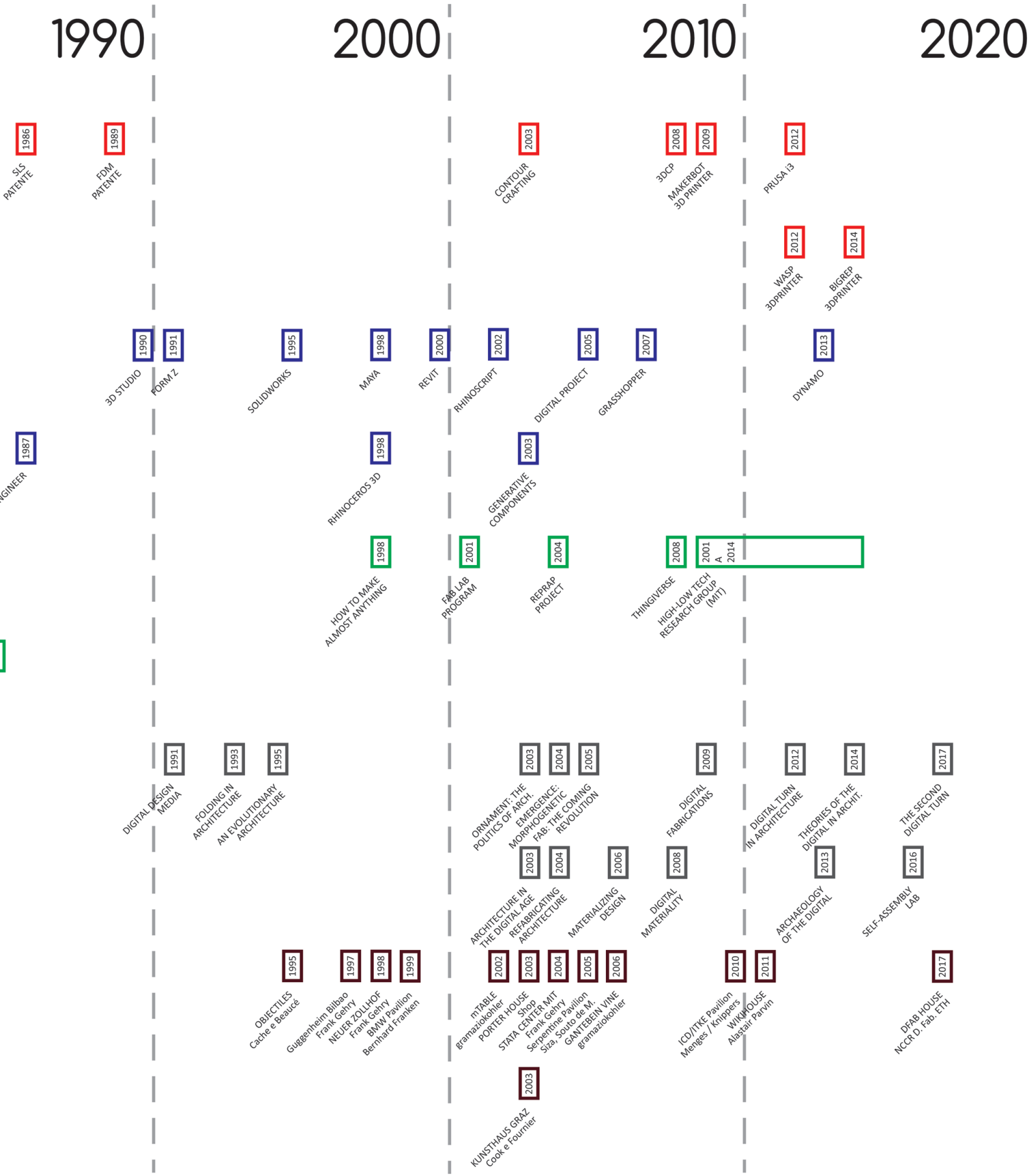


Figura 47 – Esquema com a linha do tempo dos eventos que formam base da arqueologia do capítulo

Fonte: Autor



Computação e Fabricação como síntese de uma história

Baseado na organização arqueológica dos temas, é possível perceber de que maneira uma série de estratégias, envolvendo as novas capacidades de aplicação tecnológica, foram, aos poucos, sendo alicerçadas para se atribuir, novamente – ou até retoricamente –, uma centralidade ao papel do arquiteto no controle projetual. A relação entre software e máquina demonstrou ser, historicamente, muito mais conectada do que até então se considerava, o que modifica a perspectiva das tentativas de se justificar estruturalmente o distanciamento prático entre propostas de criação do projeto digital e as fases de materialização. Diferente dessa noção, a lacuna está na dificuldade do arquiteto em acompanhar a rapidez das mudanças e a evolução tecnológica, absorver as exigências de aprimoramento técnico e manter propósitos na aplicação das mesmas. Percebe-se, também, a quantidade de narrativas positivas e muito similares que são desenvolvidas ao longo das últimas décadas, com especial relação com teorias da informação e de controle sistematizado, que são alavancadas a outro nível de pervasividade devido aos avanços digitais.

O histórico de pesquisa e desenvolvimento Estadunidense, seguindo as premissas de avanço industrial e de competitividade, foram reinstanciados e adaptados, em décadas recentes, para garantir parte dessa centralidade em outros setores, permitindo vantagens ideológicas e comerciais que, aos poucos, disseminaram-se para o restante do mundo como uma imagem de novas oportunidades. Alguns acontecimentos que surgiram na Europa e em outros países completam esse quadro, contudo, emergiram mais recentemente ou receberam menor atenção mundialmente. Apesar do profícuo avanço das propostas de fabricação pessoal, desdobradas no início dos anos de 2000, com a acessibilidade tecnológica e os modelos de espaços de trabalho, as teorias, discursos e as práticas de investigação em ambientes institucionais, voltaram-se para uma reaproximação com os modelos industriais de produção, almejando não a criação de soluções tópicas a partir de propostas individuais, mas focadas em apropriar e aproximar as tecnologias e projetos que pudessem ser explorados a longo prazo nos espaços de construção.

A transição de um projeto auxiliado por computador para um projeto verdadeiramente computacional envolve uma mudança de (i) modelagem de objetos para modelagem de processos, (ii) de projetar forma para projetar comportamento, (iii) de definir construções digitais estáticas para definir sistemas de computação capazes

de troca recíproca de dados e informações de retorno (MENGES, 2012b, p. 2).

A diversidade de tecnologias a serviço, e as possibilidades de propostas, tem fomentado a geração recente de profissionais e entusiastas da área, no aprimoramento de técnicas e na tarefa de integração de máquinas controladas digitalmente para automatizar tarefas de fabricação ou na colaboração como base para agendas experimentais, seja na área de serviços, institucionalmente ou na academia. Atualmente, a automação tende a ser implementada quase que exclusivamente pelos processos que adotam sistemas robóticos ou de maquinário industrial avançado. É, ao mesmo tempo, paradoxal que a difusão e a aceitação das tecnologias de fabricação para a arquitetura, design de objetos e construção, tenha sido mais disseminada, inicialmente, por meio de máquinas de produção com escala limitada, baixa capacidade de uso ferramental e emprego restrito de materiais. Em termos de inovação, transladar novas tecnologias e equipamentos de um setor a outro tem se apresentado como uma forma suplementar de agregar valor às áreas vinculadas ao ambiente construído, dependentes, também, do contexto em que estas se estabelecem. As tecnologias digitais avançadas estão adquirindo uma proeminência mundial no cenário de produção, que acabam por reinstaurar debates acerca das relações de dependência cultural, econômica e, até mesmo, política.

Considerando tecnicamente, a condição existente garantiu certa transferência tecnológica para constituir maquinário de manufatura digital, de distintos setores, para os de design, arquitetura e construção, mesmo que lentamente e adaptadas por iniciativas que, por vezes, simplificaram as suas atribuições e as suas capacidades construtivas. Esse longo processo foi acelerado por uma "vitrine" de arquiteturas que materializaram a complexidade das formulações digitais, apesar de não acontecerem por meio de uma dinâmica funcional ou otimizada, mas, de certa maneira, "colocando a prova" os desafios impostos à tectônica contemporânea. Esse quadro foi fomentado por descobertas e investigações, além de matrizes discursivas que impulsionaram o interesse de profissionais para se aproximarem e entenderem esse novo paradigma construtivo. Além disso, houve a formação de ecossistemas, principalmente no norte global, percebendo o potencial de expansão dessas tecnologias. Desse modo, a problemática que emerge diz respeito a compreender como essas tecnologias estão sendo aplicadas em determinados contextos. Se os potenciais técnicos e de produção por meio das tecnologias já representam certo nível de difusão, como é possível apresentarem uma mudança de paradigma significativa e permanente nas áreas de design, arquitetura e construção.

3. FABRICAÇÃO DIGITAL NA AMÉRICA DO SUL

A construção de uma narrativa local: cenário e contexto

A constituição de um cenário ligado à fabricação digital, que envolve o aprendizado e as práticas nas áreas da arquitetura, design de objetos e construção civil na América do Sul, ocorreu ao longo dos últimos 20 anos de maneira heterogênea e em temporalidades distintas para cada país. A proposta desse capítulo é reunir alguns desses fragmentos que compõem boa parte da historicidade da região, frente à difusão das novas tecnologias, centralizado no tema da assimilação das tecnologias de fabricação digital. Durante o processo de investigação, percebemos que os elementos que compõem as formações discursivas na região são dispersos e emergiram de um envolvimento muito particular de alguns atores, conformando o esforço de desbravar um campo desconhecido em contextos incertos. Narrativas fundamentais, que guiam o pensamento e a criação dos processos e artefatos, aparecem pouco nesse cenário, contudo emergem tópicos relevantes em distintas manifestações projetuais de designers e arquitetos, tanto de modo mais consolidado e continuado, quanto de maneira eventual. Isso porque boa parte das atividades foram desenvolvidas e registradas pelo viés da técnica, ligada a experimentos para o aprendizado em relação ao potencial para com as tecnologias. Outro fator que não visibiliza esse aspecto é que muitas das atividades desenvolvidas ao longo de anos não foram propriamente documentadas para a divulgação. Nesse sentido, foi crucial verificar a existência de publicações acadêmicas e registros de atividades em outros meios, mesmo as que tangenciam o tema da fabricação digital. Por meio da compilação dessas informações, é possível perceber que a apropriação das tecnologias não resultou exclusivamente por vias institucionais, mas por atividades de extensão e também por meio de serviços fornecidos por escritórios, empresas e indústrias, mesmo não sendo devidamente divulgados em publicações.

Precedente à cronologia de inserção das tecnologias de fabricação digital na América do Sul, o ambiente de incorporação das tecnologias digitais surge com as

primeiras propostas de introdução do uso do computador e de sistemas CAD, tanto em instituições de ensino quanto em escritórios de arquitetura, e pela influência das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs). De maneira ampla, o desenrolar desses acontecimentos foi determinada pelas condições de formação sócio-econômica do contexto em nosso continente: constantemente irregular, instável, deveras dependente[1] e de oportunidades suprimidas. Tal como sintetiza um dos precursores na inserção das tecnologias computacionais na região, Arturo Montagú (et al., 2001), "devido a intensos colapsos financeiros e políticos, cada país desenvolveu abordagens distintas, baseadas principalmente em ações individuais mais do que em uma política de integração dentro do sistema curricular das instituições de ensino" (p. 203). Nesse sentido, ademais as possíveis resistências à introdução das novidades tecnológicas nas instituições formativas ou no setor da construção, que implicavam uma mudança radical na cultura de projeto, fatores externos também contribuíam como limitantes.

Em períodos entremeados por crises e desestabilizações, iniciativas para a introdução de sistemas computacionais foram se consolidando em diversas faculdades de arquitetura e de design da América do Sul. A conformação desse quadro é resultado de certa difusão básica das técnicas CAAD (Computer-aided architectural design), interesses e investigações por métodos de design, obtenção de conhecimento acerca das ferramentas de representação gráfica e a sua aplicabilidade em projetos auxiliando a atividade profissional. Em 1974, o professor Gonzalo Velez Jahn criou o primeiro laboratório de informática para procedimentos avançados de projeto na Faculdade de Arquitetura da Universidade Central da Venezuela, em Caracas (MONTAGÚ, et al., 2001, p. 202). Em 1984, iniciou-se a difusão dos sistemas CAD na Faculdade de Arquitetura, Design e Urbanismo da Universidad de Buenos Aires (MONTAGÚ, et al., 2001, p. 205) e, em 1989, o Centro de Criação Assistida por Computador (Creación Asistida por Ordenador ou CAO) foi formado graças a uma grande doação do governo suíço (MONTAGÚ, 2005, p. 413). No Chile, país em que a interação com universidades americanas e britânicas teve presença mais intensa, a Universidade do Chile foi pioneira na utilização de sistemas CAD, utilizando uma versão inicial do AutoCad customizado (MONTAGÚ, et al., 2001, p. 206)[2].

1 É digno de referência o apontamento de Bonsiepe sobre o por que do design não ser reconhecido como um elemento fundamental em assuntos industriais e comerciais, indicando a teoria da dependência representando uma justificativa comumente aceita que, segundo ele, consiste em "um discurso inventado por cientistas sociais latino-americanos" com um valor limitado, já que "tende, principalmente, em procurar os culpados no mundo exterior" (BONSIEPE; CULLARS, 1991).

2 Em relação ao histórico de aplicação e debate acerca do uso das plataformas de gráfica digital nesse período, destaca-se: em 1991, o I Simpósio de Computação Gráfica em Arquitetura, Engenharia e Áreas Afins, na UFBa; em 1992, o Seminário Internacional de Computação: arquitetura e urbanismo, na FAU-USP; em 1993, o II Simpósio de Computação Gráfica em Arquitetura, Engenharia e Áreas Afins, na UFBa; em 1995, o I Seminário Nacional de Informática no Ensino de Arquitetura, na UFBa; em 1996, o II Seminário Nacional de Informática no Ensino de Arquitetura, na UFV; em 1997, o III Seminário Nacional

Entre 1994 e 1995, segundo Montagú, a maioria das faculdades de arquitetura e design da América Latina já tinham assimilado Tecnologias de Informação em sua infraestrutura e os novos tópicos de pesquisa no processo de "ensino/aprendizagem", incluindo procedimentos digitais (MONTAGÚ, et al., 2001, p. 203). Apesar disso, nessa mesma época, "a inserção de sistemas CAD em ambientes acadêmicos e profissionais produziu uma situação complexa onde ainda não foram encontradas soluções ótimas para a integração efetiva desses sistemas" (Montagu, 1998, p. 19). O Brasil se enquadrou nessa dinâmica com a implantação de cursos de computação aplicada à arquitetura, fundamentalmente a partir da portaria 1.770, de 1994, publicada pelo Ministério de Educação e Cultura, que instituiu a obrigatoriedade do ensino da informática nos cursos de arquitetura do país (CELANI, 2007). Exemplo disso é o caso da Escola de Arquitetura do Mackenzie, de São Paulo, no início dos anos de 1990, com a tradução de projetos por meio de software CAD, para modelagem 3D e renderização (NARDELLI, 2001). Também houve a implementação da disciplina de Computação Gráfica por José Ripper Kós, em 1992, lecionando na Universidade Federal do Rio de Janeiro (Referência), e em 2002, avançando nesse tópico, Gabriela Celani lecionando cursos de programação em interfaces CAD na Unicamp, mais especificamente, utilizando Visual Basic para AutoCAD (CELANI, 2008). Na Argentina, as investigações conduzidas por Patricia Muñoz e Roberto Doberti, conjuntamente a profissionais associados em sua cátedra na Universidad de Buenos Aires, apresentaram procedimentos generativos de superfícies espaciais utilizando 3D Studio e Autosurf (MUÑOZ, et al., 1997). No Chile, a exemplo da Escuela de Arquitectura da Pontificia Universidad Católica de Chile, a integração partiu do uso de software CAD e contemplou, posteriormente, ferramentas de modelagem para processos de investigação da forma por meio do software 3ds Max, baseado nas estratégias projetuais de Greg Lynn, em uma busca mais radical pela origem da forma, baseando-se em esquemas heterogêneos e na representação de qualidades dinâmicas (LABARCA, et al., 2005).

Nesse horizonte, grupos de pesquisa começaram a surgir para dar conta dos desafios de integração das tecnologias digitais CAD, como o Laboratório de Computação Gráfica Aplicada à Arquitetura e ao Desenho (LCAD) da Universidade Federal da Bahia, implantado em 1992 pelo professor Arivaldo Leão Amorim, e o Laboratório Gráfico para Experimentação Arquitetônica (LAGEAR) por Maria Lúcia Malard, em 1993, na Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais. Além disso, espaços com funcionalidades didáticas diversas, como o Centro de Informática y Diseño (CID)

"A Informática Aplicada ao Ensino de Arquitetura", na Puccamp, em 1998, o IV Seminário Nacional de Informática no Ensino de Arquitetura e a I Conferência Latino-Americana de Informática no Ensino de Arquitetura, na UFSC; de 2003 em diante, os Seminários Projetar (sendo que em 2017 acontece na UBA / Argentina).

da Universidad Nacional del Litoral em Santa Fé, em 1995, por Mauro Chiarella e Mari Tosello, o Laboratório de Simulações e Modelamento em Arquitetura e Urbanismo (SimmLab) na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em 1994, por Benamy Turkienicz, e o Area Computacional da Universidad Tecnica Federico Santa Maria, por Marcelo Bernal, Pol Taylor, Pedro Serrano Rodríguez e Luis Felipe González Böhme, no final dos anos 1990. No contexto de implementação pelo Governo do Chile, a partir de 1998, do "Programa de Mejoramiento de la calidad y la equidad en la educación terciaria" (MECESUP)[3] – que financiou ações de melhoramento acadêmico e de infraestrutura em 25 Universidades no país, com empréstimos do Banco Mundial –, foi possível a incorporação de tecnologias CAD/CAM, em locais como a Faculdade de Arquitetura da Pontificia Universidad Católica de Chile, por volta de 2003 (LABARCA; LYON, 2006). Inclui-se nesse conjunto, a consolidação da Maestría en Diseño de Procesos Innovativos na Facultad de Arquitectura de la Universidad Católica de Córdoba, em 2005, por Inés Moisset de Espanés. Esses são alguns dos acontecimentos que configuram uma fase digital prévia, que pavimentou o terreno para a passagem a etapa de assimilação das novas tecnologias para fabricar os projetos digitais.

A fabricação digital começou a se difundir pelos meios institucionais de ensino e pesquisa da região, por volta do início dos anos 2000, por meio da expansão do comércio de maquinário não restrito ao escopo da indústria, além de conexões entre profissionais da área. Assim como a própria concepção e os usos da fabricação digital inicialmente resultaram dos termos da prototipagem rápida e da aplicação para o desenvolvimento de protótipos de produtos, a disponibilidade das máquinas exigiu um esforço de compreensão acerca de seu potencial técnico (LOPES SILVA, 2000). Os primeiros experimentos registrados são resultados particulares de investigações conceituais e materiais, utilizando-se a manufatura aditiva como método de prototipagem rápida de elementos complexos. Em um deles, David M. Sperling utilizou a tecnologia de sinterização laser – disponível no Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer – para se pensar incrementos nos processos de design e modelagem, articulando uma mudança de paradigma para o pensamento de composições dinâmicas em projeto, por meio de explorações formais de caracterizações topológicas (SPERLING, 2002). Em outro exemplo, Claudio Labarca e Arturo Lyon utilizaram a tecnologia de depósito de filamento fundido com máquina Stratasys, na Pontificia Universidad Católica de Chile, para criar um módulo de simulação dinâmica baseado em curvas aleatórias que compõem uma superfície delgada contínua (LABARCA; LYON, 2006).

3 <https://www.uchile.cl/portal/presentacion/vicerrectoria-de-asuntos-economicos-y-gestion-institucional/proyectos-mecesup/presentacion/114352/que-es-mecesup>

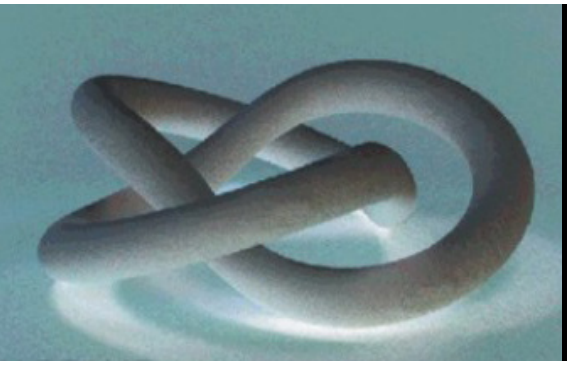


Figura 48 – Protótipos-diagramas do paradigma topológico de modelagem

Fonte: SPERLING, 2002, p. 262

Figura 49 – Módulo de simulación dinámica com curvas splines

Fonte: LABARCA; LYON, 2006, p. 21

Figura 50 – Redes de líneas y moldes elásticos

Fonte: BERNAL; TAYLOR, 2007, p. 286

A esse período, seguiu-se uma busca por clareza em relação a definição de conceitos, terminologias e categorias da materialização digitalizada para o campo da arquitetura. Entre eles, a investigação de sistemas tectônicos e processos de modelagem que fomentem procedimentos de fabricação locais, simulando proposições topológicas digitais por meio de técnicas de manipulação material baseadas em tecnologias de baixa complexidade (BERNAL; TAYLOR, 2007). Outro trabalho versava sobre a compreensão da aplicação de cada tecnologia para distintas circunstâncias, seja para se fazer um modelo em escala, um protótipo de uma peça de construção ou um prédio inteiro (PUPO; CELANI, DUARTE, 2009). A constituição e consolidação dos laboratórios em nossa região alcançou amplitude e diversidade ao longo dos últimos 15 anos de processos muito diversos de implementação, resultado de uma série de iniciativas individuais e demandas entre setores de pesquisa e produção. Segundo Herrera e Juárez (2012, p. 286), por volta de 2007, começam a se formalizar iniciativas de criação de laboratórios de fabricação digital em diferentes universidades latino-americanas, a partir de grupos acadêmicos e experiências profissionais obtidas em estudos de pós-graduação no exterior. Como verificamos na pesquisa, a formalização de algumas iniciativas já iniciou anteriormente, mas vários grupos em Universidades já desenvolviam propostas prévias de aplicação das tecnologias de fabricação digital.

Essas iniciativas começaram a se formalizar tanto pela instalação de infraestruturas em Universidades, quanto em atividades de projeto em disciplinas com o suporte das tecnologias, com acesso direto a elas ou mediado pela indústria. De acordo com Herrera e Juárez (2012, p. 286), a emergência desses formatos aconteceu por Gabriela Celani, com o LAPAC (Campinas, Brasil, 2007), comandado por Claudio Labarca e Arturo Lyon, em disciplinas de métodos e projetos digitais na Pontificia Universidad Católica de Chile (Santiago, Chile, 2007), nas atividades a cargo de Rodrigo García Alvarado, na Universidad

del Bio-Bio (Concepción, Chile, 2008), e com Underlea Bruscatto na Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Porto Alegre, Brasil, 2008). Pela decisão de implementação de infraestruturas robustas com maquinário para uso dos estudantes, podemos destacar o Laboratorio de Modelos y Prototipos (LAB-FADEU)[4] da Pontificia Universidad Católica do Chile, que convergia pequenos laboratórios temáticos, como o "Laboratorio de Imagen Sólida" e o "Laboratorio de Corte y Fresado CNC" – com Cristián Alfero e Claudio Labarca Montoya, que já vinha se equipando –, o Laboratório de Automação e Prototipagem para Arquitetura e Construção (LAPAC)[5] da Universidade Estadual de Campinas, introduzindo máquinas com capacidade de prototipagem em nível avançado ao alcance dos estudantes – com Gabriela Celani e Regiane Pupo, criado em 2006 –, e o Lab CNC FAU da Universidad de Chile, aberto em 2008, para servir aos cursos de Arquitetura e de Desenho Industrial – com Pedro Alejandro Soza Ruiz e Mauricio Cid Duran. Interessante notar também que a ideação desses locais ocorreu com distintas propostas, seja por instituições privadas e a formação profissional especializada para um mercado em expansão, seja por instituições públicas e a formação continuada que fomentaria iniciativas de pesquisa.

Segundo Celani (2012, p. 472), a introdução de máquinas controladas por computador em escolas de arquitetura ao redor do planeta, como algo complementar aos exercícios computacionais em CAD e com o intuito de gerar protótipos e modelos arquitetônicos, resultou na colaboração com laboratórios de engenharia mecânica para a transferência de conhecimentos técnicos, que já utilizavam essas técnicas e tecnologias para o desenvolvimento de produtos. Desse modo, tornava-se interessante a possibilidade de obter uma forma de representação do projeto tridimensional em formato material e a aproximação direta com métodos construtivos. Assim como haviam críticas ao uso das interfaces CAD auxiliando de modo meramente representativo e limitando a potencialidade de suas aplicações, o mesmo foi percebido em relação às tecnologias de prototipagem. Logo, a transformação de um determinado espaço com máquinas em um laboratório aconteceu por meio de uma abordagem mais científica dos processos experimentais, sistematizados com métodos e documentação das atividades (CELANI, 2012, p. 473), além da assimilação dos modos de trabalho e produção similares aos da indústria, que permitiram ao arquiteto o domínio de uma cadeia de produção que vai desde a concepção do projeto, à testagem até a materialização do objeto final.

Podemos demarcar que o período entre os anos de 2006 e 2009 constitui a

4 <https://laboratoriofadeu.wordpress.com/>

5 <http://lapac.fec.unicamp.br/files/2613/9784/4444/livro-lapacA4.pdf>

primeira fase de implantação dos laboratórios de fabricação digital na região. Não que, anteriormente a essa época, não se utilizava maquinário controlado digitalmente. Contudo, é um momento de convergência das influências trazidas diretamente do exterior pelos profissionais e a consciência para a formação de espaços com identidades próprias para o uso das novas tecnologias, em parte com infraestrutura para a produção de modelos e grupos de pesquisa já existentes, no desenvolvimento de atividades experimentais relacionadas à arquitetura, ao design e à construção. Além disso, ideias de formações similares começam a se dispersar em diversas regiões da América do Sul, por um espelhamento dessas primeiras iniciativas como suas referências e, posteriormente, pelo conhecimento do modelo e da rede Fab Lab do MIT. Os atores que implantaram os laboratórios de fabricação, ou até mesmo os laboratórios de computação e representação, que se desdobraram em espaços estruturados ou práticas que abarcaram as tecnologias de fabricação digital, transmitiram conhecimentos e experiências de centros de formação e pesquisa situados no hemisfério norte. Com períodos de formação parciais ou completos em ensino e pesquisa nessas instituições, o seu retorno ao continente para dar continuidade e implementar saberes adquiridos, foi o que denominamos de "movimentos migratórios" (SPERLING; HERRERA; SCHEEREN, 2015). Além dos listados abaixo, há uma série de outros coordenadores de laboratórios que também tiveram experiências de curto prazo em formação acadêmica em instituições do exterior. Desse modo, é possível traçar os locais de formação e os deslocamentos realizados, para compreender as suas influências de trabalho.

Tabela 01 – Alguns exemplos de profissionais que migraram dos locais de formação internacional e contribuíram diretamente para a criação de laboratórios

Pré-implantação e primeira fase de implantação dos laboratórios de fabricação digital			
Nome	Instituição internacional de formação	Ano de finalização	Laboratório na América do Sul
Claudio Labarca Montoya	University of California (UCLA)	1999 Doutorado	LAB-FADEU Pontificia Universidad Católica de Chile
Rodrigo Garcia Alvarado	Universidad Politécnica de Catalunya (UPC)	2005 Doutorado	DGI-UBB Universidad del Bío Bío
Sergio Araya	Massachusetts Institute of Technology (MIT)	2006 Master	Design.Lab UAI Universidad Adolfo Ibáñez
Marcelo Bernal	Georgia Institute of Technology	2016 Doutorado	Area Computacional Universidad Técnica Federico Santa María
Mauro Chiarella	Universidad Politécnica de Catalunya (UPC)	2009 Doutorado	CID Universidad Nacional del Litoral
Inés Moisset	Istituto Universitario di Architettura di Venezia (IUAV)	2000 Doutorado	MDPI Universidad Católica de Córdoba
Benamy Turkienicz	Chalmers University of Tecnology	1982 Doutorado	SimmLab Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Jose dos Santos Cabral Filho	University of Sheffield	1996 Doutorado	LAGEAR Universidade Federal de Minas Gerais

Neander Furtado Silva	University of Strathclyde	1996 Doutorado	LDFC Universidade de Brasília
Maria Gabriela Caffarena Celani	Massachusetts Institute of Technology (MIT)	2002 Doutorado	LAPAC Universidade Estadual de Campinas
Franklin Lee	Columbia University e Architectural Association	2002 Master	Subdv
Segunda fase de implantação e consolidação dos laboratórios de fabricação digital			
Adriane Borda Almeida da Silva	Universidad de Zaragoza (UNIZAR)	2001 Doutorado	GEGRADI Universidade Federal de Pelotas
Rodrigo Velasco	University of Nottingham	2004 Doutorado	Frontis 3D
Marko Brajovic	Universidad Internacional de Catalunya (UIC)	2005 Master	Atelier Marko Brajovic
Jorge Lopes dos Santos	Royal College of Art	2009 Doutorado	NEXT – Núcleo de Experimentação Tridimensional (PUC-Rio)
Terceira fase de implantação e espraiamento dos laboratórios de fabricação digital			
Andres Briceño Gutiérrez	Institute for Advanced Architecture of Catalonia (IAAC)	2011 Master	Fab Lab Santiago
Tomás Vivanco Larrain	Institute for Advanced Architecture of Catalonia (IAAC)	2011 Master	FabHaus Pontificia Universidad Católica de Chile
Gonçalo Castro Henriques	Universidade Técnica de Lisboa (UTL)	2013 Doutorado	Lamo 3D Universidade Federal do Rio de Janeiro

Fonte: Autor

Os primeiros laboratórios de fabricação digital estabelecidos em instituições de ensino – e profissionais que utilizavam as máquinas, eventualmente – aplicaram as tecnologias para criar modelos de projetos arquitetônicos, explorar formas complexas e reproduzir sistemas construtivos em escala reduzida – permitindo estudar as condições e lógica material dos projetos, e procedimentos de industrialização de seus componentes. Geralmente, foram-se utilizando estratégias para gerar peças cortadas laser, definindo componentes e a utilização da quantidade de material para ampliar as possibilidades de design e manufatura, além de gerar alternativas construtivas (GARCÍA ALVARADO, 2009). As atividades experimentais já compartilhavam de questionamentos globais sobre a relação entre o digital e o material, como a possível perda da relação tectônica, mas buscando alternativas por meio do uso de tecnologias simples, e seleção de técnicas de modelagem e de produção, baseadas nas propriedades do material (BERNAL; TAYLOR, 2007).

Nesse período inicial, os recursos relacionados à aplicação da fabricação digital para a arquitetura e à indústria da construção civil foram apontados em um processo de lenta incorporação nos países como o Brasil, em que, apesar de uma presença heterogênea, já contemplava uma quantidade significativa de maquinário em setores industriais, além do que, "a razão principal para a não incorporação da fabricação

digital na projetação e construção de edificações no Brasil deve-se, neste momento, essencialmente à desinformação muito mais do que a uma alegada indisponibilidade tecnológica" (SILVA; et al, 2009, p. 430-431). Com esse tipo de dificuldade encontrada, articular o impacto das novas tecnologias digitais foi assumido, em grande parte, por iniciativas de investigação que permaneceram reclusas no âmbito das instituições de ensino e pesquisa, atrelando o uso de software e dinâmicas de materialização de modelos com a fabricação digital (PUPO, 2008). Distinto a essa realidade, é o interesse convergente nas áreas de desenho industrial em países como a Argentina, seja pelos seus centros de investigação em desenho industrial nas universidades, como o Centro de Investigación en Diseño Industrial de Productos Complejos[6] da UBA, ou fomentado pelo Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI)[7] na sua divisão de Desarrollo Tecnológico e Innovación[8] e do Laboratorio de Tecnologías Emergentes[9]. É nesse marco de divulgação que Patricia Muñoz desenvolve o projeto de investigação "Morfología y Fabricación Digital" (MUÑOZ, et al., 2009), com técnicas para atribuir flexibilidade a superfícies rígidas por meio da aplicação de diferentes tipologias de corte utilizando cortadora laser.

Os Fab Labs adentraram a América do Sul em 2009. O primeiro a ser estabelecido como proposta foi o Fab Lab Lima, entre 2009 e 2010, após os estudantes Benito Juarez e Víctor Freundt participaram do programa de formação "Fab Academy", realizado em Barcelona, pelo Fab Lab Barcelona. Isso ocorreu com o apoio do Instituto de Arquitetura Avançada da Catalunha (IAAC) e da agência espanhola de cooperação internacional para o desenvolvimento (AECID), financiando o treinamento dos alunos e também a implantação do primeiro Fab Lab na América Latina, na Faculdade de Arquitetura da Universidad Nacional de Ingeniería, o Fab Lab UNI, além do festival FAB7, que aconteceu em 2011, em Lima[10]. Simultaneamente, o "Fab Lab SP" foi instalado em 2011, na Faculdade de Arquitetura da Universidade de São Paulo, que aconteceu por iniciativa do professor Paulo Eduardo Fonseca de Campos – Coordenador do Grupo de Pesquisa DIGI FAB da FAU.USP –, em parceria com Heloisa Neves, Andrea Bandoni

6 <http://www.cidi.bime.com.ar/institucional.htm>.

7 Que pode ser conferido no "Anuario del programa de diseño" de 2009, que contém a divulgação da fabricação de protótipos rápidos <https://www.inti.gob.ar/publicaciones/descargac/154>, "En este marco, el Programa de Diseño está organizando una serie de charlas informativas sobre 'Prototipado Rápido, el esquema de manufactura del futuro' dictadas por el D.I. Jorge Ceballos en diferentes regiones del país. Rafaela y Rosario (Santa Fe); La Plata y San Martín (Buenos Aires); y las ciudades de Córdoba y Mendoza han sido los escenarios elegidos para este primer recorrido". <http://www.inti.gov.ar/prodiseno/pdf/n137_prototipado.pdf>

8 <https://www.inti.gob.ar/areas/desarrollo-tecnologico-e-innovacion>

9 <http://tallerdesoluciones.blogs.inti.gob.ar/>

10 <https://www.makery.info/en/2015/10/30/a-lima-les-fablabs-cest-le-perou/>

e Alex Garcia Ângelo[11]. A inauguração dos dois primeiros "Fab Labs" recebeu suporte institucional para implementação, o que facilitou essa primeira etapa.

Em 2010, foi fundado por Jose Garcia Huidobro o "El reactor", "fab lab" pioneiro na cidade de Buenos Aires, como um espaço de criação no qual se ofereciam cursos, aberto a estudantes, artistas e público em geral[12]. Conjuntamente, foi implementado o grupo "Rep Rap Argentina", com o intuito de difundir o conhecimento sobre os projetos de impressoras 3D de baixo custo. Pouco tempo depois, no mesmo local, foi fundado o "Fab Lab Buenos Aires", com uma proposta de funcionamento mais alinhada com o modelo do MIT, de democratizar o acesso às novas tecnologias. Nesse caso, a implementação ocorreu de maneira pessoal e particularizada, difundindo-se através de grupos de interesse, não apenas pelos novos modos de fazer, mas devido às propostas acessíveis de projetos intermediados pelas tecnologias. No Chile, a implementação de laboratórios de fabricação aconteceu de maneira difusa, em que o primeiro local a implementar um espaço associado ao modelo "Fab Lab" foi a Escuela de Diseño da Universidad Adolfo Ibáñez[13], no ano de 2011, em Santiago, por Sergio Araya, após retornar do período de Ph.D. no MIT.

Por volta de 2010, o uso das tecnologias de fabricação digital ainda era pouco generalizado, ou acontecia de maneira isolada em algumas instituições de ensino e pesquisa. Nessa época, estavam sendo iniciadas as suas aplicações em algumas escolas de design e arquitetura, por meio de práticas de ensino complementares, atividades experimentais de curto prazo e na aquisição de expertise técnica com profissionais advindos de cursos em instituições do exterior e convidados. Devido ao limitado acesso às máquinas – ainda muito dependente do regime de importação e reduzida assessoria e manutenção –, alguns laboratórios ofereciam seus equipamentos para os experimentos de profissionais de outras instituições, incluindo colaborações em projetos. Nesse ciclo, houve ampliação de publicações acadêmicas tratando do tema na região, além da divulgação de informações acerca de iniciativas que estavam se consolidando no exterior, incluindo escolas de arquitetura no norte global e os laboratórios ligados à rede Fab Lab do MIT, que se difundiam mundialmente. Sendo assim, consideramos que entre os anos de 2010 e 2012 constitui-se a segunda fase de implantação dos laboratórios de fabricação digital no continente, em que já há práticas e referências constituídas no horizonte internacional e regional, consolidando

11 <https://imasters.com.br/tecnologia/quando-o-laboratorio-e-a-garagem-se-encontram>

12 <https://www.makery.info/en/2017/01/31/el-reactor-chronique-estivale-dun-fablab-pionnier-a-buenos-aires/>

13 <https://www.latercera.com/noticia/esos-raros-laboratorios-nuevos/>

laboratórios com identidades diversas em territórios da América do Sul. A partir de 2013 e 2014, ocorre uma terceira fase de implantação, em que já há uma dispersão de propostas de laboratórios em regiões ainda mais descentralizadas, com atores nucleados em seus territórios.

O uso das tecnologias na região também avançou e se difundiu por meio de atividades coordenadas em parceria entre laboratórios e profissionais, incluindo profissionais das áreas correlatas e convidados internacionais. A primeira experiência procedeu de um projeto de investigação fomentado pelo fundo de desenvolvimento científico e tecnológico do Governo do Chile, que reuniu instituições do Chile, Argentina e Brasil, em atividades que envolveram, de 2007 a 2009, o desenvolvimento de uma série de projetos, protótipos e modelos, com o uso de tecnologias subtrativas de fabricação (GARCÍA ALVARADO, et al., 2009). Em 2010, uma iniciativa colaborativa entre os professores Benamy Turckienicz (UFRGS) e Rodrigo Garcia Alvarado (Universidad del Bio-Bio) resultou no projeto da "Casa Generativa". O processo de projeto, inspirado na "Instant House" criada por Larry Sass, em 2005, no MIT[14], foi conduzido por meio de estudos preliminares em protótipos com peças e encaixes utilizando o corte a laser. Logo, avançaram para um workshop focado no desenvolvimento de um sistema generativo para habitação de interesse social, projetando sistemas de encaixe utilizando fresadora CNC. O resultado final da construção foi exposto numa feira da construção no sul do Brasil, em outubro do mesmo ano[15]. Outro exemplo foi o "muro-pixel", concebido no mesmo ano, um sistema construtivo baseado em placas intertravadas feitas com modelagem paramétrica e fabricação digital, utilizando corte a laser e peças de MDF (BRUSCATO; GARCÍA ALVARADO, 2010), que obteve boa repercussão no meio arquitetônico, levando-se em conta que não se tratava de um projeto tradicional[16].

Figura 51 – Projeto Casa Generativa

Fonte: http://casagenerativa.blogspot.com/

14 Informações sobre o projeto em: <https://ddf.mit.edu/milestones/instanthouse>

15 O resultado pode ser conferido em <http://casagenerativa.blogspot.com/>

16 <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-40987/el-sistema-constructivo-%25e2%2580%259cmuro-pixel%25e2%2580%259d>

Conferências, congressos e outros tipos de eventos foram importantes para atrair convidados, integrar profissionais e pesquisadores na área, além de promover a divulgação do que estava sendo produzido. Marco importante para o período foi a criação da Sociedade Ibero-americana de Gráfica Digital (SiGraDi), pelo argentino Arturo Montagú, com a organização do primeiro "Seminar on Digital Graphics" na Universidad de Buenos Aires, em 1997, o que se desdobrou "como organização interdisciplinar focada no uso de gráfica digital como meio de mapear a evolução do conhecimento contemporâneo" (MONTAGÚ, 2005, p. 413-414). O evento seguiu para Mar del Plata, em 1998, Montevidéu, em 1999, Rio de Janeiro, em 2000, Concepción, em 2001, Caracas, em 2002, Rosário, em 2003, São Leopoldo, em 2004, Lima, em 2005, Santiago, em 2006, Cidade do México, em 2007, Havana, em 2008, São Paulo, em 2009 – que marcou a introdução do plugin Grasshopper e da programação visual na região, com workshop de Gonçalo Castro Henriques e Ernesto Bueno (HENRIQUES; BUENO, 2010) –, Bogotá, em 2010, Santa Fé, em 2011, Fortaleza, em 2012, Valparaíso, em 2013, Montevidéu, em 2014, Florianópolis, em 2015, Buenos Aires, em 2016, Concepción, em 2017 e São Carlos, em 2018. No histórico da conferência, o evento em São Paulo convergiu interesses renovados pelas teorias digitais e as novas tecnologias de fabricação, o que implicou, inclusive, na realização de workshops com as temáticas, um deles, focado no uso de uma fresadora CNC (CELANI, 2010).

Além dos eventos anuais da SiGraDi, outros encontros ocorreram na região com potencial de divulgação e de consolidação das tecnologias computacionais e de fabricação digital. Muitos deles foram organizados por atores centrais na formação do cenário local, gerando, inclusive, publicações como registros de atividades e de artigos científicos selecionados. Em 2015, o congresso internacional "CAAD Futures – The next city" aportou no MASP, realizado entre os dias 8 a 10 de julho, na cidade de São Paulo, Brasil. Esse foi o primeiro evento ocorrido na América Latina, organizado pela "CAAD Futures Foundation", sediada na Holanda, que teve a professora Gabriela Celani da Unicamp como presidente. Essa foi uma grande oportunidade de reunir pesquisadores da área computacional aplicada ao projeto de arquitetura, tanto da nossa região quanto atores internacionais, que contou também com workshops, resultando na publicação de um livro com artigos, que contava com uma seção sobre fabricação e materialidade[17]. Em paralelo ao evento CAAD Futures, a exposição "Homo Faber – Digital Fabrication in Latin America", organizada por David M. Sperling e Pablo C. Herrera, ocorreu entre os dias 7 e 31 de julho de 2015, no térreo da Escola da Cidade, na cidade de São Paulo, apresentando um panorama da produção oriunda de 25 laboratórios de universidades,

17 Livro apresentado em <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-47386-3>

grupos de pesquisa, estúdios de arquitetura e ações independentes[18]. Essa pode ser considerada a primeira exposição oficial no continente que reuniu artefatos produzidos a partir do uso de tecnologias de fabricação digital. A montagem da exposição seguiu de forma itinerante, inclusive, sendo exposta durante o congresso da SiGraDi daquele ano, realizado na Universidade Federal de Santa Catarina.

Figura 52 – Exposição "Homo Faber – Digital Fabrication in Latin America"

Fonte: Autores, 2015

Houve também eventos institucionais que tiveram a finalidade de consolidar e incentivar a apropriação das tecnologias computacionais e de fabricação. Os Workshop Internacional FAB LAB SP, com edições que aconteceram de 2011[19] até 2013[20], propuseram-se a difundir um olhar crítico sobre a aplicação das tecnologias digitais de fabricação para o nosso contexto. Organizado por Paulo Eduardo Fonseca de Campos nas dependências da FAU.USP, os eventos contaram com workshops práticos para formação, e mesas de debate sobre a atualidade do tema, com atores da região e internacionais, como Regiane Pupo (UFSC), Benito Juárez Vélez (Fab lab Lima) e José Pedro Sousa (FAUP). Em 2016, O XI Seminário Internacional de Arquitetura da Universidad Piloto de Colombia, "The Digital Reveal: Arquitectura de la era post-digital", foi realizado nos dias 1 e 2 de setembro na cidade de Bogotá, Colômbia. Foram convidados pesquisadores reconhecidos mundialmente, principalmente dos EUA e da Europa, para palestrarem sobre usos da computação na arquitetura e, conjuntamente, tecnologias de fabricação[21]. O evento, organizado por Rodrigo Velasco e seus colegas da Universidad Piloto, contou também com workshops prévios, e com a publicação de

18 <https://www.escoladacidade.org/exposicao-homo-faber-digital-fabrication-in-latin-america-julho/>

19 <http://www.fau.usp.br/fau/secoes/lame/documentos/FAB_LAB_SP.pdf>

20 <https://www.archdaily.com.br/br/01-151596/3o-workshop-internacional-fab-lab-sp-na-fauusp>

21 <https://www.unipiloto.edu.co/thedigitalreveal/>

uma edição com textos e trabalhos dos palestrantes e de convidados.

Além dos eventos acadêmicos, ocorreu uma série de eventos itinerantes que contribuíram para a difusão das tecnologias computacionais e de fabricação. Um exemplo é o programa "AA Visiting School", uma extensão das práticas desenvolvidas na Architectural Association School of Architecture de Londres, que já contou com algumas edições na região. Essas iniciativas de transferência de conhecimento acontecem no continente desde os anos 2011 e 2012, principalmente em Santiago, São Paulo e Buenos Aires. Os workshops foram ministrados em parceria entre pesquisadores locais, muitos deles formados na AA, e convidados de outras instituições ou da própria AA, focando no desenvolvimento de projetos baseados no design computacional e em técnicas híbridas de montagem dos artefatos, com o auxílio de tecnologias de fabricação digital. Em São Paulo[22], a oficina ocorreu pela primeira vez em 2010, coordenada por Anne Save de Beaurecueil e Franklin Lee, mediante o evento intitulado "Micro-revolutions", no qual foram concebidos equipamentos urbanos para a reabilitação de um espaço sob um viaduto da cidade.

Figura 53: – Projeto Babel, 2010

AA Visiting School, Micro-revolutions

Fonte: https://saopaulo.aaschool.ac.uk/aa-nai-design-workshop-2010/selection-of-proposals/

À essa oportunidade, seguiram-se encontros anuais em que, no workshop "HYPER | THREADS" no ano de 2016, realizado no Fab Lab do Centro Universitário Belas Artes, e no workshop "Do Digital ao Material"[23], que aconteceu em 2017, no Museu do Amanhã, no Rio de Janeiro, foram utilizados braços robóticos para as tarefas de fabricação. Em Buenos Aires, a sequência de workshops iniciou em 2012, com o "Turns to The River", organizado por Victoria Goldstein. Em Santiago, o primeiro workshop ocorreu

22 <http://saopaulo.aaschool.ac.uk/>

23 <https://museudoamanha.org.br/pt-br/content/do-digital-ao-material>

em 2012, com o evento intitulado "Holiday", por Pedro Ignacio Alonso. No mesmo ano, em Bogotá, aconteceu o "Up the River, Up the Mountain", organizado por Diego Perez Espitia. Em comum, todos os três desenvolvendo proposta de intervenção em locais geográficos característicos de cada região[24]. Desde 2017[25], Lima também conta com workshops do "AA Visiting School".

Devido à influência dos Fab Labs e das iniciativas maker, um evento relevante aportou no continente em 2011, o FAB7 "The Seventh International Fab Lab Forum and Symposium on Digital Fabrication", em Lima, no Peru, que se transformou em um nó de disseminação dessas práticas, ou "o centro de instruções da Fab Academy da América Latina"[26]. As atividades contaram com a presença de representantes de Fab Labs já implantados ao redor do mundo em apresentações, reuniões e workshops, além de palestras de profissionais ligados a grandes empresas[27]. O evento voltou a ser sediado na América do Sul em agosto de 2017, na cidade de Santiago, no Chile, , o FAB13 "The 13th International Fab Lab Meeting", com o tema "Fabricating Society", com o objetivo de identificar projetos para a criação de impacto social nos países em desenvolvimento, baseados em inovação e empreendedorismo. Organizado pelos fundadores do FabLab Santiago, Andrés Briceño e Tomás Vivanco, as atividades durante a semana reuniram uma grande diversidade de agentes da região e do exterior, de diversos campos de atuação disciplinar, convergindo palestras, workshops, reuniões temáticas e a apresentação de trabalhos[28].

Como prévia e preparatória para o FAB13, havia sido realizado em 2016, na Pontificia Universidad Catolica de Chile, o "Encuentro Latinoamericano de fabricación digital: Fabricando Chile"[29], que reuniu diversos representantes de fab labs chilenos, no qual houve o lançamento do FAB 13 e contou com um workshop onde foram criadas as diretrizes estratégicas da Red Chilena de Plataformas de Fabricación Digital. Em nosso país, o "Fórum permanente Laboratório de fabricação digital como ponte entre a universidade e a sociedade"[30], realizado na Unicamp, em maio de 2016, foi organizado

24 <https://home.aaschool.ac.uk/Downloads/visiting/2011-12_Visiting_School_Prospectus.pdf>

25 <https://spacesyntax.com/ed-parham-leads-the-adaptive-transport-machine-workshop-in-lima-as-part-of-the-aa-visiting-school/>

26 <https://www.makery.info/en/2015/10/30/a-lima-les-fablabs-cest-le-perou/>

27 <http://cba.mit.edu/events/11.08.FAB7/>

28 <https://fab13.fabevent.org/>

29 <http://fadeu.uc.cl/agenda/evento/639-encuentro-latinoamericano-de-fabricacion-digital-fabricando-chile>

30 <https://www.unicamp.br/unicamp/noticias/2016/05/18/forum-permanente-aborda-laboratorio-de-fabricacao-digital>

por Gabriela Celani, como oportunidade de divulgar ações e iniciativas locais para estender a ação das tecnologias para além do espaço institucional, contando com a presença de Sherry Lassiter, diretora da Fab Foundation. Em março de 2017 foi realizado o congresso nacional "Fab en Chile: Estado del Arte"[31], organizado pelo Fablab U. de Chile, Fablab Santiago e Design Lab UAI, que contou com mesas de debate e exposições, a fim de compreender como as tecnologias estavam se integrando aos diversos contextos do país.

Além dos eventos, a publicação de livros relacionados ao tema da fabricação digital, por mais escassa que tenha sido, representa um propósito de síntese de processos que já estavam em desenvolvimento alguns anos antes. "La flexibilidad en la generación de formas", compilado por Patricia Muñoz em 2011, apresenta uma série de exercícios e reflexões sobre criações formais livres a partir das técnicas de flexibilização, torção, expansão e dobra de placas rígidas, utilizando-se corte laser e investigando a sua capacidade de transferência para o uso em produtos e em atividades de ensino. Em 2013, com o lançamento de "Diálogos entre Morfología y Fabricación Digital", apresenta-se o resultado de avanços na investigação institucional de exercícios entre morfologia e fabricação digital, que em 2016, com a edição "Nuevos Diálogos entre Morfología y Fabricación Digital", complementa a exploração feita até então[32]. Em 2015, com o lançamento da edição-catálogo da exposição "Homo Faber: Digital Fabrication in Latin America"[33], é compilada uma primeira síntese de artefatos produzidos na região utilizando-se a fabricação digital. "Abrigos sensíveis"[34], editado por Andrés Passaro e Gonçalo Castro Henriques, e lançado em 2017, apresenta o resultado de um workshop que empregou a modelagem paramétrica, a fabricação digital e elementos eletrônicos para criar sistemas responsivos compostos de estruturas e mecanismos articulados. Outra edição representativa foi "Arquitetura contemporânea e automação", organizada por Gabriela Celani e Maycon Sedrez, em 2018, que engloba boa parte do trabalho desenvolvido no LAPAC nos 10 anos anteriores[35], incluindo principalmente temas de design computacional e alguns textos sobre as aplicações das tecnologias de fabricação digital em nosso contexto. No mesmo ano, a edição-catálogo da exposição "Homo Faber 2.0: Políticas do Digital na América Latina"[36] apresenta uma seleção de projetos que dá continuidade à primeira exposição.

31 <https://www.uchile.cl/agenda/131171/primer-congreso-nacional-de-fabricacion-digital-en-chile>

32 <https://edicionesdelaforma.blogspot.com/>

33 <https://www.researchgate.net/publication/303466664_Homo_Faber_Digital_Fabrication_in_Latin_America>

34 <http://www.lamo.fau.ufrj.br/2018/03/25/abrigos-sensiveis-experimentacoes-em-arquiteturas-responsivas-e-fabricacao-digital/>

35 <https://www.probooks.com.br/produto/automacao/>

36 <http://www.sigradi2018.iau.usp.br/wp-content/uploads/2018/11/HomoFaber2.pdf>

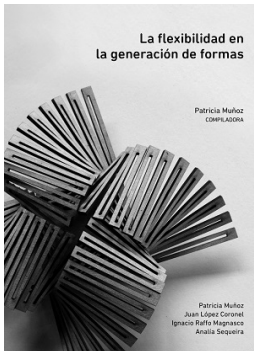


Figura 54 – La flexibilidad en la generación de formas

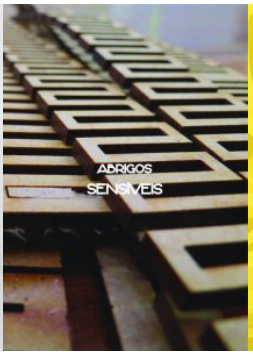


Figura 55 – Abrigos Sensíveis

Figura 56 – Arquitetura contemporânea e automação

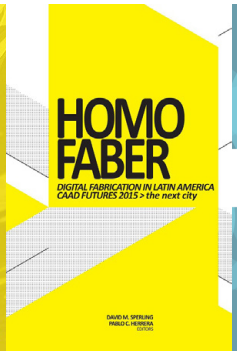


Figura 57 – Homo Faber 1.0

Figura 58 – Homo Faber 2.0

A formação de redes é um outro aspecto importante na difusão e consolidação das propostas de fabricação digital. A "FAB LAT: Red Latinoamericana de Fab Lab's"[37] foi constituída durante o FAB7, em 2011, e conta com a participação de atores do Brasil, Colômbia, Costa Rica, Chile, Espanha, México, Peru, Argentina, Bolívia, Equador, El Salvador, Nicarágua, Suriname, Uruguai e Venezuela. Busca integrar e potencializar os laboratórios de fabricação digital por meio de diversas atividades de troca de conhecimento e, ao mesmo tempo, ser a plataforma de discussão sobre as contribuições da América Latina para a rede global. Promove encontros regulares denominados Fab Lat Fest, com workshops e encontros remotos com convidados, muito voltados a temas de difusão das tecnologias, empreendedorismo e educação. A "Red Chilena de Plataformas de Fabricación Digital"[38] surgiu em 2016, como uma iniciativa dinâmica de integrar diversos atores da sociedade e formar uma plataforma única para difundir, nas diversas regiões do Chile, informações e experiências que consolidem plataformas distribuídas para o fomento à produção, e o conhecimento em distintas escalas e com efeitos locais. Em suas reuniões de formação, integrava agentes das instituições de ensino, de governo, da indústria e da sociedade civil, para que o conhecimento se difundisse e alcançasse pessoas além dos usuários e participantes ativos dos fab labs. A partir da Associação Fab Lab Brasil, criada em 2012, se desdobrou, em 2016, a Rede Fab Lab Brasil, com o intuito de conectar atores relacionados ao movimento maker e fab labs no país. As práticas da rede se desdobraram em contatos com instituições e empresas, mas mantendo o foco no trabalho voluntário, e a disseminação de ideias a respeito dos Fab Labs (ROSSI, et al., 2019).

Outro ponto fundamental para a conformação e continuidade dos laboratórios

37 <https://www.facebook.com/fablatam/>

38 <http://fablabsantiago.org/experiencias/n/red-chilena-de-plataformas-de-fabricacion-digital-fab-lab-santiago/>

são os programas de fomento e apoio a investigação em nosso continente, que acontecem de maneira diversificada, oferecendo suporte a investigações individuais, a projetos e a programas de pesquisa em Universidades. Entre alguns exemplos, o Fondecyt (Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico), vinculado ao CONICYT (Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica), no Chile; o Conicet (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas), na Argentina; o FONDECYT (Fondo Nacional de Desarrollo Científico), ligado ao CONCYTEC (Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica), no Peru; o FNDCT, Finep e CNPq, no Brasil, são modelos de fundos públicos nacionais e agências de fomento de administram esses investimentos.

Revisão sistemática e categorias de interpretação das publicações

A integração de uma revisão sistematizada de artigos sobre o tema da fabricação digital, publicados entre o período de 2000 e 2018 (ver apêndices), foi escolhida como uma ferramenta complementar à revisão bibliográfica, para se obter dados mais específicos a serem categorizados em um escopo controlado, além de sua capacidade de oferecer informações complementares ao recorte da pesquisa. O procedimento de identificação, avaliação e interpretação seguiu as etapas anunciadas a seguir, como uma síntese adaptada de procedimentos encontrados em publicações que utilizaram métodos de revisão sistemática de um modo aplicado (AUSTERN, et al., 2018; PEGORARO; De PAULA, 2017; WILLIAMS; CARVER, 2010).

A necessidade da revisão sistemática proposta surge com o objetivo de avaliar a contribuição acadêmica recente da produção, sob o foco da fabricação digital na América do Sul e a partir de seus atores locais. O objetivo complementar foi de encontrar informações acerca de laboratórios de fabricação digital que poderiam agregar dados ao mapeamento inicial, que não foram obtidos pelas estratégias de mapeamento aplicadas na primeira etapa. Baseado nessas premissas, a formulação de uma pergunta de revisão focada nos levou a indagar quais são as aplicações da fabricação digital que envolvem conceitos e práticas para a arquitetura, design e construção, em seus níveis de ensino, pesquisa e projeto, durante o período pesquisado, na América do Sul? Para abordar essa questão, definimos palavras-chave e termos correlatos para a busca: digital fabrication, digital manufacturing, fabricação digital, fabricación digital, rapid prototyping, CAD/CAM, robot* e 3d print*.

Para a definição da base de dados durante a realização de uma pesquisa que se propôs abrangente para estudos primários, encontramos certas limitações em considerar bases como Scopus e Web of Science, já que elas apontavam apenas algumas poucas publicações de artigos no escopo e contexto desejado, assim, não teríamos uma correlação quantitativa suficientemente clara para considerar. Desse modo, a revisão sistemática acabou tornando-se focada e baseia-se no repositório digital CumInCAD – que é um index cumulativo sobre publicações em Computer Aided Architectural Design, selecionando publicações da conferência SiGraDi. Foi determinado desse modo pois a capacidade de identificação estava de acordo comos critérios de inclusão na pesquisa, que tornaram-se todos os artigos publicados por autores com vínculo institucional na América do Sul, entre 2000 e 2018, nos eventos anuais do SiGraDi, que apresentavam uma investigação centrada nos usos da Fabricação digital. Os artigos publicados que não lidavam especificamente com a área da arquitetura, design de objeto e da construção, ou que foram desenvolvidos por autores estrangeiros à América do Sul, e que não continham vínculo com alguma instituição local, foram desconsiderados.

Os dados obtidos foram ordenados a partir de cada palavra-chave da busca em tabelas, de forma a organizar as informações dos artigos publicados. Eles estão ordenados pelo código da publicação ou DOI, ano, autores, instituição relacionada, país de origem, título do trabalho, palavras-chave do trabalho, link, resumo, duas categorias, publicação relacionada e tecnologias empregadas.

Categorias foram criadas para facilitar a catalogação e análise qualitativa, a partir das características dos trabalhos encontrados nas publicações, e pelo tipo de tecnologia de fabricação digital empregado nas tarefas: Análise teórica = envolve a análise e discussão de tópicos teóricos e históricos por meio de revisão da literatura, uso de instrumentos para a obtenção de informação de atividades – como questionários – e estudos de caso, sem apresentar o desenvolvimento de algum projeto prático próprio Educação = envolve atividade de ensino, como disciplina formalizada ou oficina dirigida (workshop), ou resulta na divulgação de alguma atividade didática, educacional ou em um objeto instrucional; Efeito cultural = implica a difusão e divulgação das tecnologias de fabricação digital baseado em referências na literatura e em projetos; Processo construtivo = descreve de maneira detalhada o processo de criação, desenvolvimento e produção do artefato resultante; Desenvolvimento técnico = descreve a criação ou aprimoramento de uma técnica aplicada como parte fundamental do processo de elaboração do artefato; Método de design digital = descreve o uso de interfaces de

modelagem e simulação como parte fundamental do processo de fabricação; Objeto de design = a criação de um protótipo de objeto de tamanho reduzido, projetado como um produto para suprir necessidades funcionais, como peças e elementos construtivos; Modelo arquitetônico = a representação tridimensional em escala reduzida de uma edificação ou parte dela; Projeto em escala arquitetônica = projeto fabricado com materiais e técnicas na escala real da construção; Instalação artística = o uso das tecnologias empregado para fabricar artefatos de arte direcionados a instalações em museus ou exposições; Outro = alguma atividade que não se enquadra nas anteriores, como o desenvolvimento de maquinário, por exemplo.

Enquanto síntese dos resultados do estudo, ao todo, foram identificados 191 artigos que se enquadram nos critérios estabelecidos acima. Desses, os valores quantitativos assinalados abaixo representam uma sistematização dos dados conjecturados na tabela de revisão sistemática.

Tabela 02 – O número de publicações por ano

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
#	1	0	0	2	0	5	1	13	6	14	18	14	18	25	28	21	25

Fonte: Autor

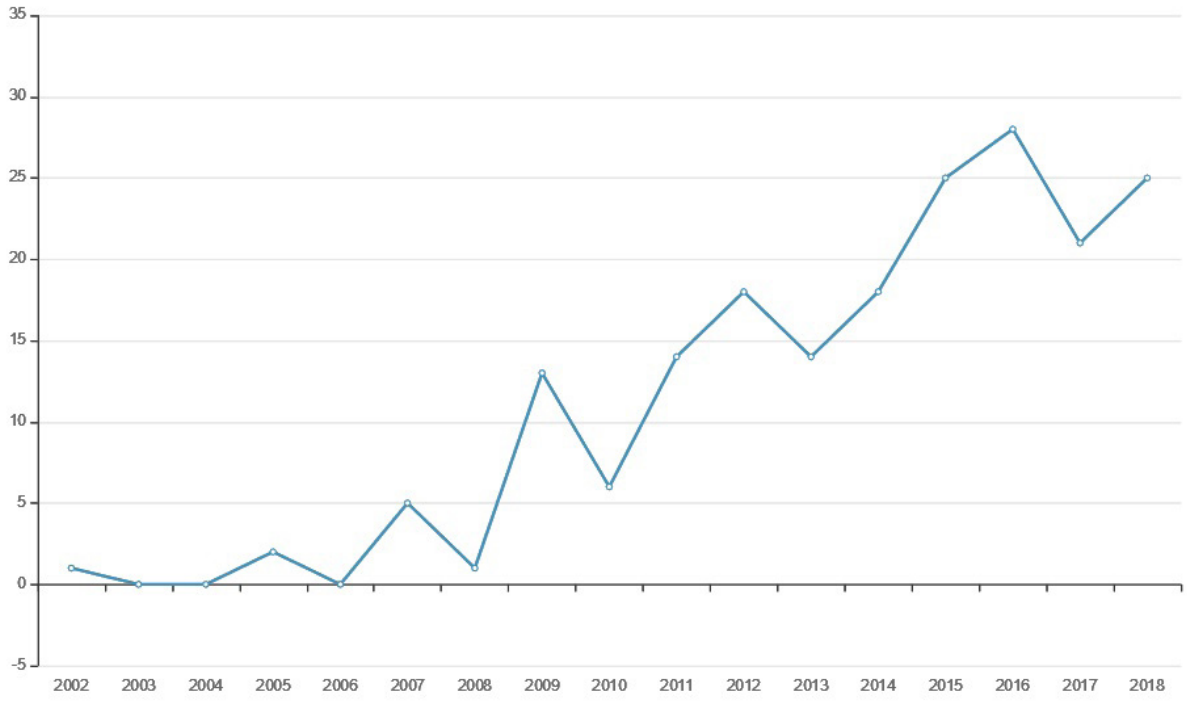


Figura 59 – Número de publicações por ano com o termo fabricação digital no SIGraDi

Tabela 03 – O número de publicações por país

	Brasil	Chile	Argentina	Peru	Uruguai	Colômbia	Argentina/ Chile	Chile/ Brasil	Brasil/ Argentina	Outras combinações
#	123	23	14	6	5	3	5	2	1	9

Fonte: Autor

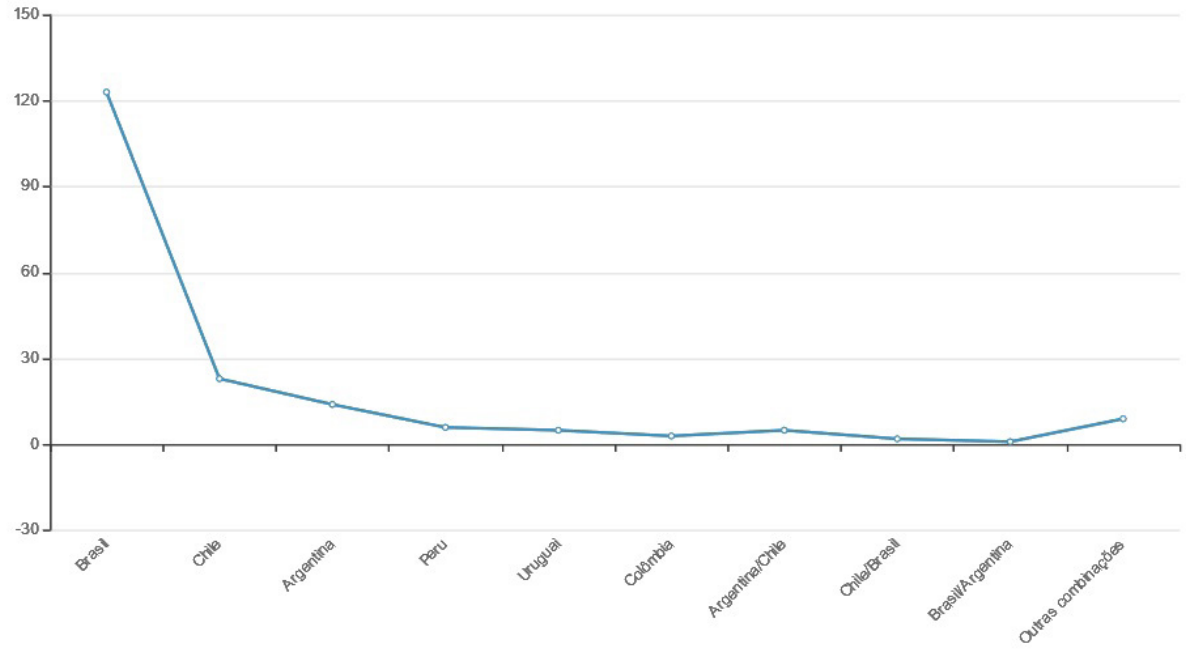


Figura 60 – Número de publicações por país com o termo fabricação digital no SIGraDi

Tabela 04 – O número de publicações por Instituições

	Universidades	Fab Labs	Escritórios	Outros (redes e associações)
#	183	1	4	3

Fonte: Autor

Tabela 05 – O número de publicações por categorias

Categoria um	Categoria dois	#	Observação
Análise teórica	Efeito cultural	28	Análises com o intuito de disseminar conhecimentos disciplinares.
Análise teórica	Educação	13	Análises de atividades didáticas e de ensino.
Educação	Modelo arquitetônico	21	Atividades educacionais que resultaram em modelos de projetos.
Educação	Design de objeto	35	Atividades educacionais que resultaram em objetos de pequena escala.
Educação	Processo construtivo	3	Descrevem o processo de construção de artefatos utilizados em atividades de ensino.
Educação	Projeto em escala arq.	3	Atividades educacionais que resultaram em projetos na escala 1:1.
Educação	Desenvolvimento técnico	3	Atividades educacionais que desdobraram em algum desenvolvimento técnico para a aplicação das tecnologias.
Desenvolvimento técnico	Design de objeto	10	Descreve um avanço ou criação de técnica no uso das tecnologias que resultou em objeto de pequena escala.
Desenvolvimento técnico	Modelo arquitetônico	2	Descreve um avanço ou criação de técnica no uso das tecnologias que foi representado por meio de um modelo arquitetônico.

Projeto em escala arq.	Processo construtivo	9	Descreve o processo de elaboração e construção de um projeto na escala 1:1.
Design de objeto	Processo construtivo	11	Descreve o processo de elaboração e construção de um objeto de pequena escala.
Método de design digital	Design de objeto	3	Descreve um procedimento digital de geração de resultado que implica a produção de um objeto de pequena escala.
Método de design digital	Modelo arquitetônico	4	Descreve um procedimento digital de geração de resultado que implica a produção de um modelo.
Método de design digital	Processo construtivo	2	Descreve um procedimento digital de geração de resultado e indica o processo construtivo necessário para a fabricação
Instalação artística	Processo construtivo	3	Apresenta um projeto artístico fabricado e como foi o seu processo.
Modelo arquitetônico	-	8	Descreve um momento particular em que é criado um modelo.
Design de objeto	-	8	Descreve um momento particular em que é criado um objeto de pequena escala.
Outros	-	17	Combinações variadas de categorias ou que não se enquadram nas anteriores.
?	-	8	Não está claro ou não está declarado como a fabricação digital foi utilizada.

Fonte: Autor

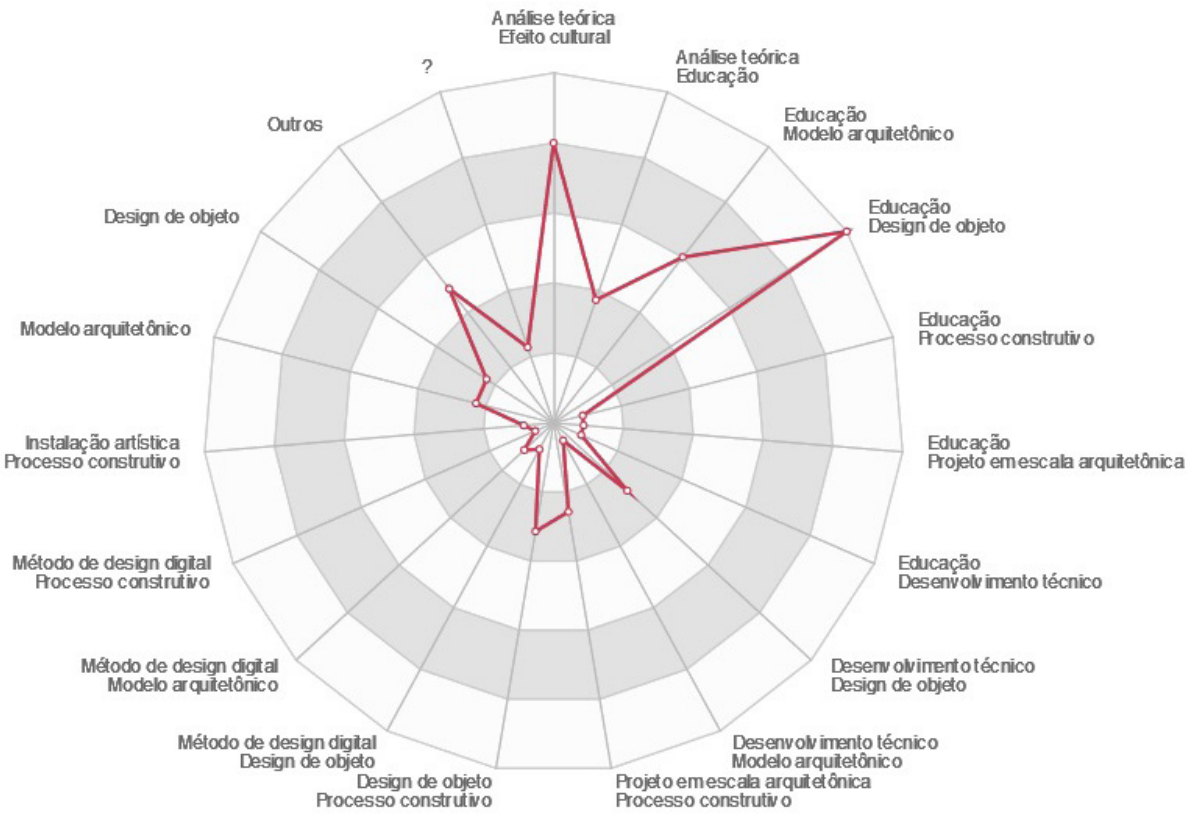


Figura 61 – Número de publicações por categoria relacionada ao termo fabricação digital no SIGraDi

Tabela 06 – As tecnologias empregadas nos trabalhos:

	(nenhuma)	Cortadora laser	Fresadora CNC	Impressão 3D	CL + Fr. CNC	CL + Imp. 3D	Fr. CNC + Imp. 3D	CL + Fr. CNC + Imp. 3D	Outros	Não especificado
#	43	41	28	30	12	9	3	9	4	10

Fonte: Autor

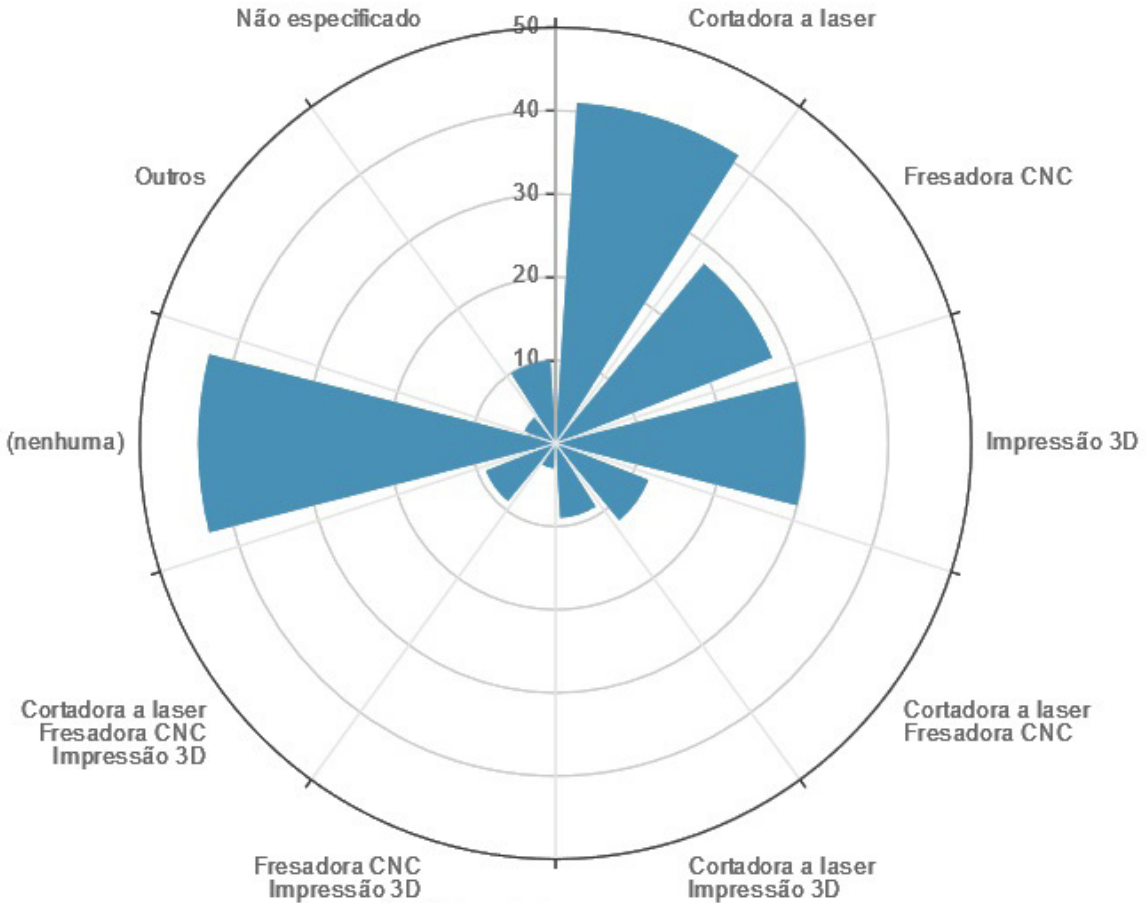


Figura 62 – As tecnologias empregadas em cada publicação com o termo fabricação digital no SIGraDi

Podemos demarcar o ano de 2009 como o momento em que há o aparecimento de um número consistente de publicações que envolvem o tema da fabricação digital na região, o que, com uma diminuição pontual no ano seguinte, é retomado em 2011, com um número expressivo de publicações, e com um novo aumento, a partir de 2015. Isso indica que, para se alcançar um volume inicial de publicações baseadas em investigações a partir daquele ano, apropriações técnicas e pesquisas já estavam em

curso por volta de 2007 e 2008. Os primeiros trabalhos ligados ao tema da fabricação digital, em 2002 e 2005, são subsidiários de experimentos realizados em projetos de pesquisa na pós-graduação. As publicações de 2007 são todas advindas de países hispanófonos, com temas relacionados à análise teórica dos efeitos e da apropriação das novas técnicas computacionais e de fabricação para os contextos, incluindo as primeiras aproximações das tecnologias com a produção de protótipos e modelos.

Em 2009, há o maior ingresso de publicações do Brasil relacionadas ao tema, mostrando uma expansão do quadro de agentes interessados na região e os efeitos iniciais da instauração dos primeiros laboratórios no país. Nesse ano, há uma distribuição mais proporcional em relação aos locais de onde advém os trabalhos, sugerindo que as instituições que importaram maquinário para os seus departamentos foram as que adquiriram vantagem técnica para o desenvolvimento acadêmico. Ao longo dos anos seguintes, a origem dos trabalhos seguiu uma constante de maior número advindo do Brasil, com poucas publicações da Argentina e do Chile, com variações de publicações do Peru, Uruguai, Colômbia e colaborações. Em parte, outro motivo para o aparecimento dessa conformação foi o incentivo indireto promovido aos atores pela proximidade às sedes dos eventos. Esse quadro é mais representativo, ou firma-se, na última década, de 2009 a 2018, com alterações ou variação na presença com relação à proximidade geográfica do evento. Como visão geral, mostra a grande diferença numérica entre proposições provenientes do Brasil, em relação a todos os outros países da região.

As instituições de ensino e pesquisa representam um grande número de publicações proveniente do Brasil, pequena variedade do Chile, pouca presença da Argentina e representações pontuais do Peru, Colômbia e Uruguai. Apesar da clara finalidade do congresso, em que já seria esperada a maior participação de instituições de ensino e pesquisa, percebe-se o número quase irrisório de publicantes advindos de Fab Labs – ainda que alguns poucos trabalhos foram desenvolvidos por Fab Labs internos às Universidades, mas registrados apenas por elas. Além disso, é vislumbrada escassa formalização de pesquisas advindas de escritórios de design e arquitetura na região, apresentando uma hipótese de permeabilidade do conhecimento adquirido na formação dos profissionais e uso efetivo das tecnologias de modo muito esporádico ou eventual.

O quadro de tecnologias empregadas apresenta o uso individualizado das mesmas como a escolha preponderante, em mais da metade deles, representando atividades

e trabalhos focados em uma tecnologia como suporte à fabricação, com pouca articulação entre técnicas. O aparecimento de um número expressivo de publicações que não utilizaram alguma tecnologia em específico se deve à sua relação com as análises teóricas apresentadas. A cortadora laser foi uma das primeiras tecnologias importadas para o uso em instituições e, ao longo do tempo, se consolidou por sua facilidade de controle e manipulação em atividades de ensino e criação de modelos arquitetônicos, e em pequenos experimentos investigativos resultando em objetos de design, sendo um pouco limitado para a criação de projetos em escalas maiores.

Os primeiros empregos de métodos aditivos aconteceram utilizando-se tecnologia de sinterização a laser, no início dos anos 2000, em colaboração com instituições que mantinham esse tipo de maquinário. A sua demonstração por meio de tecnologia FDM aconteceu em 2012, sendo aplicada, inicialmente, seguindo lógica similar ao uso da cortadora laser, para a materialização de modelos arquitetônicos em escala reduzida, produção de protótipos e como suporte para a fabricação de objetos modelados em atividades educacionais. Mesmo ao longo dos anos, as publicações não apresentaram uma evolução na aplicação da manufatura aditiva, o que seria a passagem da fase de protótipos para a da constituição de produtos finais, devido ao tipo de maquinário acessível, que ainda é desktop, e não industrial. A apropriação de máquinas de controle numérico mais robustas, como fresadoras CNC, aconteceu de maneira distinta, um pouco mais pontual, por contato com maquinário na indústria, e assimilada aos poucos para o ensino, tornando-se mais presente por volta de 2010. Mesmo assim, foi um tipo de equipamento que trouxe mais flexibilidade propositiva para os projetos, ampliando o uso de materiais e a escala de produção.

A integração de tecnologias distintas às citadas acima, para atividades de ensino e trabalhos de investigação, aconteceu em poucos casos, aparecendo em número relevante a partir de 2014. As suas associações de uso seguiram dinâmicas mais intuitivas dos profissionais. Entre as técnicas subtrativas, o corte laser e a fresadora CNC foram empregados, principalmente, em atividades experimentais para a obtenção de habilidades técnicas de manipulação dos equipamentos, na prototipagem de objetos de design que exigiram o emprego de materiais mais robustos, e na elaboração de modelos que foram ampliados em elementos construtivos na escala 1:1. O uso de cortadora laser e impressão 3D oferece um caráter de complementaridade, para a obtenção de modelos e objetos que necessitem de maior refinamento de detalhes na exploração formal. A utilização das três tecnologias em conjunto aconteceu quase que exclusivamente como exercício exploratório de aprendizado para a compreensão técnica

das suas possibilidades de aplicação e geração material, promovendo diversidade de efeitos no resultado. Foi rara a aparição do uso de outras tecnologias, incluindo o uso de cortadora de plasma, fio quente e sistemas robóticos.

Analisando as categorias, percebe-se a predominância da tríade análise teórica, educação e design de objeto. Do primeiro, apareceram mais publicações com discussões direcionadas a tópicos do contexto amplo da computação e da fabricação, no esforço de compreensão e disseminação das novas ideias, com parte delas discutindo experiências de ensino. As próprias atividades de ensino guiaram a maioria das propostas de trabalho. Contudo, não resultam de atividades de longo prazo e acabam por gerar modelos, objetos e elementos construtivos de pequena e média escala, com alguns resultando em desenvolvimentos técnicos ou processos construtivos em escala real, mais especificamente, um número razoável relativo aos objetos de design. A descrição dos objetivos e atividades não educacionais que resultaram em artefatos não estão muito bem esclarecidas. O uso das tecnologias para a produção de elementos artísticos é muito raro e, às vezes, eles mesmos se desdobram em algum objeto funcional.

Na relação entre as categorias e os tipos de publicações, surgem inúmeras configurações do estado da arte na região. O uso de modelos arquitetônicos realiza-se para a visualização de projetos ou parte deles, sejam já existentes e assim, cumprindo uma função de representação histórica, sejam novas criações. O expoente relacionado ao desenvolvimento técnico se refere à elaboração de geometrias para elementos construtivos e sistemas complementares na escala do objeto, até artefatos instrucionais. Dos projetos em escala construtiva, praticamente todas as publicações descrevem o processo de desenvolvimento e fabricação de projetos baseados na Wikihouse. A categoria design de objeto engloba uma diversidade mais ampla de proposições, que abrange desde propostas de mobiliário à elementos conceituais.

Mapeamento e categorias dos laboratórios

O mapeamento dos laboratórios de fabricação digital na América do Sul foi uma estratégia estipulada para localizar e sistematizar um conjunto de informações dispersas sobre os locais, os agentes e as atividades envolvidas com arquitetura, design, construção e fabricação digital. O interesse para a pesquisa foi o de encontrar laboratórios que estejam integrando ferramentas computacionais e a fabricação digital com processos

de criação de artefatos, componentes e protótipos para a área da arquitetura, do design de objeto e da construção, a partir de orientações locais e estratégias de ação que não se apropriam das tecnologias unicamente para reproduzir materialmente modelos em escala reduzida de projetos já consolidados. Compreendemos que esse fator é uma limitação em razão de que o uso doméstico de máquinas como as impressoras 3D já desempenham esse papel e, portanto, praticamente qualquer profissional da área que desenvolva esse tipo de atividade poderia ser incluído na investigação.

Podemos considerar que o interesse e a concepção de investigações formais acerca do ente "laboratório de fabricação digital" é uma abordagem que emergiu de atores locais. Ao se realizar uma busca em bancos de dados de publicações, como o Google Scholar, surgem algumas delas, mostrando que não se trata tanto de uma visão cronologicamente antecipada, mas devido à sua determinação como palavra-chave no circuito. Isso porque estudos anteriores no cenário internacional incutiram o termo "digital fabrication laboratories" com base no entendimento acerca do modelo "fab lab", oriundo do MIT e dos makerspaces. Assim, havia uma separação dessa ênfase em relação aos estudos mais específicos das aplicações das tecnologias em ambientes de ensino e investigação. Exemplos dessas publicações são: Celani, Duarte e Pupo (2010), Celani (2012) e Herrera e Juárez (2012). A partir desses termos situados, a argumentação a seguir posiciona os laboratórios como lugares com identidade própria, no sentido de partir de referências dos seus atores/formadores, configurar uma dinâmica de apropriação tecnológica reflexiva, uso do espaço e atribuição de funções para além de uma "maquetaria digital", problemas abordados dirigidos à realidade de implementação, investigações técnico-produtivas, além dos vínculos sócio-culturais e de vocações regionais.

Concebemos o termo "laboratório" como algo que não se limita ao espaço físico, mas enquanto uma iniciativa conjunta e colaborativa de profissionais da área em prol de articular a criação de processos e artefatos, que convergem estratégias experimentais e inovadoras, utilizando o design computacional, técnicas e tecnologias de fabricação digital. Assim, consideramos também como laboratórios, iniciativas que assimilam e desenvolvem essa forma de prática, utilizando de maneira complementar, espaços físicos terceirizados ou compartilhados para materializar as suas ideias. Os laboratórios que possuem espaços próprios atingem certas vantagens em termos da capacidade de criação dos protótipos projetados, e de estabelecer rapidamente atividades que englobem a cultura do fazer. Há uma dificuldade em se estabelecer fronteiras claras na caracterização dos laboratórios, devido à diversidade de regimes

de trabalho constituídos em cada um deles, e à conformação de suas atividades. Em alguns casos, podem ser ações efêmeras e pontuais, em outros, podem conjugar mais de um laboratório ou escritório em projetos com cronogramas de curto ou médio prazo. A não-uniformidade dessas ações acaba sendo determinada pelos próprios ideais que conduzem cada laboratório, seja os permeados pelo modelo Fab Lab, ou os escritórios de design e arquitetura, de iniciativas autoestabelecidas que seguem um regime muito pessoal de agenciamento. Distingue-se dessa realidade os laboratórios instaurados em instituições de ensino, porque geralmente eles são incorporados em práticas de cursos de arquitetura e de design em andamento, com demandas e dinâmicas consolidadas.

Alguns critérios de corte foram definidos com o intuito de refinar a escolha dos laboratórios integrados ao mapeamento: 1) se possui sede ou equivalente em algum país da América do Sul; 2) se o tipo de atividade desempenhada é relacionada à arquitetura, ao design de produto ou à construção; 3) se as suas atividades e produção agregam algum tipo e nível de inovação, impactando, de algum modo, no contexto em que emergem, resultando em processos de fabricação que não se limitam a objetos de consumo. Desse modo, apesar de identificados escritórios de arquitetura ou de design e laboratórios que aplicam as tecnologias de fabricação digital de alguma maneira, alguns deles não foram incorporados à listagem por não se adequarem aos requisitos propostos anteriormente. Além disso, também não incluímos uma série de laboratórios (Fab Labs, Mini Fab Labs, makerspaces, hackerspaces, entre outros) que, apesar de oferecerem espaços e maquinário adequado para a fabricação digital, utilizam as ferramentas para a criação de elementos robótico-articulados, protótipos mecânicos, ou apenas replicam objetos de repositórios virtuais que não interessam ao cunho exploratório da pesquisa.

Partimos de uma base de referências de laboratórios que foi criada com o objetivo de mapeá-los para a exposição Homo Faber 1.0, que aconteceu em concomitância ao congresso CAAD Futures, em 2015. As informações obtidas naquele momento se referiam a cerca de 30 laboratórios, em instituições de ensino e pesquisa ou iniciativas de aplicação das tecnologias de fabricação digital por arquitetos e designers.

Figura 63 – Mapa dos laboratórios para a exposição Homo Faber, 2015

Mapa apresentado no catálogo da exposição

Fonte: SPERLING; HERRERA, 2015.

A etapa de catalogação, efetuada para complementar as informações iniciais, utilizou mapeamentos já existentes como base. O primeiro e mais fundamental deles foi o do site oficial da rede Fab Lab do MIT[39], a base de dados que concentra as entradas de laboratórios associados pelo mundo, e o segundo, o do site francês "Makery"[40], uma plataforma de divulgação sobre comunidades criativas.

39 Mais informações em: <https://www.fablabs.io/>.

40 Mais informações em: <http://www.makery.info/en/>.

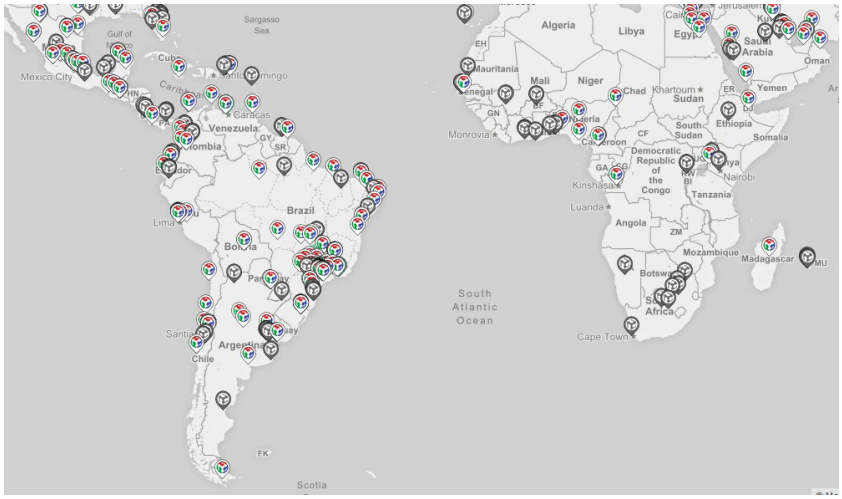


Figura 64 – Parte do mapa da rede de Fab Labs pelo mundo

Fonte: https://www.fablabs.io/labs/map

Figura 65 – Mapa de laboratórios de fabricação digital pelo mundo no site Makery

Fonte: http://www.makery.info/en/map-labs/

Em um segundo momento, foram realizadas buscas no Google utilizando as palavras-chave em português, espanhol e em inglês: "manufactura avanzada", "fabricación digital", "fab lab", "fabricação digital" e "digital fabrication", combinadas a termos como nomes de cidades e de países, além de universidades, faculdades e escritórios, para ampliar o acesso à gama de informações em websites e descobrir agentes e espaços envolvidos com o tema da fabricação digital. Complementarmente, contactamos membros do SIGraDi, um de cada país da América do Sul, para que pudessem nos fornecer informações sobre a existência e a localização de laboratórios que não acessamos pelas pesquisas na web. A busca avançou na rede Facebook, em que foi possível encontrar páginas de laboratórios e escritórios que desenvolviam atividades ou ofereciam serviços relacionados à fabricação digital. Por vezes, a descoberta aconteceu de maneira fortuita, através de publicações e devido às redes de trabalho estabelecidas entre os próprios laboratórios e agentes elencados.

A investigação empenhada na América do Sul resultou em um quadro de avaliação dos tipos de espaço que abrigam os laboratórios de fabricação digital, suas atividades

e referências de trabalho. É notável que a dinâmica de implementação e uso dessas infraestruturas segue o apontamento de que "fora das práticas altamente especializadas e da pesquisa acadêmica, a revolução digital tem vindo a avançar lentamente" (CORSER, 2010, p. 12). Em nosso contexto, verificamos, até o momento, que esse parecer se manifesta de modo atual e mais radical, com a grande parte dos laboratórios inseridos nos ambientes acadêmicos ou, de algum modo, com profissionais que utilizam essas tecnologias fortemente vinculados a eles. Boa parte dos laboratórios procurou se associar a uma marca que forneça divulgação e suporte, predominantemente a do Fab Lab MIT. Apenas uma pequena parte está atrelada a escritórios e iniciativas particulares que trabalham com arquitetura e design, e utilizam a fabricação digital de modo eventual.

Com o intuito de distinguir os laboratórios existentes na região, categorizamo-los em três tipos, que já foram esboçados anteriormente (SPERLING; HERRERA; CELANI; SCHEEREN, 2015). Contudo, as fronteiras entre os três tipos não é rígida, por vezes, diversos laboratórios englobam algumas características e associações de mais de uma categoria. O primeiro tipo é denominado "centro de pesquisa", tendo como fundamento o uso das tecnologias em atividades direcionadas à pesquisa e ao ensino formal, instalados em uma instituição de ensino de nível superior e de pós-graduação. Geralmente, nesses locais se desenvolvem investigações de processos e artefatos a médio e longo prazo ou são promovidas atividades rápidas de aprendizado em oficinas e disciplinas, que são executadas pelos alunos. Segundo Celani, Duarte e Pupo (2010), a instauração dos laboratórios de fabricação em escolas de arquitetura – o que configura quase que a totalidade da primeira categoria – requer uma série de prerrogativas para manter o seu funcionamento, como infraestrutura, manutenção e financiamento continuados. Estão instalados em instituições públicas, privadas e mistas. Alguns desses laboratórios estão vinculados à rede Fab Lab MIT.

O segundo tipo é denominado "Fab Lab", são espaços que funcionam com uma dinâmica de acesso livre e uso de maquinário, não só de fabricação digital, mas também de ferramentas de carpintaria, serralheria e eletrônica, em que determinados períodos de sua semana de trabalho são abertos ao público externo, permitindo que ocorra o desenvolvimento de criações pessoais, como objetos de pequena escala, incluindo atividades direcionadas por meio de oficinas. Segundo Eychenne e Neves (2013), os Fab Labs são procurados por quem pretende passar um projeto rapidamente da fase conceitual ao protótipo, utilizando máquinas de nível profissional com um baixo custo de operação, configurando também o que pode ser chamado de "makerspaces". Muitos

deles usufruem do modelo de espaço, sistema de máquinas e ferramentas, dinâmica de funcionamento e política de uso do Fab Lab MIT, além de integrar a rede mundial criada por Neil Gershenfeld (2005), ao oferecerem serviços de produção com o uso das tecnologias de fabricação para o público externo. Estão instalados em instituições públicas, estabelecimentos comerciais e de serviço.

O terceiro tipo é o "escritório de design", são lugares que já oferecem serviços de projeto arquitetônico e/ou design de produtos que incorporam algumas tecnologias de fabricação digital para o desenvolvimento de protótipos de estudo ou para a construção. Oferecem serviços de consultoria, utilizando infraestrutura de fabricação própria, terceirizada ou em colaboração, para criar artefatos em diversas escalas. Essas iniciativas surgem de um modo autônomo e, muitas vezes, isoladas, e o seu sentido de inovação está voltado para a materialização de projetos próprios, além do oferecimento de algumas atividades práticas para o público externo, como oficinas. São locais privados mas que trabalham a partir de demandas públicas, privadas ou mistas.

Tabela 07 – Tipos de laboratórios, características e derivações encontrados com base na pesquisa

Tipo	Característica	Derivações
Centro de pesquisa	Laboratório em Instituição de ensino e pequisa, funcionando com financiamento público, privado ou misto, que possui a infraestrutura para o suporte didático ou investigação de projetos de professores e estudantes.	Ações de suporte no ensino, pesquisa e extensão para a arquitetura
		Ações maker, hacker, suporte para o desenvolvimento de produtos de design e de engenharia
Fab Lab	Plataforma maker para o desenvolvimento de projetos pessoais, para organizações privadas ou instituições públicas, com suporte de profissionais prestadores de serviço especializado.	Público/Aberto
		Privado/Parcialmente aberto
		Sistema Móvel
		Sistema Distribuído
Escritório de design	Local que fornece serviço de projetos, utilizando eventualmente o suporte das tecnologias de fabricação digital.	Média complexidade
		Alta complexidade

Fonte: Autor

Os centros de pesquisa podem ser subdivididos nos que concentram seus esforços na relação entre pesquisa e ensino, e os que agregam a esses expedientes o oferecimento de atividades de extensão para a comunidade. Os fab labs se subdividem entre iniciativas mantidas por instituições públicas e, por isso, mais abertas e acessíveis ao público externo, ou iniciativas de cunho privado, mantidas por empresas ou afins e, por isso, seu acesso é restrito a uso interno, ou limitado por pagamento de hora/uso, ou por meio de participação em oficinas; há também o caso dos sistemas móveis,

que são infraestruturas montadas em veículos que tornam o laboratório itinerante, e o sistema distribuído, em que é formada uma rede de laboratórios, não restrita a somente uma unidade. Dos escritórios de design, há aqueles que desenvolvem projetos com o uso das tecnologias que são de baixa ou média complexidade, como para produtos ou componentes de uma edificação, e há aqueles que empregam seu uso de modo a desenvolver projetos de alta complexidade, que requerem processos industriais de fabricação. Por meio do mapeamento, até 2018, contabilizamos 117 laboratórios, em 11 países na América do Sul. A tabela abaixo evidencia os que se enquadraram nos critérios determinados (ver tabela completa no apêndice 2). Do total, 105 estão em atividade, o restante foi desativado recentemente, estão com atividades suspensas, passando por reestruturação, modificaram o meio de suas atividades, ou não foram encontradas informações conclusivas acerca de sua situação. Do total de laboratórios, 59 foram categorizados como "centro de pesquisa", 29 como "Fab Lab" e 29 como "escritório de design". Na tabela abaixo, eles estão ordenados por país e por categoria de laboratório.

Tabela 08 – Lista de laboratórios por país

País	Início/Início FD	Status	Nome	Cidade	Tipo
Argentina	1985/2007	Ativo	Instituto de la Espacialidad Humana – Laboratorio de Morfología	Buenos Aires	Centro de pesquisa
	2014/2015	Ativo	+ID Lab – Laboratorio de Investigación en Diseño	Buenos Aires	Centro de pesquisa
	1995/2010	Ativo	CID – Centro de Informática y Diseño	Santa Fé	Centro de pesquisa
	2009?	Ativo	UrdirLab	Santa Fé	Centro de pesquisa
	2010?	Ativo	GIDCAD – Grupo de Investigación y Docencia en Computación Aplicada al Diseño	Buenos Aires	Centro de pesquisa
	2005?	Ativo	MDPI – Maestría en diseño de procesos innovativos	Córdoba	Centro de pesquisa
	2014?	Inativo	Fab Lab Argentina	Buenos Aires	Fab Lab
	2017	Ativo	Fab Lab Córdoba	Córdoba	Fab Lab
	2016	Ativo	Fabrica Diseño e Innovación	Buenos Aires	Fab Lab
	2015	Ativo	Nodo39 FabLab	Mendoza	Escritório de design
	2007	Ativo	Dante Tisi	Buenos Aires	Escritório de design
	2016	Ativo	TaMaCo	Buenos Aires	Escritório de design
	2017	Ativo	Binary Craft	Buenos Aires	Escritório de design
	2013/2014	Ativo	AABB – Associated Architects Beyond Borders	Córdoba	Escritório de design

Brasil	2013	Ativo	algo+ritmo	Campo Grande	Centro de pesquisa
	2014/2015	Ativo	NÓ.Lab	Viçosa	Centro de pesquisa
	2006/2007	Ativo	Lapac	Campinas	Centro de pesquisa
	2013	Ativo	Lamo3D – Laboratory of 3D Models and Digital Fabrication	Rio de Janeiro	Centro de pesquisa
	2015	Ativo	Fab Lab Facens	Sorocaba	Centro de pesquisa
	2015	Ativo	FabLab Belas Artes	São Paulo	Centro de pesquisa
	2011/2009	Ativo	Fab Lab SP / DigiFab	São Paulo	Centro de pesquisa
	2015	Ativo	FABDig	São Carlos	Centro de pesquisa
	2005/2010	Ativo	TPED – Teoria e Projeto na Era Digital	São Paulo	Centro de pesquisa
	2012	Ativo	Sagui Lab	Bauru	Centro de pesquisa
	2012	Ativo	CADEP – Centro Avançado de Desenvolvimento de Produtos	Bauru	Centro de pesquisa
	2012	Ativo	LED – Laboratório de Experiência Digital	Fortaleza	Centro de pesquisa
	2012	Ativo	LM+P – Laboratório de Modelos e Prototipagem	João Pessoa	Centro de pesquisa
	2012	Ativo	GEGRADI	Pelotas	Centro de pesquisa
	2011	Ativo	DOMVS	Juiz de Fora	Centro de pesquisa
	1993	Ativo	LAGEAR	Belo Horizonte	Centro de pesquisa
	2017	Ativo	In Forma 3D	Uberlândia	Centro de pesquisa
	2007	Ativo	LDFC – Laboratório de Fabricação Digital e Customização em Massa	Brasília	Centro de pesquisa
	1994/2007	Inativo	SimmLab – Laboratório de Simulações e Modelamento em Arquitetura e Urbanismo	Porto Alegre	Centro de pesquisa
	2013	Ativo	PRONTO 3D – Laboratório de Prototipagem e Novas Tecnologias Orientadas ao 3D	Florianópolis	Centro de pesquisa
	2014	Ativo	LAB.AU	Cuiabá	Centro de pesquisa
	2015	Ativo	LIFELAB – Laboratório de Inovação e Fabricação Digital da Escola de Engenharia	Porto Alegre	Centro de pesquisa
	2016	Ativo	LEFAD – Laboratório de Experimentação em Fabricação Digital	Belo Horizonte	Centro de pesquisa
	2011	Ativo	NEXT – Núcleo de Experimentação Tridimensional	Rio de Janeiro	Centro de pesquisa
	?	Inativo	LabMaq	Natal	Centro de pesquisa
		Ativo	LIP – Laboratório de Inovacao e Prototipagem	Fortaleza	Centro de pesquisa
	2017	Ativo	LAMP – Laboratório de Modelagem e Prototipagem	Curitiba	Centro de pesquisa
	2015/2016	Ativo	FabLab Unilasalle	Canoas	Fab Lab
	2014	Ativo	Brasília Fab Lab	Brasília	Fab Lab
	2016	Ativo	Fab Lab Unisul	Florianópolis	Fab Lab
	2013	Ativo	Garagem Fab Lab	São Paulo	Fab Lab
	2015	Ativo	Fab Lab Livre	São Paulo	Fab Lab

	2014	Ativo	Olabi	Rio de Janeiro	Fab Lab
	2017	Ativo	Fab Lab Unisinos	Porto Alegre	Fab Lab
	2014	Ativo	Fab Lab CBA	Cuiabá	Fab Lab
	2014	Ativo	Fab Lab Recife	Recife	Fab Lab
	2014?	Ativo	Usina Fab Lab	Porto Alegre	Fab Lab
	2016?	Ativo	PoaLab	Porto Alegre	Fab Lab
	2008	Ativo	SUBdV architecture	São Paulo	Escritório de design
	2015	Ativo	Galpão Makers (PALA arquiteturas)	Porto Alegre	Escritório de design
	2014?	Inativo	Fabrique.cc	Porto Alegre	Escritório de design
	2009/?	Inativo	Aleph Zero	Curitiba	Escritório de design
	2016	Inativo	MakerSpace Edifício Anita	Curitiba	Escritório de design
	2010	Ativo	Estudio Guto Requena	São Paulo	Escritório de design
	2012?	Ativo	Studio d.lux	São Paulo	Escritório de design
	2015	Ativo	Atelier Marko Brajovic	São Paulo	Escritório de design
	2014	Ativo	Protobox	Campinas	Escritório de design
	2010	Ativo	Nimbu	Belo Horizonte	Escritório de design
	2016?	Ativo	L.O.U.Co	Recife	Escritório de design
	2015	Ativo	InovaHouse 3D	Brasília	Escritório de design
Bolívia	2011	Ativo	Fab Lab Bolivia	Cochabamba	Fab Lab
	2016/2014	Ativo	JIT FAB LAB	Santa Cruz de la Sierra	Escritório de design
Chile	2012/2015	Ativo	Fablab U. de Chile	Santiago	Centro de pesquisa
	2016?	Ativo	FAB ARQ (Taller de Fabricación y Prototipos)	Santiago	Centro de pesquisa
	2014	Ativo	FabHaus	Santiago	Centro de pesquisa
	2014	Ativo	Fablab UC	Santiago	Centro de pesquisa
	2013	Ativo	DILAB | Engineering Design	Santiago	Centro de pesquisa
	2011	Ativo	Fab Lab UAI (Design.Lab UAI)	Santiago	Centro de pesquisa
	2011	Inativo	MADLAB	Viña del Mar	Centro de pesquisa
	2000/2008	Ativo	Area Computacional	Valparaiso	Centro de pesquisa
	2008	Ativo	Labomat ARQ USM	Valparaiso	Centro de pesquisa
	2005/2013	Ativo	DGI-UBB	Concepción	Centro de pesquisa
	2010	Ativo	Fablab UACh	Puerto Montt	Centro de pesquisa
	2014	Ativo	Fab Lab Santiago	Santiago	Fab Lab
	2012?	Ativo	Campus Creativo UNAB	Santiago	Fab Lab
	2014	Ativo	Aconcagua FabLab	Valparaiso	Fab Lab
	2014?	Ativo	Fab Lab Concepción	Concepción	Fab Lab
	2008/2009	Ativo	Dum Dum Lab	Valparaiso	Escritório de design
	2009	Ativo	Gt2P	Santiago	Escritório de design
	2012?	Ativo	CNC Studio	Santiago	Escritório de design
	2012	Ativo	Orange fábrica digital	Santiago	Escritório de design
	2010	Ativo	Chidostudio	Santiago	Escritório de design

Colômbia	2012	Ativo	Fab Lab Unal	Medellin	Centro de pesquisa
	2015	Ativo	MorfoLab - Morfología Experimental UPB	Medellin	Centro de pesquisa
	2016	Ativo	Fab Lab Unipiloto	Bogotá	Centro de pesquisa
	?	Ativo	FabLab Uniandes	Bogotá	Centro de pesquisa
	2013	Ativo	Fab Lab Cali	Cali	Centro de pesquisa
	2016/2017	Ativo	Exploratorio	Medellin	Fab Lab
	2012	Ativo	Frontis3D R+D	Bogotá	Escritório de design
	?	Inativo	Mot+Mot	Bogotá	Escritório de design
	2012	Ativo	Tu Taller Design	Medellin	Escritório de design
	2010	Ativo	Rhinofabstudio UPB	Medellin	Escritório de design
	2010	Ativo	Faberarium	Bogotá	Escritório de design
Equador	2014	Ativo	Fab Lab UTPL	Loja	Centro de pesquisa
	2013?	Ativo	In.Lab	Cuenca	Centro de pesquisa
	2010	Ativo	Bacteria LAB	Quito	Fab Lab
	2015	Ativo	Fab Lab Ecuador	Quito	Fab Lab
	2014	Ativo	Fab Lab ZOI	Quito	Fab Lab
	2017?	Inativo	Fab Lab Cumbayá	Cumbayá	Fab Lab
	2016/2014	Ativo	Pata de Gallo Colectivo	Cumbayá	Escritório de design
Guiana Francesa	2015?	Ativo	La KazLab	St-Laurent du Maroni	Fab Lab
Paraguai	2013/2015	Ativo	Fab Lab Universitario CIDI	San Lorenzo	Centro de pesquisa
	2016?	Ativo	FABLAB Universidad Paraguayo Alemana	San Lorenzo	Centro de pesquisa
Peru	2010	Ativo	Fab Lab UNI	Lima	Centro de pesquisa
	2017?	Ativo	Fab Lab USMP	Lima	Centro de pesquisa
	2014	Ativo	Fab Lab ESAN	Lima	Centro de pesquisa
	2000?	Ativo	CETAM – Centro de Tecnologías Avanzadas de Manufactura	Lima	Centro de pesquisa
	2009/2010	Ativo	Fab Lab Lima	Lima	Fab Lab
Uruguai	2011	Ativo	LabFabMVD	Montevidéu	Centro de pesquisa
	2016	Ativo	Sinergia Tech | Fab Lab Montevideo	Montevidéu	Fab Lab
Venezuela	?	Inativo	Taller de Arquitectura USB	Caracas	Centro de pesquisa
	2012?	Inativo	Fab Lab Venezuela	Caracas	Fab Lab
Total		105 ativos	116 laboratórios		59 (Lab. Pesquisa) 28 (Fab Lab) 29 (Escritório de Design)

Fonte: Autor

Os laboratórios mapeados[41] se configuram de acordo com a distribuição geográfica representada abaixo, que apresenta a sua concentração nas principais capitais, grandes cidades com alto rendimento econômico e produtivo, ou que englobam estratégias de economia criativa. Um dos fatores que converge para essa conformação são as instituições de ensino distribuídas de forma centralizada em cada país, que receberam os profissionais e nas quais se instalou a infraestrutura, além de formar profissionais na área.

41 Mapa interativo em <https://www.google.com/maps/d/u/0/edit?mid=1aHQk1JZH-D1A4frnOEBcDWrOPALxnk5v&usp=sharing>

Figura 66 – Mapa dos laboratórios distribuídos na América do Sul

Fonte: Autor

A visibilidade no território demonstra o grande distanciamento intra-regional entre os laboratórios, limitando contatos e colaborações presenciais. Percebe-se a predominância numérica de laboratórios instalados no Brasil que, contudo, concentram-se majoritariamente numa faixa do sul até centro e sudeste. Nessa representação, grandes lacunas espaciais são manifestas, nas quais as atividades e as aplicações das tecnologias por meio dos profissionais encontram pouco alcance, especialmente regiões como o sul da Argentina, a região desértica da tríplice fronteira entre Chile, Argentina e Bolívia, além da imensa parcela norte amazônica e centro nordestina do Brasil, espaços esses que teriam um potencial de instalação de laboratórios com o intuito de contribuir para a resolução de problemáticas regionais e fomentar avanços e transferências tecnológicas. Apesar de existirem alguns outros laboratórios com funções diversas em regiões intermediárias aos laboratórios mapeados, é intrinsecamente devido às atitudes de implantação individuais, e, por isso mesmo, não coordenadas ou estrategicamente pensadas por políticas governamentais amplas e a longo prazo, que eles não cumprem a atribuição de alocar tecnologias e esforços a fim de progredir o estatuto de produção nas mesmas.

A concentração dos laboratórios em determinadas localidades apresenta correlações com regiões de desenvolvimento econômico avançado na América do Sul. Os países do continente carregam traços de suas culturas ancestrais, ao mesmo tempo que se formaram historicamente por efeitos de migração e globalização em distintos períodos, que legaram panoramas de disparidades regionais ao estabelecer matrizes produtivas com diferentes participações nacionais, mas vários focos de expansão, considerando grande variabilidade e volatilidade no crescimento econômico (LIMA, 2011, p. 125-6). As fronteiras territoriais não representam as fronteiras culturais, já que há áreas de proximidade, mas que são mais demarcadas em sua separação por meio dos processos históricos de colonização seguindo as áreas de países hispanófonos e portugueses. Os ciclos econômicos inconstantes contribuíram para que o desenvolvimento da economia latino-americana legasse uma crescente heterogeneidade espacial, com áreas de próspero dinamismo e outras com pouca sinergia (LIMA, 2011, p. 130-1), com o desafio de avançar o setor industrial e de pesquisa e desenvolvimento (P&D), em vez de se limitar ao setor de exportação de commodities.

Dados sobre a participação da indústria no PIB, incluindo a da construção, mostram que, após uma queda vertiginosa nos 5 primeiros anos da década de 1990, seguido de certa estabilização, e mais uma queda brusca a partir de 2011, atualmente,

os números se encontram no patamar dos 24%[42]. Assim como a participação do setor da manufatura no PIB tem decaído constantemente desde o início dos anos 2000, para uma média de 13% no continente[43]. Apesar da existência de um número crescente de pesquisadores atuando em setores de pesquisa e desenvolvimento[44], com crescimento de investimento em P&D até 2010, o continente tem registrado estagnação e tendência de queda nos últimos anos[45]. Mesmo com o incremento no índice de inovação em alguns países na região, como o Chile, a tendência ainda é baixa, permanecendo dependentes das tecnologias desenvolvidas no exterior e longe do papel de protagonistas de inovação, muito devido às políticas de P&D e inovação aplicadas (REICHERT; MIKHAILOV; SPINDLER, 2019). Corrobora esse fato, dados acerca da queda nos indicadores de inovação no Brasil, com redução do volume de investimento empresarial em P&D e o enxugamento de algumas das políticas públicas mais eficientes para estimular a inovação[46]. Nisso, fica latente o potencial da região em produzir tecnologias próprias, mesmo importando peças, apesar de, num contexto global, sugerir um menor engajamento da América Latina nas redes de produção de máquinas[47]. Essa atividade pode ser complementada com o oferecimento de serviços direcionados, que colaborem com os setores em crescimento[48].

Da totalidade dos laboratórios mapeados, 14 estão situados na Argentina, 50 no Brasil, 2 na Bolívia, 20 no Chile, 11 na Colômbia, 7 no Equador, 1 na Guiana Francesa, 2 no Paraguai, 5 no Peru, 2 no Uruguai e 2 na Venezuela. Nesse cenário, os laboratórios ativos são os que mantiveram a continuidade de suas funções como laboratório de fabricação digital desde a sua criação. Em relação aos laboratórios inativos, torna-se mais claro compreender a sua condição a partir de exemplos elencados. O Fab Lab Argentina, em Buenos Aires, acabou sendo desativado devido à dificuldade de manutenção financeira de seu funcionamento. O SimmLab, em Porto Alegre, não encerrou as suas atividades, mas integrou-se de maneira coletiva a outros grupos de pesquisa, formando uma infraestrutura única, que é o LIFELAB, na própria UFRGS. O MADLAB, que se originou como um laboratório interno à PUC de Valparaíso, transformou-se no Aconcagua FabLab. O restante, foi descontinuado ou não foram encontradas informações sobre os desdobramentos recentes de suas atividades. Dentre as categorias e derivações,

42 <https://data.worldbank.org/indicator/NV.IND.TOTL.ZS?end=2019&locations=ZJ&start=1990>

43 Mais informações em <https://data.worldbank.org/indicator/NV.IND.MANF.ZS?locations=ZJ>.

44 <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.SCIE.RD.P6?locations=ZJ>

45 <https://data.worldbank.org/indicator/GB.XPD.RSDV.GD.ZS?locations=ZJ>

46 <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/todas-as-publicacoes/publicacoes/185-ipea-analisa-queda-nos-indicadores-de-inovacao-no-brasil>

47 <https://latinaer.springeropen.com/articles/10.1007/s40503-017-0054-5>

48 <https://voxeu.org/article/services-rise-latin-america>

seguem a mesma relevância de enquadramentos a fim de exemplificações.

O Fabrica Diseño e Innovación é um Fab Lab público e aberto ao acesso da comunidade externa, departamentos de governo e empresas. O Fab Lab Livre SP é um Fab Lab público e aberto, enquanto se organiza como um sistema distribuído. O Fab Lab Santiago é um Fab Lab privado que abre por meio de horários de serviços ou oficinas de formação pagas. O Pronto 3D e o Aconcagua FabLab configuram sistemas móveis, por utilizar veículos que tornam a infraestrutura do laboratório itinerante. O Nodo39 FabLab, Dum Dum Lab, Pata de Gallo Colectivo, entre outros, são escritórios de design que fabricam artefatos por meio de processos de baixa ou média complexidade, conseguindo fabricá-los de maneira própria ou em colaboração com outros prestadores de serviço com maquinário complementar. O Frontis3D R+D, Dante Tisi, Estudio Guto Requena, entre outros, são escritórios de design que fabricam artefatos por meio de processos de alta complexidade, por necessitar do uso de maquinário industrial na manufatura de boa parte ou da totalidade de sua produção.

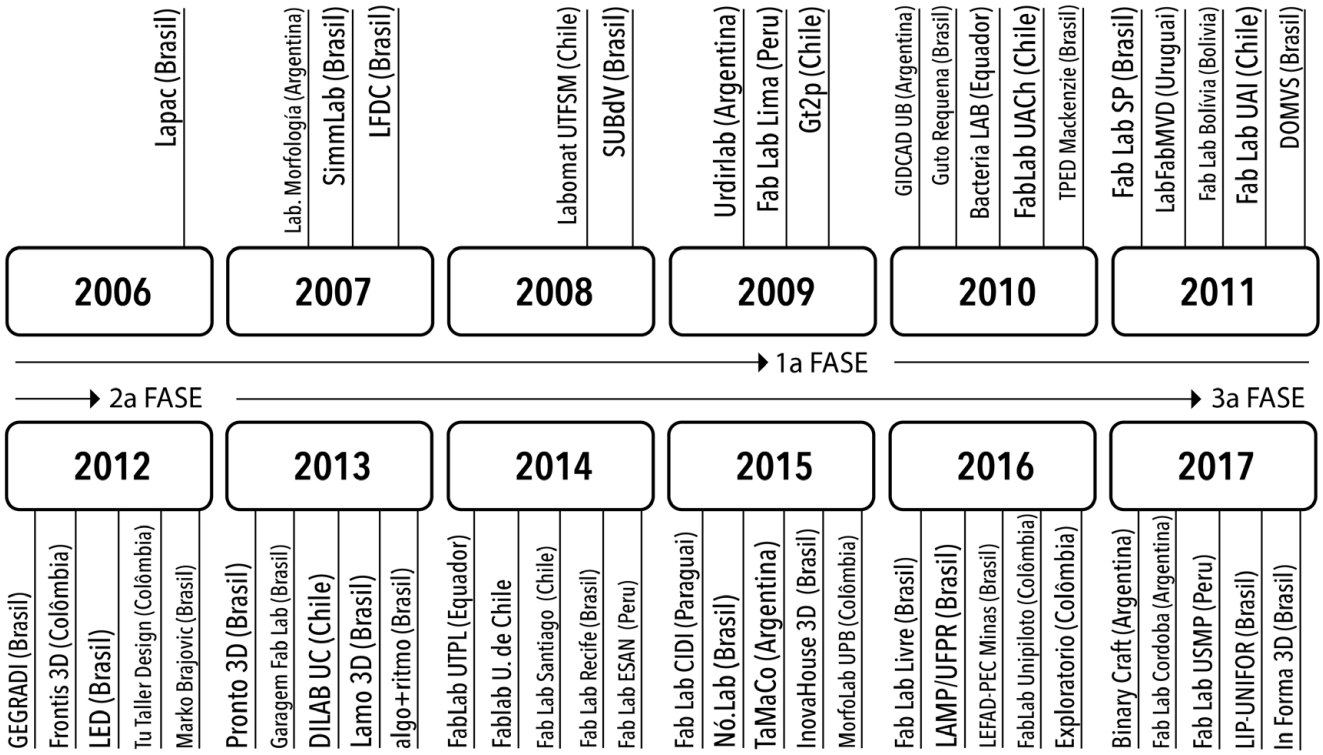


Figura 67 – Linha cronológica da instalação ou início das atividades de alguns dos laboratórios

Fonte: Autor

Como já introduzido anteriormente, podemos destacar uma pré-fase de instalação de equipamentos e da aproximação individualizada de alguns profissionais às tecnologias computacionais e de fabricação digital, por volta do início dos anos 2000. A isso, seguiram-se 3 fases de instalação dos laboratórios, a primeira, por volta de 2007 a 2009, a segunda, de 2010 a 2012, e a terceira, de 2013 em diante. Há divergências em alguns laboratórios, que foram criados como grupos de pesquisa com data anterior ao início da aplicação das tecnologias de fabricação digital e, por isso, a data do último foi considerado.

A linha do tempo apresenta essa formação pontual de laboratórios que, na primeira fase, emergiram por meio de grupos de pesquisa já existentes ou profissionais que foram influenciados por um período de formação no exterior, trazendo o tema como uma "novidade" para a região. Já na segunda fase, há uma ampliação significativa dos laboratórios, num período de maior reconhecimento, tanto internacional quanto continental, da relevância dos métodos e tecnologias de fabricação digital, estendendo-se sobre territórios mais distantes. Isso significa que, na 3ª fase, a constituição de laboratórios aconteceu após a formação de profissionais em contato com os laboratórios iniciados nas fases anteriores, ou seja, uma geração nucleada internamente. Essa fase continua em progresso, mas em menor número, devido a uma série de efeitos externos, falta de demandas, suporte de programas de fomento e a divulgação de casos efetivos que motivem projetos de infraestruturas similares em outros locais.

Há alguns exemplos de aplicação das tecnologias de fabricação digital que surgiram para além do escopo e da categorização inicialmente delimitados para a pesquisa. Em meio ao avanço da investigação, estes tornaram-se do interesse em serem mencionadas, em virtude de futuros mapeamentos avaliando potencialidades para o conjunto de inovações nas áreas. São usos das tecnologias no setor industrial e de serviços, mesmo que não constituam laboratórios voltados para projetos baseados nas tecnologias digitais, surgiram como exemplos relevantes ao adotarem maquinário digital em seu processo de produção. A empresa Crosslam[49], de Suzano, Brasil, que desde 2009 fabrica painéis de CLT (laminado de madeira cruzada) para a construção utilizando um sistema de fresadora CNC de 5 eixos para o corte dos elementos. A zeromaquina[50], de São Paulo, Brasil, que desde 2014 trabalha com fresadora CNC para usinar madeira e outros materiais compósitos para o design de objetos, componentes para arquitetura

49 <http://crosslam.com.br/home/>

50 <https://www.zeromaquina.com.br/>

e construção. A empresa Rolformados[51], de Itagüí, Colômbia, que fabrica painéis e elementos metálicos perfurados e, ao longo do tempo, foi desenvolvendo projetos por meio de processos digitais utilizando diversos equipamentos CNC para o corte. A construtora Conconcreto, de Medellín, Colômbia, desenvolveu uma impressora 3d[52] de grande formato para impressão de peças e elementos construtivos pré-fabricados em concreto, na escala 1:1, por meio de uma tecnologia que utiliza sistema de deslocamento CNC em pórtico, em 2016.

Além destes, as empresas da região têm avançado na produção de maquinário digital com tecnologia própria, a passos lentos e com alguns avanços particulares no sentido do desenvolvimento de equipamentos e serviços direcionados ao setor industrial. Uma delas é a empresa Trideo3D[53] de Buenos Aires, Argentina, que desde 2014 produz impressoras 3d desktop para consumidores comuns, mas também, máquinas industriais de médio e grande porte que permitem a fabricação de protótipos e produtos finais para a indústria, com o oferecimento de serviços de suporte para impressão. Outro exemplo é a empresa DuraPrinter 3d[54] de Itaboraí, no Rio de Janeiro, que desde 2017 produz impressoras 3d delta de pequeno e médio porte com sistema específico de depósito de argila e similares, para a produção de artefatos cerâmicos. Outro setor muito difuso de se apreender, mas que está se aprimorando e expandindo rapidamente, é o das fresadoras CNC, devido a sua relação mais significativa com empresas e indústrias de pequeno e médio porte, principalmente vinculado ao corte de madeira.

Questionário, estudos de caso e entrevistas

Com a finalidade de se obter informações mais precisas e mais aprofundadas qualitativamente sobre o estabelecimento e os processos desenvolvidos em cada laboratório, foi criado um questionário amplamente divulgado, e foram realizadas visitas técnicas acompanhadas de entrevistas. Desse modo, houve uma abrangência maior em termos de amostragem e complementaridade de informações. O questionário foi respondido por 36 laboratórios no Brasil e por 31 laboratórios dos países hispanófonos da América do Sul, somando 67 formulários, no período de 2017 a 2018. Para a análise

51 <https://www.rolformados.co/>

52 <https://conconcreto.com/noticia-1/> e <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/categoria/innovacion-y-tendencias/como-nace-la-impresion-3d-en-colombia>.

53 <https://www.trideo3d.com/>

54 <https://duraprinter3d.com/>

dos laboratórios, os mesmos foram agrupados em "conjuntos descritivos", por meio de características similares em termos de processos e produção, que revelam redes de interesses e possibilidades de colaboração que atravessam as regiões.

Em relação à quantidade de equipamentos de fabricação digital que cada laboratório possui, no Brasil, há uma distribuição mais homogênea de impressoras 3D, maior número de cortadoras laser, mas um menor número de fresadoras CNC distribuídas. Nos laboratórios de países hispanófonos, há uma distribuição mais equilibrada entre quantidade e tipos de equipamentos, com menor número de cortadoras laser em relação ao número de fresadoras CNC, que têm uma distribuição considerável nos laboratórios, além da existência de alguns braços robóticos, principalmente no Chile. A fonte de financiamento dos laboratórios apresenta uma significativa diferença quando analisamos o quadro brasileiro do restante dos países hispanófonos. O nosso país recebe muito mais investimento público nesse quesito, mas que já apresenta alguma porcentagem de investimentos de origem privada e pouco de origem mista. Os países hispanófonos apresentam um quadro completamente distinto, com a maior parte do investimento proveniente de fonte privada, contando com boa porcentagem de origem mista e pouca de origem unicamente pública.

Conforme os usos da fabricação digital, há maior concentração voltada para o ensino (61 respostas) e à pesquisa (58 respostas), com parte considerável (45 respostas) voltada à extensão. Um dos motivos para que esse resultado tenha surgido se deve ao fato de Fab Labs e escritórios de design particulares também oferecerem oficinas e cursos para suprirem as suas necessidades de financiamento, compreendendo que elas são consideradas pelos mesmos como atividades de ensino, apesar de não se enquadrarem na dinâmica formal de uma instituição de ensino. A respeito da origem das demandas, ainda é baixa a solicitação externa, seja de instituição pública, privada ou da sociedade civil (alcança por volta de 20 respostas por item). Com isso, o trabalho dos laboratórios se concentra no processo de exploração e experimentação formal (51 respostas) e material (42 respostas), focados, em grande parte, na criação de protótipos únicos (47 respostas), demonstrando maior procedência do que um uso mais extensivo e direcionado para a customização em massa (17 respostas).

A respeito de quais são as aplicações dos artefatos fabricados digitalmente, é citado, primeiramente, os protótipos de design (59 respostas), seguido dos modelos arquitetônicos (53 respostas), peças de mobiliário (50 respostas) e objetos pedagógicos

(48 respostas), componentes construtivos e componentes arquitetônicos aparecem depois deles (39 e 38, respectivamente), convergindo a materialização de formas complexas (46 respostas) e com uma parte menor criando objetos para desenvolvimento social (24 respostas). Esses resultados apontam para a versatilidade nos processos mas com a predominância de propostas ligadas ao ensino, na elaboração de artefatos que se encerram em si mesmos ou são condicionados a algumas tarefas pontuais.

A escala de trabalho dos laboratórios está delimitada à criação de objetos de pequena (60 respostas) e média escala (57 respostas), em sua grande maioria, mas já conta com mais de um terço deles capaz de produzir em grande escala. As maiores dificuldades apontadas na criação e materialização dos artefatos foram os recursos financeiros (51 respostas), a infraestrutura do laboratório (31 respostas), seguida de apoio profissional da instituição (29 respostas), conhecimento técnico dos profissionais envolvidos (21 respostas) e os materiais utilizados (18 respostas). Podemos extrair desses indicativos um escasseamento de recursos generalizados, o funcionamento dos laboratórios de uma maneira não operacionalizada em relação às máquinas e ao espaço adequado para a realização de atividades, sendo significativo, também, o número apontado para as limitações de conhecimento dos profissionais envolvidos.

Sobre a identidade da produção, foram descritos uma série muito diversificada de artefatos significativos produzidos pelos laboratórios utilizando a fabricação digital. Surgiram indicações de instalações artísticas em espaços públicos e feiras; pavilhões experimentais com o uso de distintos materiais; mobiliário como mesas, cadeiras e bancos; utilização de microeletrônica para a criação de pequenos dispositivos e sistemas robóticos simples; modelos e estruturas baseados em geometrias discretas e complexas; objetos com funções de mostruário; protótipos de produtos para a indústria; elementos para a construção civil; luminárias; elementos para variações da WikiHouse; objetos pedagógicos para utilização em sala de aula ou com usos específicos para pessoas com algum tipo de deficiência; entre outros.

Em relação à criação de artefatos com o intuito de resolver problemas locais, 43 laboratórios responderam positivamente, ou seja, aproximadamente 60%, e 22 responderam negativamente. É importante analisar o que se compreende como a resolução de um problema local, mas para quase todos os respondentes, está vinculado a expedientes internos às atividades dos próprios laboratórios. Em relação aos setores da sociedade para os quais o laboratório realiza trabalhos vinculados à fabricação digital,

37 realizam atividades para instituições científicas, 31 para a sociedade civil, 30 para instituições culturais e 20 para a indústria, com trabalhos direcionados parcialmente à manufatura (28 respostas) e ao artesanato (14 respostas). Os resultados indicam que já há uma permeabilidade dos trabalhos desenvolvidos a partir da fabricação digital em alguns setores da sociedade, mas ainda distante da consolidação dessas práticas para além do ambiente acadêmico, permanecendo ligados à investigação interna e à cultura do fazer, mais restritos em termos de acesso à indústria.

Na pergunta se foram criados artefatos que se baseiam em aspectos da cultura e/ou de técnicas locais, 41 laboratórios responderam negativamente e 26 responderam positivamente. Na pergunta se foram criados artefatos que utilizam materiais encontrados na região e/ou processos de fabricação locais, 43 laboratórios responderam negativamente e 23 responderam positivamente. Alguns apontamentos relacionados a esses quesitos surgiram como informação complementar fornecida nos questionários, como o uso de fibras naturais, bambu, madeira, materiais cimentícios, materiais naturais e resíduos reciclados. Esses são pontos que podem ser visualizados na seção dos projetos, a partir dos trabalhos desenvolvidos individualmente por cada laboratório. Na pergunta a respeito da integração com agentes locais (de comunidades, instituições ou empresas) externos ao laboratório em atividades de fabricação digital, consideradas participativas ou colaborativas, 44 laboratórios responderam positivamente, indicando, por meio de informações complementares, principalmente, estarem trabalhando em conjunto com outras instituições de ensino e governos, além de redes de parceria e extensão das atividades com laboratórios similares.

A ideia de associar os laboratórios em "conjuntos descritivos" expande a caracterização primária de tipos de espaços, a fim de compreender as especificidades que são buscadas pela pesquisa, baseados nos casos escolhidos para estudo, gerando notas analíticas preliminares, e promovendo aproximações temáticas, de processos, produção e modos de aplicação das tecnologias, a partir das quais emergem descrições e teorias situadas, fundamentadas em padrões, conceitos, relações e eventos.

Grupos de laboratórios

Os laboratórios foram organizados em grupos e suas descrições, ou "conjuntos descritivos", aproximados por semelhanças e características de trabalho compartilhadas,

com o intuito de vislumbrar as suas especificidades, contribuir para a análise e fomentar futuros reconhecimentos.

Tabela 09 – Agrupamentos de laboratórios em "conjuntos descritivos"

Grupo	Descrição
1 – Práticas morfológicas	Práticas didáticas e de projetos que desdobram dinâmicas de investigação técnica e geométrico-formal e relacionadas à inspiração na natureza.
2 – Práticas de Inovação Social	Atividades que envolvam temas e atores das comunidades, a fim de instrumentalizar e fomentar a criação de objetos que aprimorem o conhecimento e a qualidade de vida local.
3 – Formação técnica e prototipagem para processos industriais	Provisão de conhecimento técnico e suporte para prototipagem de projetos e de produtos para múltiplas áreas.
4 – Criações conceituais, artísticas e tecnológicas pelo método de design	Criação de objetos especulativos baseados em temas que avancem tópicos conceituais, artísticos e tecnológicos por meio do uso de métodos de design.
5 – Fabricação industrializada de componentes	Relação direta do projeto com a criação por meio de suporte de equipamentos industriais.
6 – Integração entre ensino formal e pesquisa em arquitetura	Espaços que desenvolvem atividades e objetos fundamentados no vínculo direto entre pesquisa, ensino e extensão, determinados pelas instituições a que fazem parte.
7 – Serviços maker e atividades artístico-culturais	Espaços acessíveis para criações individuais, oficinas de aprendizagem e desenvolvimento, além do fomento de residências artísticas e exposições.
8 – Design e artesania	Produção focada na revisão de técnicas artesanais por meios digitais ou na colaboração com artesãos para a confecção dos objetos.
9 – Sistemas construtivos adaptados	Promovem a criação de componentes construtivos e arquitetônicos para o desenvolvimento de sistemas técnicos híbridos para o canteiro, tentando estabelecer vínculos com outros setores produtivos.
10 – Formação, investigação e desenvolvimento de atividades lúdicas	Com base em investigação de projetos, desdobra-se em atividades didáticas de ensino e na criação de modelos, objetos pedagógicos ou instrucionais.
11 – Projeto e desenvolvimento digital arquitetônico	Projetos arquitetônicos e derivados com parte desenvolvida com o uso de ferramentas computacionais, prototipagem e maquinário de fabricação
12 – Outros	Dinâmicas e características das atividades muito diversificadas, ou não se encaixam nos grupos anteriores, ou não são reconhecidas de maneira aprofundada

Fonte: Autor

A partir da disposição dos laboratórios mapeados em seus grupos, alguns deles estão apresentados como estudos de caso - determinados pela quantidade de informações que possibilita uma adequada descrição de suas atividades, que obtivemos por meio dos questionários, entrevistas e visitas técnicas, complementados por informações extraídas de bases de dados compostas durante o período de pesquisa.

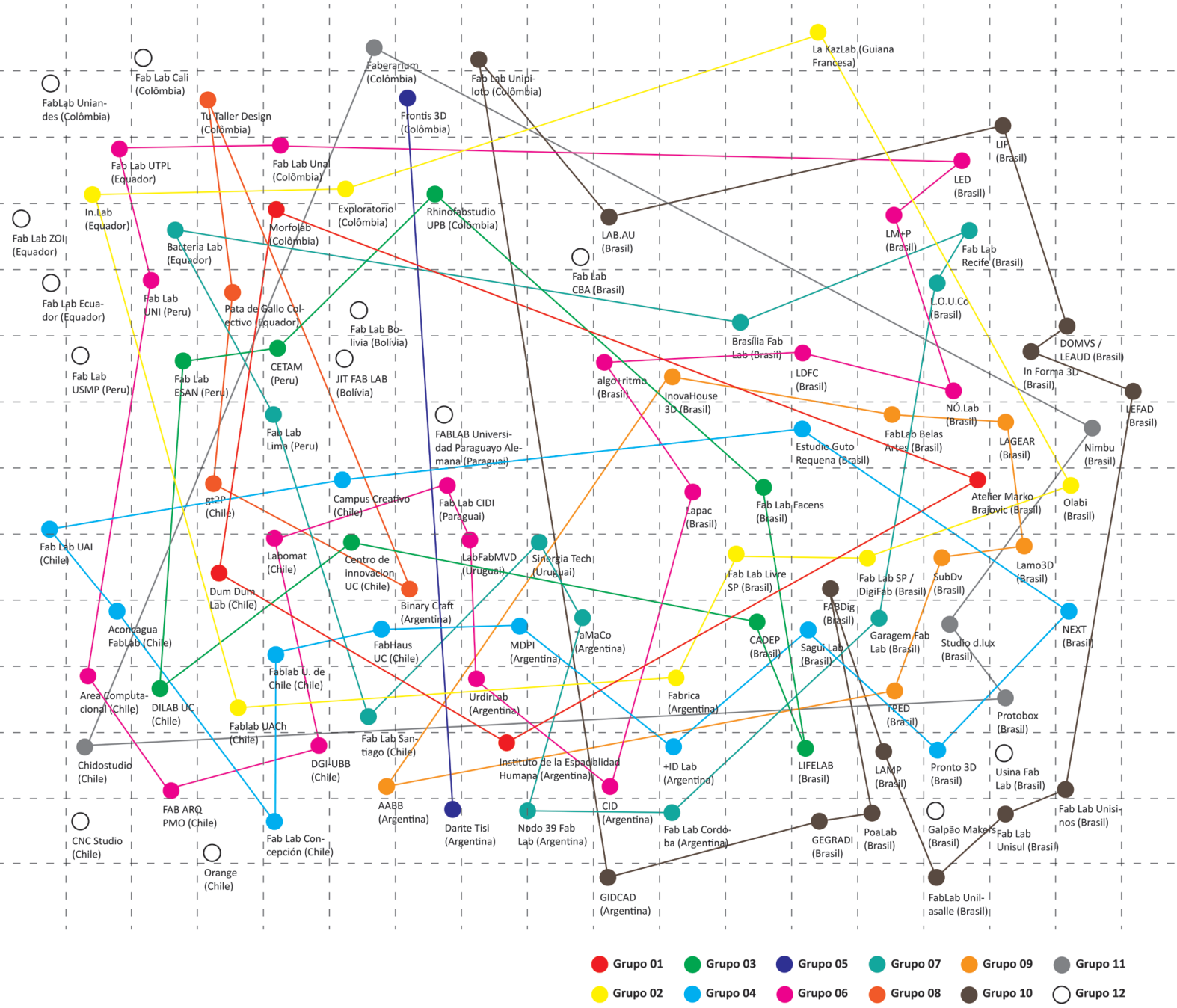


Figura 68 – Diagrama de redes a partir dos agrupamentos dos laboratórios mapeados

Fonte: Autor

1) Práticas morfológicas: Instituto de la Espacialidad Humana (Argentina); Atelier Marko Brajovic (Brasil); Morfolab (Colômbia); Dum Dum Lab (Chile).

O Laboratorio de Morfología da Universidad de Buenos Aires (UBA) funciona como um conjunto de grupos de investigação voltado às práticas de ensino e desenvolvimento de projetos formais experimentais no curso de graduação de desenho

industrial, desde 1985, fundado pelo arquiteto Roberto Doberti, e coordenado por Patricia Muñoz. Em 2006, foi estabelecido como Instituto de la Espacialidad Humana, que inclui o Laboratorio de Morfología e o Centro de Investigaciones del Habitar. Já tendo desenvolvido uma série de dinâmicas de criação próprias, desde 2007 aplica tecnologias de fabricação digital, principalmente a subtrativa por corte laser. O interesse do laboratório é, por meio das 3 disciplinas de morfologia do curso de desenho industrial, não focar unicamente na criação de objetos utilitários, mas explorar distintos tipos de formas complexas por meio de técnicas e materiais distintos, como superfícies e poliedros, investigando seus limites de concepção. As aproximações do instituto com sistemas CAD 3D, criando formas incomuns, foi uma das primeiras oportunidades de vislumbrar experimentos com formas complexas, logo nos períodos iniciais da sua criação, enquanto ainda se utilizava o CAD 2D. As investigações aconteceram no âmbito da forma por "si mesma" e a "contextualizada", em que a primeira coube mais às explorações dos grupos de design industrial, e a segunda, às teorias do habitar arquitetônico. Segundo Muñoz (2019), nas práticas acadêmicas "o digital se incorpora à medida em que a forma o requer, não o contrário", com investigações de distintos tipos ocorrendo simultaneamente nas disciplinas. Os temas de investigação envolvem o uso de fabricação digital para criar formas que não poderiam ser geradas à mão, além de incorporá-las às atividades desenvolvidas em sala de aula, com os tópicos de "flexibilização" e "tramas expansíveis", transformando elementos de superfície linear em objetos tridimensionais, ou mesmo integrando demandas externas.

Contudo, o tema central, segundo ela, são as possibilidades de transformação a partir de operações morfológicas mediadas com o tema do digital, aí o tema se desdobra. Muñoz (2019) percebe como potencial a vinculação com associações que não têm um fim comercial, como para criar objetos que auxiliem pessoas ou que não sejam meramente decorativos, personalizando contribuições técnicas, tanto relacionadas às deficiências quanto à imagem de algum produto. Além disso, vislumbra a possibilidade de enviar projetos para que pessoas em outros locais possam produzi-los por meio da fabricação. Como resultados, geralmente produzem artefatos relacionados a modelos artísticos, objeto híbrido (analógico+digital) e objetos pedagógicos. Algumas dificuldades encontradas estão em implementar, com os estudantes, processos generativos por meio de programação computacional, os custos, a falta de recursos financeiros, o tempo para aprender práticas e métodos distintos, ou algo mais amigável, além da infraestrutura do laboratório. O Instituto não conta com um laboratório específico, mas utiliza nas instalações da Universidade, máquinas de corte laser, e recorre ao uso de equipamentos terceirizados com frequência. Segundo ela, a forma de integrar com outros setores sucederia através da indução de conhecimento

técnico, em que a formação do profissional teria o papel de difundir e conectar as novas tecnologias e, , a fabricação digital deve servir para fazer aquilo que não se consegue fazer de outra maneira.

O Atelier Marko Brajovic é um escritório de arquitetura e design, fundado em 2007, na cidade de São Paulo, articulando propostas de projetos arquitetônicos, design de objetos e instalações artísticas, além de workshops. Os processos de projeto são fundamentados em preceitos do comportamento humano, dos fenômenos materiais e da biomimética. Devido a essa abordagem, o uso de métodos de design computacional e a utilização de tecnologias de fabricação digital contribuem como suporte para a criação de alguns dos projetos que utilizam geometrias complexas. Máquinas de corte e impressão 3D são terceirizadas para contribuírem com algumas etapas conceituais e construtivas de determinados projetos, para a produção de modelos arquitetônicos, modelos artísticos, protótipos de design, objetos híbridos com produção artesanal, além de componentes e mobiliário. A referência aos sistemas da natureza acontece por meio da tradução de propriedades formais e materiais na composição conceitual e estrutural do projeto, em colaborações com outros escritórios e na organização de oficinas de criação abertas ao público externo. No trabalho desenvolvido, as principais dificuldades apontadas são a limitação de infraestrutura do laboratório, dos prazos e mesmo os pedidos de clientes que se apresentam em direção contrária ao emprego de estratégias computacionais e de fabricação digital.

O Morfolab, ou "Línea de investigacion en morfologia expermental" da Universidad Pontificia Bolivariana (UPB) de Medellín, iniciou suas atividades como grupo de investigação em 1997. Em sua origem, reuniu um grupo de arquitetos que exploravam estruturas não convencionais e uma designer industrial especialista em biônica, e aos poucos, foi agregando outros profissionais, que atualmente é composto por um grupo de designers industriais como Ever Patiño Mazo, Diana Urdinola Serna, David Andrés Torreblanca Díaz e um engenheiro mecânico, Andrés Valencia. O que começou pelas explorações formais, passou também pelo interesse nos materiais e, por isso, pelos processos de fabricação e como estratégia criativa. Em 2015, começam a trabalhar com tecnologias de fabricação digital, principalmente por meio do vínculo interno com o Rhinofabstudio, e utilizando equipamentos de corte e impressão 3D disponíveis tanto em diversos laboratórios de cursos da UPB, quanto externamente em indústrias e provedores de serviços. Atualmente, a linha está orientada para o estudo da geração e transformação da forma, utilizando técnicas analógicas e digitais, nas seguintes áreas de investigação: biomimética, design paramétrico, manufatura digital, estruturas

não convencionais, materiais e design do objeto, por meio de investigação básica. Como resultados, geralmente produzem artefatos relacionados a protótipos de design, objeto híbrido (analógico + digital), objetos pedagógicos, componentes de construção, componentes de arquitetura, superfícies, peças de mobiliário, materialização de formas complexas. Segundo Mazo (2019), algumas estratégias que anteriormente eram muito difíceis de realizar, com as tecnologias digitais, já não são mais, principalmente as que envolviam o estudo da natureza, como a biomimética e a bioreferência, aplicando-se os processos de fabricação digital, carregam muitas similaridades aos processos industriais.

A investigação é transversal ao currículo, os estudantes escolhem as linhas de investigação no 5º semestre para seguir e preparar um projeto de investigação, também, são promovidas convocatórias para "semilleros de investigación", em que podem atuar como auxiliares de pesquisa por 2 anos, além de oferecerem cursos para o público externo. Para ele (MAZO, 2019), a dinâmica de uso da fabricação digital começou a se expandir devido ao "boom" da arquitetura na cidade, de alguma maneira, a base tecnológica se difundiu em várias áreas, iniciando pela indústria e pelos "Technoparques"[55], além de projetos de "empreendimento" direcionados por toda uma política pública e de abertura de investimentos privados. Apesar da fabricação digital ser amplamente conhecida como uma ferramenta que agiliza o processo produtivo, segundo Mazo (2019), falta reconhecê-la como ferramenta criativa. Assim, carece à Universidade potencializar essas visões sobre as possibilidades de aplicação das tecnologias, como prototipar o produto final e explorar as diferentes possibilidades de design dos objetos. O grupo tenta se aproximar da indústria com alguns projetos próprios e design participativo, além de colaborações para realizar oficinas abertas de curto prazo. Para eles, a maior dificuldade é a do tempo exigido para o aprendizado e a aplicação de um sistema, seja de programação, seja para controle do maquinário, e que não há uma transição fácil do digital para o material, ou seja, persistem obstáculos técnicos, em que pese a falta de mais profissionais de outras disciplinas para colaborar e promover impacto.

O Dum Dum Lab é um laboratório de atividades e projetos itinerantes, fundado por Katherine Cáceres e Francisco Calvo, em 2008. Iniciaram com a utilização de tecnologias de fabricação digital e design paramétrico a partir de 2009, "realizando workshops de indução em diferentes níveis" e disciplinas em Universidades do litoral do Chile, como a UFTSM e a Universidad San Sebastián, assim, a sua fonte de financiamento é privada. As

55 <https://www.fablabs.io/labs/tpsmedellin>

propostas de projeto se desdobram pela investigação prática por meio de geometrias discretas com madeira, utilizando principalmente cortadora laser e impressão 3d para as conexões, com maquinário, algumas vezes, utilizado de terceiros. Os resultados derivados das experimentações formais e materiais são artefatos relacionados a modelos arquitetônicos e artísticos, objeto híbrido (analógico + digital), objetos pedagógicos, componentes de arquitetura, superfícies e peças de mobiliário, materializando formas complexas, "geralmente instalações ou dispositivos para valorizar o que é produzido na academia, ou modelos para processos de teste". Segundo os coordenadores, as principais dificuldades encontram-se na falta de recursos financeiros, conhecimento técnico dos profissionais envolvidos, no suporte profissional institucional e em infraestrutura de laboratório. Procuram aprimorar em seus exercícios o domínio técnico com estruturas regradas que, em alguns momentos, incorporaram "técnicas de fabricação antiga e tradicionais na construção". A proposta de experimentação, segundo os profissionais, induz à produção de artefatos "sem a procura de formas consolidadas, isto dá-nos a oportunidade de explorar sem ter vínculos impostos previamente". Em suas estratégias de trabalho, acreditam ser fundamental "compreender cada um dos processos de forma complexa e exaustiva permite estabelecer um método aberto a mudanças, onde o processo é mais importante do que o resultado final".

2) Práticas de Inovação Social: Fábrica Diseño e Innovación (Argentina); Fab Lab Livre SP (Brasil); Exploratorio (Colômbia); Olabi (Brasil); Fablab UACh (Chile); In.Lab (Equador); Fab Lab SP / DigiFab (Brasil); La KazLab (Guiana Francesa).

O Fab Lab SP foi estabelecido em 2011 por Paulo Eduardo Fonseca de Campos, em colaboração com outros estudantes da FAU USP, consolidou-se como um dos projetos de implementação pioneiros na região. O Fab Lab, também denominado DigiFab, é parte do Laboratório de Modelos e Ensaios (LAME) da FAU-USP, mais especificamente, o setor com maquinário incluindo os de fabricação digital, assim, funcionando com financiamento público. O seu início remonta a 2009, com uma disciplina na pós-graduação, e agosto de 2011, ao participar da FAB7, onde o Fab Lab SP foi reconhecido como laboratório em fase de implantação, inaugurado em dezembro daquele ano, para integrar a rede mundial FAB LAB do MIT. O espaço dispõe de 5 impressoras 3D, 2 cortadoras laser e uma fresadora CNC grande, além de outros equipamentos. O laboratório funciona como uma plataforma aberta para receber propostas de projetos a serem desenvolvidos no âmbito do ensino, pesquisa e extensão, mas o foco é buscar estabelecer pontes com a comunidade e criar objetos que contribuam para o desenvolvimento social. Paulo comenta sobre como foi fundamental trabalhar no

setor industrial da construção e com pré-fabricação como um processo anterior para entender novas tecnologias para o setor, "uma decorrência da própria evolução da arquitetura industrializada" (FONSECA DE CAMPOS, 2020), como partes de uma mesma trajetória profissional. Com a ideia de criar um centro de prototipagem rápida na USP, mantiveram contato com o IAAC e o Fab Lab Barcelona, a fim de obter conhecimentos mais específicos sobre possíveis modelos de implantação. Com o início das atividades, também se formou o grupo de pesquisa Tecnologias Digitais para produção de Design e Arquitetura Contemporâneos, e com a chegada das primeiras máquinas, foi realizado o primeiro Seminário Internacional Fab Lab SP.

De acordo com Paulo, "o nosso caminho na FAU foi primeiro democratizar o acesso à tecnologia, e não incentivar a especulação sobre a tecnologia [...] para tirar proveito pessoal" (FONSECA DE CAMPOS, 2020), e aponta a importância do laboratório em fomentar outros espaços e difundir em outros profissionais alguns interesses similares. Essa abertura para estudantes, pesquisadores de várias áreas e tarefas de extensão permite que os artefatos fabricados englobem uma ampla gama de elementos, já que o Fab Lab SP é, nas palavras de Paulo, um laboratório didático, que exerce pesquisa experimental, além da contribuição fundamental em ministrar disciplinas em que pessoas de diferentes áreas podem contribuir e criar um caráter transdisciplinar. A estratégia de trabalho, para ele, envolve considerar que "o encanto nessa história toda [sobre a trabalhar com FD] é fazer uma opção consciente por uma determinada tecnologia, porque ela vai responder um problema que está na sua mão" (FONSECA DE CAMPOS, 2020), indicando que uma produção relevante passa por pensar o desenvolvimento de produtos, ou seja, no que faz sentido pra indústria. Apesar de todas as oportunidades e contribuições obtidas com o Fab Lab, as principais dificuldades encontradas dizem respeito aos recursos financeiros, infraestrutura do laboratório e os materiais utilizados, além disso, Paulo (FONSECA DE CAMPOS, 2020) questiona o quão fundamental é o estabelecimento de políticas de pesquisa para o nosso setor, além da necessidade de sair do discurso para efetivar processos de colaboração pela prática.

A Fábrica Diseño e Innovación foi criada em 2016, na cidade de Buenos Aires, inserida no parque de exposição científica denominado "Tecnópolis", sendo um espaço público financiado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação da Nação (COFECyT). É um laboratório que utiliza o design como método ou fator estrutural para a inovação social, fornecendo soluções e suporte para áreas estratégicas do governo, como educação, saúde e habitação, ou incluindo demandas de empresas e sociedade civil. Logo, funciona como um "programa que está aberto à comunidade, com foco

em ciência, tecnologia e design" (JALKH; PAPASARAGAS, 2019), um local centralizador de demandas e atividades, disseminando serviços, experiências e táticas práticas de design aplicado. Além de oficinas oferecidas para capacitação técnica e de uso do maquinário de fabricação digital, o espaço já foi utilizado para fóruns e mostras dos resultados obtidos ao longo desses anos. Possui uma série de convênios com outros organismos públicos, como Universidades que ministram cursos de design e Institutos de Tecnologia, para que, inclusive, os projetos desenvolvidos possam ser replicados nas distintas províncias, e assim, tenham um impacto em escala nacional. O espaço dispõe de três impressoras 3D, uma cortadora laser e uma fresadora CNC grande, além de contar com equipamento e ferramentas para carpintaria, e produção têxtil. A escala dos artefatos produzidos é pequena ou média. Como resultados, geralmente produzem artefatos relacionados a protótipos de design, objetos híbridos (analógico + digital), objetos pedagógicos, componentes construtivos, objeto de desenvolvimento social e mobiliário.

Segundo as coordenadoras, a maior dificuldade é a obtenção de recursos financeiros para as atividades. A equipe de trabalho atua construindo o processo criativo em colaboração com os usuários em oficinas e projetos sob demanda. De acordo com Heidi Jalkh e Silvina Papasaragas (JALKH; PAPASARAGAS, 2019), coordenadoras das atividades, a partir das demandas de distintos atores, organiza-se uma agenda de trabalho, estabelecendo-se uma "sociedade" pela qual são definidas as etapas de processo, investigação, desenvolvimento, prototipagem e validação no território. Isso acontece por meio de projetos, em que se mapeiam os atores envolvidos em cada região do país a fim de se trabalhar colaborativamente. Para elas, "o que leva mais tempo é articular e questionar para que o projeto possa se validar no território e se replicar em todo o país" (JALKH; PAPASARAGAS, 2019). Nas atividades, as tecnologias de fabricação digital são utilizadas como suporte para o refinamento dos projetos, não necessariamente sendo para a manufatura dos objetos finais. O laboratório busca certa lógica de coerência com o desenvolvimento de projetos, ao dar continuidade aqueles que alcançam um certo fim e aqueles que ocorrem por meio de cocriação, ou seja, "criar um compromisso e uma responsabilidade que os motive". Para elas, é fundamental "trabalhar entendendo os problemas e as necessidades da comunidade com a qual trabalhamos, tentando não impor soluções, mas construí-las em colaboração com os usuários, tornando-os parte do processo criativo e de avaliação" (JALKH; PAPASARAGAS, 2019).

O Fab Lab Livre SP, criado em 2015, na cidade de São Paulo, é uma rede de

laboratórios descentralizada que conta com 12 unidades espalhadas pelo município. Todos os espaços são públicos e financiados pela Prefeitura Municipal da Cidade de São Paulo, funcionando por meio de um vínculo misto com uma OSCIP (organização da sociedade civil de interesse público), em que a gestão dos serviços oferecidos acontece em colaboração com uma empresa privada, a ITS Brasil. Alguns dos antigos "Telecentros" – instalações públicas de uso gratuito de computadores e acesso à internet – foram transformados nos laboratórios, além de sua inserção em salas de espaços culturais na cidade. Assim, a formação anterior, focada na inclusão digital, migrou para os novos modos de fabricar, por meio de uma decisão de política pública para fomentar o tema da inovação social. Os laboratórios são espaços abertos para aprendizagem, criação e desenvolvimento de projetos com suporte da equipe. Para além dos cursos de curta duração e oficinas, há o foco na elaboração de projetos em empreendedorismo, educação e propostas para a comunidade, além de residências com profissionais. Nesses processos, "têm surgido muitos parceiros que também querem desenvolver projetos com Fab Lab, muitas vezes são projetos realmente de desenvolvimento de produtos mas também muita coisa relacionada à educação, parceiros que querem dar aula" (WU, 2018).

Os espaços são categorizados por laboratório "grande" e "pequeno", com diferença na distribuição de equipamentos. No primeiro, há três impressoras 3D, uma cortadora laser e fresadora CNC (uma mini e outra grande); no segundo, há duas impressoras 3D, uma cortadora laser e uma fresadora CNC grande; além de ferramentas para carpintaria, eletrônica e produção têxtil. A escala dos artefatos produzidos é pequena e média. Como resultados, geralmente produzem artefatos relacionados a modelos arquitetônicos, protótipos de design, objetos pedagógicos, mobiliário, e objetos de representação histórica. Segundo os coordenadores, a maior dificuldade de operação é a infraestrutura limitada dos laboratórios. Mesmo assim, as unidades podem ser consideradas espaços receptivos às demandas externas e para estabelecer vínculos entre as tecnologias e a sociedade civil. Segundo Rita Wu (2018), na implantação do projeto Fab Lab, foram priorizadas regiões onde havia pouco acesso aos equipamentos, mas um potencial de uso e organização latente, com foco na territorialização desses espaços, e que contribuíssem para fomentar o desenvolvimento de projetos específicos pelas comunidades com as tecnologias de fabricação. Além disso, segundo ela (WU, 2018), a articulação com a Secretaria da Cultura e a Secretaria da Educação foram fundamentais e, ao contrário das atividades iniciais que estavam muito baseadas em projetos pessoais, atualmente há um maior incentivo para parcerias e projetos orientados. Para eles, é fundamental "que a construção dos projetos sejam realizados de forma colaborativa, onde quem sabe ensina os outros para que o conhecimento

se multiplique". De acordo com Wu (2018), sentem a necessidade de estender alguns vínculos, principalmente com instituições de pesquisa, para que sejam desenvolvidos nos espaços projetos colaborativos a longo prazo.

Criado em 2016, na cidade de Medellín, o Exploratorio: taller público de experimentación, coordenado por Camilo Cantor, Sebastián González, Esteban Betancur, e Luis Alcaraz, integra o conjunto de equipamentos e infraestrutura urbana denominado "Parque Explora", que impacta de forma expressiva na zona norte do município. Consiste em um espaço público, parte de um plano municipal financiado pela Secretaria de Desenvolvimento Econômico da Prefeitura de Medellín, em conjunto com o Parque Explora e outros órgãos governamentais de fomento à inovação, e que busca captar complementarmente recursos privados. O laboratório é um local aberto e acessível, com oficinas e suporte para acolher demandas das comunidades e trabalhar em colaboração com agentes locais na produção, além de abrigar exibições e eventos multimídia. Suas atividades distribuem-se em uma ampla gama de categorias, com formação, grupos de trabalho fixos, residências artísticas e eventos culturais. Apesar disso, o seu objetivo é, segundo Camilo Cantor (2019), a apropriação, ou seja, "tornar concreta a ideia do laboratório como possibilidade criativa, saltar do exercício de formação para gerar processos de laboratório e criação de coisas". Antes de seu estabelecimento no local, o projeto foi gestado por meio de laboratórios de experimentação nos territórios de comunidades periféricas da cidade. O espaço conta com uma impressora 3D, uma cortadora laser e uma fresadora CNC grande, além de ferramentas para carpintaria e eletrônicos, produção têxtil e audiovisual. A escala dos artefatos produzidos é pequena ou média. Como resultados, geralmente produzem artefatos relacionados a modelos arquitetônicos, modelos artísticos, protótipos de design, objeto híbrido (analógico + digital), componentes de construção, objeto para desenvolvimento social, superfícies, móveis, componentes para máquinas.

Segundo os coordenadores, a maior dificuldade encontrada é a obtenção de recursos financeiros e de materiais a serem utilizados. Apesar disso, seu modo de funcionamento busca agregar múltiplas atividades e usos do espaço, buscando engajar a participação da comunidade em diferentes níveis de ações. De acordo com Cantor (2019), a própria ideia apropriada de laboratório, a partir de experiências culturais situadas, é ser um facilitador, não algo fechado em um espaço, mas a síntese mesma do bairro, um "território-laboratório", em que "estamos começando a abrir a fronteira, o laboratório tem que ir mais 'para lá'". Nele, a inovação emerge, historicamente, a partir das necessidades da população, em que se empregam táticas de hacking eletrônico

e gambiarras. Estabelecem o que chamam de "tecidos de confiança" com coletivos e instituições, desenvolvendo trabalhos conjuntos e gerando um intercâmbio refletido no resultado da produção, resultando numa "sustentabilidade coletiva" (CANTOR, 2019). Uma das maiores dificuldades foi estabelecer um equilíbrio de atividades, em que, ao longo do tempo, determinaram por ser menos oficinas e mais processos. Para Cantor (20190, "os laboratórios e estes tipos de espaços são um pouco incompreensíveis", por isso, consideram que as práticas colaborativas consistem "em estar disposto a ouvir as necessidades e práticas da comunidade na hora de propor soluções, em vez de impô-las, trata-se de privilegiar uma lógica endógena da criação".

3) Formação técnica e prototipagem para processos industriais: DILAB UC (Chile); Centro de innovacion UC (Chile); Fab Lab ESAN (Peru); CETAM (Peru); LIFELAB (Brasil); CADEP (Brasil); Fab Lab Facens (Brasil); Rhinofabstudio UPB (Colômbia).

O FabLab Centro de Innovación UC (Chile) é um dos espaços criados dentro do grande complexo de inovação e empreendedorismo na Pontificia Universidad Católica de Chile, em 2015, coordenado por Catalina Cortazar, Gabriela García, Giorgio Frederich. Segundo informações próprias, é um laboratório-oficina que propicia a prototipagem e a manufatura de artefatos utilizando tanto ferramentas convencionais quanto de fabricação digital, aberto a empresas, empresários, acadêmicos e estudantes. O centro se propõe a ser um local de encontros, criação de redes e promoção de projetos conjuntos entre a academia, o setor privado e o setor público. Sendo assim, promove a integração entre atividades de investigação, ensino e transferência tecnológica, tanto para incubar projetos quanto para oferecer suporte de conhecimento a agentes externos à universidade, erguido por meio de aportes privados de sócios-fundadores e doações, atualmente, com um modelo de autofinanciamento. Para isso, além do FabLab, o complexo conta com espaços de coworking, auditórios, salas de reunião, centros de investigação dedicados a temas específicos e de inovação. O espaço do FabLab conta com 5 impressoras 3D desktop e uma impressora SLS de resina, uma cortadora laser, uma pequena fresadora CNC/scanner 3d, uma fresadora CNC de 3 eixos, uma fresadora CNC de 5 eixos, uma plotter de corte, e outras ferramentas manuais. Eles oferecem os serviços pagos por meio de planos mensais e de uso individual do maquinário, dependentes, portanto, de que as ideias e os projetos sejam levados até o espaço e nele desenvolvidos, seja parcialmente ou integralmente.

O Laboratório de Inovação e Fabricação Digital da Escola de Engenharia (LIFELAB)

foi criado com uma proposta de centralizar, em um único espaço, maquinário e atividades de diversos departamentos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), em 2015. Inclusive, o SimmLab, incluído na pesquisa inicialmente, acabou sendo incorporado no laboratório. O laboratório conta com financiamento público e fornece suporte à pesquisa básica e ao desenvolvimento de novos produtos, processos e serviços, convergindo pesquisadores oriundos de diferentes Programas de Pós-Graduação, como Engenharia de Produção (PPGEP); Engenharia Civil (PPGEC); Design (PGDesign); Arquitetura (PROPAR) e Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGE3M). Desse modo, o objetivo é de tentar integrar conhecimentos, habilidades e competências que tendem a ocorrer de modo disperso na Universidade. Segundo Fabio Pinto da Silva (SILVA, 2018), um dos coordenadores, a partir de uma primeira proposta de conceber o laboratório dentro de um parque tecnológico que seria construído, a proposta teve a iniciativa dos coordenadores da Engenharia de Produção que, após conversas com os distintos coordenadores de pesquisa, decidiram agregar os diferentes grupos e montar um laboratório único. "Na estrutura da universidade, a pesquisa está no professor, então, o que acaba acontecendo é que a pesquisa não está pontualmente no laboratório, ela acontece aqui, embora não seja uma atribuição do laboratório" (SILVA, 2018).

Em um espaço de trabalho limitado, contam com 4 impressoras 3D SLS de pó, PolyJet e FDM, duas cortadoras laser, uma fresadora CNC de grande porte, e equipamentos auxiliares de acabamento das peças. O foco do laboratório concentra-se no uso da prototipagem nas fases iniciais de projetos, estando aberto a todos os públicos, atendendo, principalmente, "ensino, pesquisa e extensão, inclusive as empresas incubadas na UFRGS e empresas externas, ou até um pequeno inventor individual" (SILVA, 2018). As demandas partem dos projetos desenvolvidos internamente às escolas, assim, geralmente, produzem artefatos como modelos arquitetônicos, protótipos de design, objetos pedagógicos, componentes construtivos, mobiliário, componentes para máquinas, e objetos de representação histórica, em pequena e média escala. Para eles, as principais limitações são a obtenção de recursos financeiros, o conhecimento técnico dos profissionais envolvidos e a obtenção de materiais para serem utilizados nas pesquisas. Já que não existe uma dotação orçamentária para dar conta da compra de materiais e manutenção das máquinas, acabam por repassar alguns custos aos usuários. Fabio acredita que parcerias por parte das universidades sejam fundamentais para o desenvolvimento tecnológico, tanto para a absorção de tecnologias de outras áreas quanto na vinculação com startups e empresas para o desenvolvimento e comercialização dos produtos, além da universidade poder oferecer suporte e assessoria com a expertise multidisciplinar.

O Rhinofabstudio foi estabelecido na Universidad Pontificia Bolivariana (UPB) em 2010, comandado por Jose Ovidio Cardona Osorio, começando as atividades relacionadas com a fabricação digital em 2011. Ele é um espaço com o objetivo de formação profissional para a área de processos de design industrial diretamente financiado pela empresa Rhino 3d Colombia, instalado por meio de um convênio dentro da UPB. Segundo Jose Ovidio (OSORIO, 2019), desde que iniciaram, já foram realizadas várias atualizações de maquinário, o laboratório foi instalado para fornecer conhecimentos práticos aos estudantes e, assim, para que soubessem manusear as máquinas, tanto para o trabalho acadêmico, quanto para a prática profissional. Eles atendem estudantes dos cursos de arquitetura, design industrial, engenharias, e outros interessados que vêm acompanhar as disciplinas eletivas. Além de computadores para as aulas com modelagem, o laboratório conta com 2 impressoras 3D FDM e uma de resina, 3 cortadoras laser, uma fresadora CNC e outros equipamentos como escâneres ópticos, em um espaço de trabalho limitado. A partir das atividades de ensino de software e workshops, geralmente produzem artefatos como modelos arquitetônicos, modelos artísticos, protótipos de design, objetos pedagógicos, componentes arquitetônicos, superfícies, mobiliário e componentes para máquinas, em pequena e média escalas, além de fornecerem serviços para demandas de produção de protótipos de investigação interna da universidade. Para Jose Ovidio, "o mais exitoso é que os estudantes estejam em contato com as máquinas [...] já temos os equipamentos, com os workshops sendo trabalhados, os estudantes podem vir e ver o que se está fazendo ao mesmo tempo [...] trabalhar com o software e poder materializar é o mais efetivo" (OSORIO, 2019).

O Centro de Tecnologías Avanzadas de Manufactura (CETAM) da Pontificia Universidad Católica del Perú foi fundado em 2000, mas aos poucos, foi adquirindo maquinário digital robótico e ampliando a gama de máquinas de manufatura industrial à disposição, até incluir sistemas robóticos. O laboratório é um espaço que conta com financiamento misto, de fomento privado e do governo, coordenado por Michel Sigüenza e pelo diretor Francisco Cuéllar. Recentemente, passou a expandir o trabalho com automatização da linha de produção industrial para incluir investigações relacionadas aos cursos e temas do design industrial, da arquitetura e da construção. O seu objetivo principal é a formação de profissionais capacitados a trabalharem com as tecnologias de manufatura avançada no setor industrial, oferecer serviços de consultoria e fomentar um ecossistema de trabalho multidisciplinar. Oferecem uma série de cursos de capacitação para o uso do maquinário presente na infraestrutura do centro, além de cursos e especializações ligadas a metodologias de produção. O espaço conta com uma impressora 3D desktop, duas máquinas fresadoras CNC de

5 eixos com transportador linear, um braço robótico industrial e um robô Baxter, além de outras estações com sistemas automatizados. Como resultados, geralmente produzem artefatos como modelos arquitetônicos, protótipos de design, objeto para desenvolvimento social e componentes para máquinas, no desenvolvimento de projetos e produtos que, inclusive, têm se desdobrado na geração de patentes. Segundo eles, um marco foi a realização do Architectural Association Visiting School, em 2017, no qual foi introduzido o braço robótico para a criação de protótipos de projeto, que voltou a se repetir em 2019, com outro workshop que utilizou o robô para a impressão 3D de protótipos construtivos. Para eles, as principais dificuldades são a obtenção de recursos financeiros e a limitação da infraestrutura do laboratório.

4) Criações conceituais, artísticas e tecnológicas pelo método de design: Estudio Guto Requena (Brasil); FabHaus UC (Chile); NEXT (Brasil); Pronto 3D (Brasil); Fab Lab UAI (Chile); Campus Creativo (Chile); Sagui Lab (Brasil); Aconcagua FabLab (Chile); Fab Lab Concepción (Chile); Fablab U. de Chile (Chile); MDPI – Maestría en diseño de procesos innovativos (Argentina); +ID Lab (Argentina).

O Estudio Guto Requena é um escritório de projetos de arquitetura, arte e design de objetos que foi fundado pelo arquiteto e designer homônimo, na cidade de São Paulo, em 2010. O interesse pelas mídias digitais e tecnologias de fabricação foi fruto de pesquisas realizadas no mestrado, desenvolvendo e continuando a aplicar ideias vinculadas à cibercultura, do remix de objetos e de compartilhamento da autoria. Os projetos envolvem, com frequência, o uso de sensores, tecnologias interativas físicas e interação digital que, além das ferramentas de fabricação digital, o que acaba por envolver, paralelamente, um trabalho artesanal. Integra em seus processos criativos relações com memória, experiências pessoais e narrativas que se desdobram pelos meios digitais de programação e parametrização em resultados materiais nos quais, diz Guto, "estou interessado em uma investigação que precisa apontar caminhos para que eu tenha um resultado funcional, além do estético" (SEDREZ, 2018, p. 214). Utiliza, frequentemente, equipamentos de terceiros por não possui-los no escritório, atendendo demandas privadas e experimentos formais particulares ou em trabalhos colaborativos, para fabricar protótipos de Design, objetos híbridos (analógico+digital), mobiliário e instalações artísticas.

Segundo Guto, ao sugerir conteúdos para os projetos dos objetos, acabam procedendo por meio de uma investigação experimental ao escolherem determinadas

tecnologias para contribuírem na materialização de cada um deles, inclusive, adaptando algumas peças para serem cortadas em madeira com fresadora CNC ou impressas 3D em FDM, em parceria com outras empresas para a produção, como versões do banco Samba e a da cadeira Noize (SEDREZ, 2018, p. 217). Para ele, o acesso a essas tecnologias não deveria permanecer restrita ao nível profissional, sendo fundamental "ter esse contato com a tecnologia, que o ensino dessas ferramentas seja acessível para todo mundo, que seja uma política pública" (SEDREZ, 2018, p. 218). As dificuldades encontradas pelo estúdio na materialização dos artefatos são a obtenção de recursos financeiros e os materiais utilizados, além de apontar que é difícil comercializar os seus projetos e de acessar maquinário para produzir em escala real (SEDREZ, 2018, p. 217-218).

O Pronto 3D foi criado por Luiz Salomão Rimas Gomez e Regiane Trevisan Pupo na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), em 2013, após o seu período de doutoramento e pós-doutoramento no exterior, em contato com referências no uso das tecnologias, como Gabriela Celani e Jose Pinto Duarte. O laboratório foi instalado com financiamento público do FINEP e da FAPESC e, a partir da demanda das agências, aconteceu no formato de uma rede que possui polos nas cidades de Florianópolis, Criciúma, Lages e Chapecó, em Santa Catarina. Todos estão localizados em universidades das regiões e contemplam o atendimento de cursos de graduação, pós-graduação, e da comunidade não acadêmica. Segundo Regiane Pupo (PUPO, 2018), para executar esse grande projeto, dedicou-se a realizar palestras pelo estado divulgando as tecnologias, especificar os equipamentos para aquisição, treinar os profissionais, e com a condição de que cada uma das Universidades contempladas com os laboratórios da rede utilizassem a fabricação digital no ensino, na pesquisa e na extensão. Em 2016, a unidade de Florianópolis foi credenciada como Fab Lab da rede MIT. Em sua unidade principal, contam com quatro impressoras 3D, uma cortadora laser, e duas fresadoras CNC, além de outros equipamentos. As atividades no laboratório acontecem com base transdisciplinar, convergindo estudantes e pesquisadores do design, arquitetura e das engenharias, organizados em torno do grupo de pesquisa denominado "multidesign". Segundo Pupo (2018), no laboratório, ao receberem demandas de produção de instituições científicas, culturais e da sociedade civil, os resultados surgem da interação entre os estudantes, já no ensino, as dinâmicas acontecem por disciplina, "tenho disciplinas de fabricação digital, prototipagem, materialização e ambientação, tanto na graduação do design quanto na pós da arquitetura, e elas são ministradas aqui dentro".

Como resultados, oriundos das disciplinas, geralmente produzem artefatos como

modelos arquitetônicos, protótipos de design, objetos híbridos (analógico+digital), objetos pedagógicos, componentes construtivos, componentes arquitetônicos, objetos para desenvolvimento social, mobiliário e objetos de representação histórica, nas mais variadas escalas. Em relação à extensão, promovem cursos com a comunidade, visitas, atividades com crianças, oficinas de inclusão no laboratório, organizadas por faixa etária: Pronto Kids, Pronto Teen, Pronto Senior, e o de inclusão, o Pronto Social. Além deles, conduzem o programa Pronto Móvel, com a finalidade de disseminar a cultura maker, que de acordo com Pupo, "a gente faz um trabalho que é quase de catequização [...] a gente vai às escolas, quando não podem vir aqui [...] levamos todas as tecnologias que a temos em tamanho menor" (PUPO, 2018). As principais dificuldades encontradas na materialização dos artefatos são a obtenção de recursos financeiros e mais apoio profissional da Instituição, além de perceberem a necessidade de "sair dos muros da universidade e entrar na indústria" (PUPO, 2018). Apesar disso, entende que o trabalho é de persistência, e que isso já evoluiu bastante, "graças a professores, pesquisadores, nós que trouxemos isso de fora.. nós que acreditamos que esses laboratórios são importantes, nós que acreditamos que inserir isso no ensino e na sala de aula, junto com projeto, valeria a pena" (PUPO, 2018), e que tudo isso tem colaborado, mas ainda há um longo caminho a se percorrer, no qual, novas coisas vão acontecendo. Também aponta que, por se tratar de um assunto relativamente novo, ainda, os estímulos são importantes para a compreensão e das decisões assertivas quanto ao uso das tecnologias envolvidas na FD para diversas aplicações projetuais.

O Fablab U. de Chile foi estabelecido na Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas da Universidad de Chile, por Juan Cristóbal Zagal, Danisa Peric e Víctor Contreras Rojas. As atividades relacionadas ao uso das tecnologias de fabricação digital já iniciaram em 2014, sendo formalmente inaugurado em 2015, baseado em uma instituição pública funcionando por meio de fonte de financiamento misto. A proposta do laboratório nasceu de um grupo de alunos e de um professor de Engenharia Mecânica, projetando e fabricando máquinas CNC próprias. O FabLab oferece atividades de formação, produção e difusão, apoiando o desenvolvimento de projetos por meio de trabalhos em equipes multidisciplinares, oficinas e programas. As oficinas englobam desde a introdução ao uso da fabricação digital até oficinas avançadas, incluindo metodologias de projeto. O Fablab promove programas de residência, que apoiam profissionais com projetos de base científico-tecnológica, durante o período de 6 meses, que estejam em fase experimental ou de pesquisa, o programa Hardware Startups, que apoia empreendimentos de base científica e tecnológica que avancem de protótipos a produtos, sistemas ou serviços, em até 18 meses, além de colaborações com pesquisadores em projetos de pesquisa e desenvolvimento com impacto socioambiental.

Possuem um espaço amplo de laboratório, disponibilizando abertamente o uso dos equipamentos para a comunidade universitária e para o público externo, por meio da participação nas oficinas ou nos programas, contando com 4 Routers CNC, 6 Impressoras 3D, Plotter de corte, Escâner 3D, além de ferramentas elétricas e eletrônicas. Os projetos desenvolvidos, e disponibilizados no website, estão baseados na proposta de produtos, equipamentos e máquinas, além da composição de materiais, focados em problemáticas locais, resultando na produção de artefatos como protótipos de design, objetos híbridos (analógico + digital), objetos pedagógicos, componentes construtivos, objetos de desenvolvimento social, mobiliário, componentes para máquinas, objetos de representação histórica e artefatos para reparo. Para eles, a maior dificuldade no processo de produção é a obtenção de recursos financeiros, contando também com o desafio de construir relações de confiança com o público local, acreditando no mote da rede Fab Lab para alcançar o objetivo de capacitar e empoderar as pessoas por meio da tecnologia.

O NEXT – Núcleo de Experimentação Tridimensional, criado por volta de 2011, é coordenado por Jorge Lopes dos Santos e Claudio Freitas de Magalhães como um laboratório de pesquisa integrado do Departamento de Artes e Design – DAD –, da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-Rio. O NEXT desenvolve pesquisas em processos de design experimentais por meio da simulação e modelagem tridimensional física e virtual. As atividades do laboratório envolvem as áreas de visualização tridimensional interativa, tecnologias de obtenção e tratamento de superfície 3D, interação háptica, e tecnologias não invasivas de obtenção de imagens. Para isso, utiliza e elabora diversas tecnologias para visualização e materialização 3D: escaneamento digital tridimensional, tomografia, fabricação digital (tecnologias como impressão aditiva em metal, em plásticos ou outros materiais, sistemas CNC, braço robótico e plotter de corte ou corte laser), assim como outras tecnologias de apoio à simulação. Para além do suporte em atividades de ensino no nível de graduação, são realizadas pesquisas em nível de mestrado e doutorado, assim como são oferecidos serviços associados às metodologias de Design Estratégico e novas tecnologias, em áreas como a medicina, a museologia, e o design de objetos, abarcando propostas conceituais, simulações de processos, experimentações de uso, digitalização tridimensional, manufatura subtrativa e aditiva.

O FabHaus UC foi criado em 2014, um laboratório instalado em um novo edifício da Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos da Pontificia Universidad Católica do Chile, no campus “Lo Contador”, em Santiago. Coordenado por Tomas

Vivanco Larraín, ele se tornou uma extensão do já estabelecido Laboratorio de Modelos y Prototipos (LAB-FADEU), a fim de consolidar a área de tecnologias digitais, que estava um pouco insipiente nas suas aplicações na faculdade, atendendo atividades de ensino dirigidas e práticas convergindo os cursos de design e de arquitetura. O laboratório costuma oferecer oficinas para capacitação técnica e de uso do maquinário de fabricação digital, cursos de formação profissional, além de um local privilegiado para o desenvolvimento dos protótipos projetados nas disciplinas ministradas pelos professores ligados ao laboratório. O espaço conta com duas impressoras 3D desktop e uma SLS de pó, duas cortadoras laser, uma termoformadora, uma pequena router CNC de mesa, e compartilha o uso das fresadoras CNC disponíveis no LAB-FADEU, além de componentes eletrônicos. Como resultados, geralmente produzem artefatos como objetos de design, modelos arquitetônicos, protótipos, mobiliário, objetos artísticos, mobiliário, objeto híbrido (analógico + digital). A experiência de aprendizado do coordenador no Fab Lab Barcelona e no Fab Academy o motivou a traduzir certas práticas para os cursos ministrados. As atividades nas disciplinas são desenvolvidas por meio de projetos de investigação baseados em propostas preestabelecidas que guiam os alunos para a criação de protótipos especulativos e sistemas que permitam produzir novos objetos.

Segundo Vivanco, "entendendo que o design está em tudo, [...] decidimos tentar sistematizar essa lógica e criar uma linguagem nova entre o analógico e o digital, ao menos, algo próprio" (LARRAÍN, 2017). Essa estratégia exploratória se desdobra nos ateliers de projeto, em conjunto com as pesquisas formais, durante 3 semestres, que reúnem estudantes de arquitetura e de design, podendo agregar professores de outras áreas, a fim de aprofundar os temas, adquirir expertise técnica e avançar nos projetos. Para ele, três eixos estratégicos para a investigação são a fabricação digital em grande escala, de grandes estruturas, a fabricação digital aliada ao tema da saúde, e o terceiro é a bio-fabricação digital. Vivanco entende que os elementos diferenciadores para o crescimento de qualquer laboratório são as capacidades dos professores, e que a oportunidade trazida por um Fab Lab significa abrir um novo campo de trabalho em que os resultados são produtos da situação dos alunos ao se integrarem a ele, mesmo sem nenhuma ideia inicial, mas trazendo o seu contexto material para construir relações com algum objeto. De acordo com ele, há um diferencial de se considerar os tipos de espaços, em que os "Fab Labs nas Universidades têm que apontar o tipo de projeto que forma pessoas por meio de um pensamento crítico, metodologia e para desenvolver novas habilidades [...] os Fab Labs fora da Universidade são os espaços para que cheguem os empreendimentos" (LARRAÍN, 2017). Para Vivanco, o maior desafio é "entender que as tecnologias são um meio, e não um fim, e [...] que a partir

da academia, tem que haver uma proposta mais ampla relacionada à investigação de distintas áreas" (LARRAÍN, 2017).

5) Fabricação industrializada de componentes: Frontis 3D (Colômbia); Dante Tisi (Argentina).

O Frontis 3D é um escritório/empresa criado por Rodrigo Velasco, que se dedica, desde 2012, a projetar elementos arquitetônicos complexos, e que sejam customizados de acordo com condições ambientais da edificação. O processo envolve, por meio do design computacional e da programação, intensa dedicação à simulação e análise de fatores para a geração de variações em fachadas, automação dos processos de produção e adaptação estrutural em colaboração com engenheiros (civis e mecânicos). O arquiteto começou trabalhando nesse tema por meio do interesse com fachadas de plástico reforçado, mas reconhecia a dificuldade de criar um negócio pequeno e a necessidade de gerar moldes para as peças. Juntando-se a outros colegas do grupo de investigação da Universidade, um deles com uma fábrica, somando o trabalho com controle de software paramétricos e processos de otimização, aos poucos, perceberam que trabalhar com a indústria metal-mecânica para gerar o mesmo tipo de elemento seria mais facilitado e acarretaria em custos de produção menores. Desse modo, possuem unicamente uma impressora 3d para a geração de protótipos, porque terceirizam o uso de equipamentos industriais com uma empresa de manufatura – praticamente trabalhando em sociedade –, para a fabricação dos elementos construtivos na escala 1:1, o que envolve dobras, cortes e perfurações em chapas de materiais metálicos, compósitos, e incluindo madeira para os painéis customizados. Desenvolvem os projetos baseados em demandas particulares de clientes que, de acordo com Velasco, "há alguns mais flexíveis acerca da proposição de ideias para o projeto e outros que já estão com uma ideia mais certeira do que querem produzir, mas todos com orçamentos reduzidos" (VELASCO, 2019).

Alguns desses resultados têm recebido, inclusive, prêmios de inovação que contribuíram para colocá-los no "mapa" da construção regional, mas também, desenvolvem experimentos de projetos de sistemas formais para fachadas e interiores que geram protótipos testados pelo próprio escritório. Os projetos têm sido executados em Bogotá e na região, com uma pequena capacidade técnica, são capazes de gerar desde projetos pequenos até para grandes construções. Uma das principais dificuldades encontradas pelo caminho foi que ao mercado da construção local não importava

um produto que resultava de um trabalho de otimização avançada, porque, segundo Velasco, "os processos de otimização de simulação de projeto que desenvolvemos não são comuns no ambiente local", não oferecendo vantagens perceptíveis a curto e médio prazo (VELASCO, 2019). Outras dificuldades dizem respeito a se encontrar num ponto de competição entre multinacionais, que produzem painéis pré-fabricados para fachadas, e escritórios menores, que executam cópias ou similares de seus projetos, mas com processos menos otimizados e customizados. Além disso, caberia ter acesso a outros processos de fabricação para acessar máquinas e manufaturar outros materiais, obter mais recursos e investimentos, e avançar na infraestrutura de produção industrial. Como arquitetos, "lhes interessa propor que façam algo especial e um pouco mais eficiente, também, construtivamente, porque não basta fazer muitas propostas que não chegam à realidade" (VELASCO, 2019), pois, independente de alguns desejos projetuais, ainda se encontram condicionados a algumas exigências de mercado. Entre os fatores que levam à implantação de propostas de trabalho similares na região, segundo Velasco, em parte, inclui certo "modismo" arquitetônico, beneficiado por uma capacidade ociosa da indústria de contêineres e de petróleo, assim invertendo parte de seus esforços para a construção.

6) Integração entre ensino formal e pesquisa em arquitetura: CID (Argentina); UrdirLab (Argentina); Lapac (Brasil); LabFabMVD (Uruguai); LDFC (Brasil); Fab Lab Unal (Colômbia); LM+P (Brasil); LED (Brasil); algo+ritmo (Brasil), Fab Lab UNI (Peru); DGI-UBB (Chile); Area Computacional (Chile); Labomat (Chile); Fab Lab Universitario CIDI (Paraguai); NÓ.Lab (Brasil); FAB ARQ PMO (Chile); Fab Lab UTPL (Equador).

O Laboratório de Modelos e Prototipagem (LM+P) foi criado em 2012, na Universidade Federal da Paraíba (UFPB), por Germana Rocha, Aristóteles Cordeiro, Natália Queiroz e Carlos Nome, entre outros colaboradores. A trajetória começou com base na desmontagem de um laboratório de maquetes que existia, e o espaço foi apropriado para se avançar em direção a um laboratório de modelos e prototipagem, e suas atividades correlatas. O laboratório possui 1 impressora 3D, 1 cortadora laser e 2 fresadoras CNC adquiridas recentemente, além de outras ferramentas para a produção, assim, por vezes, utilizam equipamentos de terceiros para realizar seus projetos. Apoiados no uso do design computacional e do BIM, desenvolvem atividades no âmbito do ensino, pesquisa e extensão, em experimentos técnicos, formais e materiais, geralmente produzem artefatos como modelos arquitetônicos, artísticos, protótipos de design, objetos pedagógicos, componentes construtivos, mobiliário, superfícies e artefatos para reparo. Carlos Nome comenta que o aprimoramento das atividades na

UFPB seguiram de discussões sobre o uso do digital em projetos iniciadas na sua função anterior na UFRN e o laboratório de modelagem que criaram lá, "essa raiz realmente foi o que norteou as discussões aqui dentro" (NOME; DE QUEIROZ NOME, 2020). O trabalho do laboratório sempre integrou atividades em disciplinas de graduação e na extensão, como indica Natália, "a integração dos alunos com a parte de modelagem algorítmica e com a impressão 3D, por exemplo, foi com as minhas disciplinas, isso era 2014/2015".

As dificuldades encontradas pelo laboratório na criação dos artefatos são o acesso a recursos financeiros, o apoio profissional da Instituição, e as limitações na infraestrutura do laboratório. De acordo com Nome, o projeto chamado Casa Nordeste, desde o início, foi central para "experimentar com diferentes processos que a gente já tinha domínio, e novos que a gente começou a aprender depois" (NOME; DE QUEIROZ NOME, 2020). A casa é um projeto guarda-chuva, que envolve pesquisas de materiais distintos para os componentes da construção e que evoluiu ao longo do tempo, vinculando alunos para se pensar contextualmente questões relacionadas ao trânsito entre o modelo digital e o físico, "porque é um pouco dessa questão de conter ansiedades, o pessoal é muito rápido em encontrar resultados geométricos sem ter uma compreensão real do impacto disso na prática profissional [...], e o que a gente tem que fazer, de fato, é trazer esse componente teórico para dentro do ateliê, na forma de novas perguntas, então, na hora que a gente encontra as perguntas corretas em termos de desenvolvimento projetual, a gente tem conseguido melhores resultados, e aí, a Casa Nordeste, pra mim, foi um dos melhores laboratórios para refinar o ateliê de projeto..." (NOME; DE QUEIROZ NOME, 2020). Além do projeto guarda-chuva, identificam empresas e laboratórios parceiros na região Nordeste para colaboração, parcerias com a UFRN, UFPE, e o Porto Digital. Para eles, os desafios para se estabelecer vínculos com o local são identificar objetivos para o emprego das tecnologias com acesso a recursos, além de compreender o que fazer com a indústria tradicional e com os materiais que são vernáculos.

Compreendem que a integração com o setor da construção pode vir a ocorrer pela lógica da pré fabricação de módulos prontos, investigando novos materiais dentro do contexto climático, mesmo percebendo que a fabricação digital ainda não é tão considerada, devido à falta de maior integração com a indústria. Visualizam as tecnologias de fabricação digital como oportunidade de desenvolvimento de conhecimentos e aprendizados alinhados com os novos rumos da produção arquitetônica global, e "como uma grande oportunidade de trabalhar com baixo custo para um contexto que

é o nosso" (NOME; DE QUEIROZ NOME, 2020). A visão em relação aos processos está nas definições de subproblemas de um projeto, de forma a construir uma solução que alcance um desempenho adequado, "um pouco nessa direção de tentar entender desde encaixes, novas formas de fazer encaixes para os diferentes peças, novas tecnologias e resposta ao problema da construção nos trópicos" (NOME; DE QUEIROZ NOME, 2020). Apontam que já há uma série de reverberações que se baseiam em referências de projetos digitais, mas falta estabelecer a conexão sobre como empregar esses meios técnicos com as suas potencialidades.

O Fab Lab Unal foi fundado em 2012, e iniciou suas atividades no ano de 2013, por Juan P. Gutiérrez e Edgar Alonso Meneses Bedoya, instalado na Universidad Nacional de Colombia (UNAL), campus da cidade de Medellin. A história do laboratório iniciou a partir da aquisição do primeiro equipamento, pelo coordenador, em uma convocatória de recursos da universidade. Segundo Juan (GUTIÉRREZ, 2019), o laboratório se interessou pelo modelo Fab Lab devido à sua "filosofia" e por conseguirem formatá-lo com máquinas mais simples, que coubessem no orçamento, além disso, alguns estudantes que colaboraram no seu início pesquisaram sobre o tema e tinham algum contato com o IAAC. O laboratório possui 3 impressora 3D FDM e 1 de resina, 1 cortadora laser grande e 2 pequenas, 2 fresadoras CNC grandes, uma termo formadora, além de outras ferramentas de marcenaria. O espaço foi constituído dentro da faculdade de arquitetura, atendendo diretamente aos 3 cursos, que são arquitetura, artes e construção, mas também outros cursos, assim, "o acesso aqui é democrático, podem chegar também de outras faculdades e outros docentes" (GUTIÉRREZ, 2019). Os trabalhos são desenvolvidas sob os três eixos de atuação da universidade: com atividades docentes, disciplinas eletivas, e condução de processos formativos de outros cursos da universidade; na pesquisa, com iniciação científica e projetos de docência de professores; e na extensão, expandindo esse cenário a outras comunidades e tentando estabelecer vínculos com empresas, que às vezes financiam atividades. As tarefas e projetos de investigação surgem de proposições internas e, às vezes, docentes conduzem projetos para serem elaborados, "nós, como fab lab, atuamos autonomamente, propomos e participamos de convocatórias", explorando ferramentas em torno da arquitetura e do design interativo, design industrial e mobiliário (GUTIÉRREZ, 2019).

Eles se esforçam para promover a extensão ligada à inovação social, como, por exemplo, em colaboração com a Ruta N e a prefeitura de Medellín, em 2015, quando executaram o projeto "Comuna Innova", que levou às 16 comunas da cidade,

dependendo das necessidades particulares de cada uma, diversos equipamentos urbanos que foram concebidos e implementados com suporte do fab lab. Enfrentam dificuldades em termos de mudança cultural, para se obter maior aceitação dos professores e nas malhas curriculares dos cursos, que não são de tão fácil alteração para absorverem mais práticas com as tecnologias, ao mesmo tempo que o espaço tem oportunizado efetivamente mais acesso dos estudantes para se pensar meios de utilizar as tecnologias para o desenvolvimento de protótipos, "assim, qualquer pessoa pode fazer algo com pouca formação" (GUTIÉRREZ, 2019). Para Juan, as possibilidades de integração com outros setores passa por se aproximar do setor produtivo para "materializar processos que podem adquirir outras dinâmicas dentro do laboratório que não são da indústria tradicional", além de levar atividades até as comunidades da cidade para ativá-las (GUTIÉRREZ, 2019).

O Area Computacional é uma unidade criada em 1997, no departamento de Arquitetura da Universidad Tecnica Federico Santa Maria (UTFSM), coordenada por Marcelo Bernal e Luis Felipe Gonzalez Böhme. Segundo Bernal, essa foi uma atitude pioneira na região, quando a UTFSM "migrou [...] a uma formação muito mais tecnológica digital, associada às inovações do final dos anos de 1990 [...] sintonizou-se por uma vicissitude com as correntes contemporâneas ou de vanguarda da arquitetura [...] quando a Universidade adquiriu seu primeiro laboratório de modelação, equipado com 8 computadores Sylicon Graphics" (BERNAL, 2020). A instituição é de cunho privado, mas também obtêm financiamentos para equipamentos e pesquisas de fundos públicos. A exemplo disso, receberam verba do projeto nacional MECESUP, por volta de 2006, quando adquiriram a primeira fresadora CNC e, posteriormente, seguiram adquirindo outros equipamentos. Bernal comenta que, no início, havia o laboratório Labomat, com ferramentas analógicas tradicionais, mas que não o utilizavam, e sim, "o laboratório de Ingeniería en Diseño de Productos", já que eles possuíam uma máquina CNC, "outro laboratório de manufatura automatizada que estava ligado à Engenharia Mecânica, e o do curso de Ingeniería Civil Industrial, o Centro Integrado de Manufactura y Automatización (CIMA)", que possuía equipamento para impressão 3d, fresadora CNC, CNC de 3 eixos, escâner a laser e, posteriormente, contou com a aquisição de um braço robótico KUKA (BERNAL, 2020). O uso das tecnologias no curso de arquitetura está diretamente focado no ensino, com o objetivo de estimular nos estudantes uma abordagem para a resolução estruturada de problemas, em que "a geração completa de estudantes passa por esses processos de modelagem, fabricação, prototipagem e análise" (BERNAL, 2020), com disciplinas em vários níveis e a oportunidade de poderem escolher e aprofundar alguns desses temas em outras disciplinas de projeto.

De acordo com Bernal, a migração das atividades na faculdade para o digital foi gradual, primeiro "experimentando técnicas análogas de construção informadas digitalmente", até alcançar o ensino de manufatura robótica, que ocorre desde 2013 (BERNAL, 2020). Ao coordenarem atividades com o espaço físico do Labomat, possuem 4 impressoras 3D, 4 cortadoras laser, 1 fresadora CNC, 1 braço robótico, além de acesso a outros equipamentos na instituição. Trabalhando desde a pequena até a grande escala, geralmente produzem artefatos como modelos arquitetônicos, objetos híbrido (analógico+digital), objetos pedagógicos, componentes construtivos, componentes arquitetônicos, componentes para máquinas, e objetos de representação histórica. Os processos de investigação iniciaram por meio de projetos e, posteriormente, foram se formalizando, já que a faculdade não possui programas de pós-graduação na área. Apesar de reconhecerem que as principais dificuldades são a obtenção de recursos financeiros, conhecimento técnico dos profissionais envolvidos, avançar na infraestrutura de laboratório e ainda por encontrarem certa resistência de alguns professores, nesse sentido, Bernal comenta que "não sinto que tivemos dificuldade para fazê-lo [...] tínhamos colegas [...] sabíamos o que tínhamos que fazer [...] havia certas críticas do entorno mais conservador, mas para mim, nunca soou relevante" (BERNAL, 2020). Uma das práticas experimentais que estão desenvolvendo está vinculada ao trabalho com carpinteiros tradicionais de edifícios em Valparaíso construídos entre o final do século XIX e o início do século XX, reconstituindo técnicas de produção e montagem de elementos construtivos em madeira, mediados por sistemas robóticos (BÖHME, et al., 2017). A visão de Bernal acerca da continuidade dessas dinâmicas é a de que "a tecnologia está produzindo novas oportunidades, está renovando, mas temos que encontrar maneiras para que esta produza mudanças transversais na indústria, arquitetura, engenharia e construção, que é bastante complexa" (BERNAL, 2020).

O Centro de Informática y Diseño (CID) foi concebido em 1995, na Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo da Universidad Nacional del Litoral, pelos professores Mauro Chiarella e Mari Tosello. Contudo, o início das atividades envolvendo a fabricação digital aconteceu por volta de 2010. De acordo com Chiarella (2020), o CID iniciou como um lugar onde nuclearam-se todas as pessoas interessadas ou que tinham algum projeto relacionado às problemáticas digitais, não constituindo exatamente um espaço físico. Sendo assim, possuem equipamentos como impressoras 3d, cortadora laser e fresadora CNC, investindo, inclusive, na construção de um projeto próprio de máquina de dobramento de arame, mas compreendendo que "era muita energia que se perdia se alguém administrava equipamentos [...], quando pensei que poderia alugar a tecnologia de empresas que já estão dedicadas a isso", a partir daí, passaram a "relativizar o conceito de fab lab, porque, no meu contexto, não funcionava

muito" (CHIARELLA, 2020). Desenvolvem atividades nos eixos de ensino, pesquisa e extensão, em que o conhecimento é transferido por "decantação", ao experimentar certos processos, aplicando-os para os pós-graduandos e derivando o conhecimento para a graduação, que segue a dinâmica que Mauro descreve do seguinte modo: "encontramos um instrumento, uma lógica, um processo com o qual podemos gerar um trabalho prático [...] é um olhar os meios digitais não vinculados aos instrumentos informáticos, mas ao pensamento gráfico aumentado, que tem a ver com poder pensar a criatividade, desde os primeiros anos, através desses meios" (CHIARELLA, 2020).

Trabalhando com pequena e grande escala, geralmente, produzem artefatos como protótipos de design, objetos híbrido (analógico+digital), objetos pedagógicos, superfícies, componentes arquitetônicos e componentes para máquinas. Além disso, Chiarella coordena dois programas: o RILab, como um módulo do mestrado em arquitetura, que por vezes é itinerante em outros países, e o UrdirLab, onde os orientandos jovens lideram. Neles, busca-se desenvolver experimentos com processos mais intuitivos, por meio de experiências colaborativas e multidisciplinares. Para Chiarella, as dificuldades são encontram ao se assimilar as tecnologias de um modo mais instrumental e perder o sentido crítico, já que, "muitas vezes, banalizam-se os temas porque há a ansiedade da novidade, de ver um resultado muito rápido", ao mesmo tempo que lembra sobre a necessidade de, também, realizarmos investigação básica, prescindindo da necessidade de aplicação ou transferência direta (CHIARELLA, 2020). A isso está vinculada sua visão acerca de que "a tecnologia pode chegar a contribuir para que a arquitetura não seja tão rígida" (CHIARELLA, 2020), ao se trabalhar o customizável, ao mesmo tempo que se perceba as limitações de conectar-se com determinados setores sociais, já que, em relação a estes, exige-se resolver outros problemas que são muito mais complexos.

O Fab Lab Universitario CIDI foi fundado em 2013, por Luis Fernando Meyer e Juan Carlos Cristaldo, na Universidad Nacional de Asunción (UNA), contando com financiamento inteiramente público. Iniciou suas atividades com fabricação digital, efetivamente, em 2015, desde quando tem desenvolvido uma série de workshops ligados ao design paramétrico, fabricação digital e reutilização de materiais em protótipos. Para os coordenadores, "estamos aos poucos construindo consciência sobre o que essas ferramentas são e permitem", numa abordagem evolutiva em que são fornecidas ferramentas para que as pessoas desenvolvam seus próprios interesses, "nosso foco é construir capacidades, e dimensioná-las, com o intuito de que novos resultados positivos e inesperados surjam com a formação de um número significativo

de pessoas". O laboratório possui 5 impressoras 3D, 2 cortadoras laser, 2 fresadoras CNC, e uma série de outros equipamentos, também utilizando equipamentos de terceiros, com frequência. Desenvolvem objetos em variadas escalas para a sociedade civil, instituições públicas e científicas, geralmente produzindo artefatos como modelos arquitetônicos, artísticos e protótipos de design, objetos pedagógicos, e objetos de desenvolvimento social. A principal dificuldade apontada é a obtenção de recursos financeiros, num contexto que, segundo eles, significa "produzir inovação e cultura de fabricação digital em um contexto de recursos escassos", no qual muitos dos esforços respondem a como "aprender novos processos e escaloná-los" e "compreender que materiais e máquinas são essenciais, e como gerenciar recursos e vontades necessários para obtê-los".

O DGI foi criado na Facultad de Arquitectura Construcción y Diseño da Universidad Universidad del Bío-Bío, em Concepción, mas não é propriamente um laboratório com um espaço em particular. Coordenado por Rodrigo García Alvarado, que começou suas investigações nos anos de 1990 em desenho assistido por computador, na própria Universidade, após uma rápida passagem pela Universidad Católica de Chile. Ao retornar do doutoramento na Espanha, em 2005, para se dedicar em tempo integral na Universidade, começaram a surgir temas de fabricação, basicamente, por meio de cortadora laser e do uso do design paramétrico, já por volta de 2007 e 2008, até o uso de fresadora CNC, em 2010, para a criação de peças arquitetônicas, e o que o instigou foi "voltar a relacionar-se com a matéria, que é chave da experiência arquitetônica" (GARCÍA ALVARADO, 2020). A Universidade é pequena, então, em vez de montarem um laboratório, integraram-se entre escola de design e arquitetura para compartilhar maquinário de corte em um laboratório de protótipos, algumas experiências com a escola de engenharia e com o Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción (CITEC), utilizando braço robótico. Nesse sentido, segundo Alvarado, pela proximidade e por serem reconhecidos na indústria da construção local, "produz-se certa sinergia entre colegas de engenharia, design e arquitetura" (GARCÍA ALVARADO, 2020).

Esse processo colaborativo tem convergido para entender o uso de máquinas de corte laser e routers CNC tanto para a geração de modelos arquitetônicos e o desenvolvimento de componentes, além de absorver o braço robótico para impressão com concreto e investigações com madeira, por meio de uma linha de especialização em sustentabilidade da Universidade. O interesse de explorar a fabricação digital se concretizou por meio de investigações que visavam entender como se poderia produzir e montar algo utilizando a máxima capacidade da área de execução limitada

das máquinas. Além do trabalho na Universidade, desenvolveu projetos com colegas da Argentina, Brasil e Peru, fortalecendo investigações de pós-graduação. No curso de graduação em arquitetura, há alguns cursos de representação, em geral, que abordam muito brevemente esses temas, e algumas eletivas ou cursos opcionais, que se dedicam um pouco mais em profundidade. As tecnologias são explorados de uma maneira combinatória por estudantes, com seus interesses individuais, e a pós-graduação, enfatizando o doutorado, não como um curso formal, mas como estrutura curricular geral, "trabalhamos com projetos de investigação nacional [...] os projetos de investigação são pessoais, são fundos que a pessoa recebe por um período de tempo para investigar certos temas, via projetos" (GARCÍA ALVARADO, 2020). Os temas de investigação têm avançado para o uso de braço robótico em construção com concreto, otimização computacional e condicionantes ambientais, mantendo a integração da fabricação digital no ensino de arquitetura e na habitação.

Segundo ele, num panorama liberal como acontece no Chile, "a maioria dos novos desenvolvimentos tecnológicos são fomentados por meio de empreendimentos pontuais [...] alcançam algum impulso, mas que não é massivo a curto prazo [...] temos visto que as experiências com fabricação digital têm a virtude de abrir campos com esse tipo de estratégia" (GARCÍA ALVARADO, 2020). Para ele, a institucionalidade e a hierarquia estabelecida ainda oferecem resistências para que os temas novos surjam, ao mesmo tempo que "alguns arquitetos jovens assimilam o tema da fabricação digital e desenvolvem empreendimentos" (GARCÍA ALVARADO, 2020). Concepción está investindo em se tornar um polo científico e tecnológico, que pode contribuir com avanços inovativos no cenário local, mas percebe que "faz falta complementar com outros tipos de caminhos mais amplos, reforços colaborativos mais massivos para desamarrar os setores" (GARCÍA ALVARADO, 2020). Na perspectiva de Alvarado, um desafio está em que os laboratórios e as tecnologias cheguem a setores sociais novos, como artesãos, obreiros, entre outros, para desenvolver outros circuitos e não permanecerem fechados em grandes iniciativas ou empreendimentos mais avançados.

O LabFabMVD foi fundado no ano de 2011, por Marcelo Payssé e Paulo Pereyra, na Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo da Universidad de la República, instituição pública em Montevidéu. Segundo Payssé, em 2005 perceberam o potencial das tecnologias como um recurso futuro e se aproximaram para, em 2010, iniciarem a concepção de um laboratório "que não era um Fab Lab, por isso chamamos LabFab, para diferenciar" (PAYSSÉ, 2020). O laboratório desenvolve atividades de pesquisa, ensino e extensão, proporcionando suporte acadêmico aos alunos, para participar

conjuntamente dos processos de formação, acompanhando o desdobramento de projetos para alunos que desejam investigar as possibilidades da fabricação digital, aplicadas ao seu projeto ou protótipo, ou por uso livre, mediante reserva prévia. O laboratório possui 4 impressoras 3D, 1 cortadora laser, 1 fresadora CNC e outros equipamentos auxiliares. Como resultados, geralmente produzem artefatos como modelos arquitetônicos, modelos artísticos, protótipos de Design, objeto híbrido (analógico + digital), objetos pedagógicos, componentes construtivos, componentes arquitetônicos, objeto de desenvolvimento social, superfícies, mobiliário e objetos de representação histórica.

O início das atividades sucedeu por meio da investigação, já que o currículo do curso de arquitetura não tinha previsto nada vinculado ao digital, fabricação, ou modelado. Assim, "todas as pequenas intervenções que fazíamos, ocorriam por meio de algum convite que, para alguma disciplina, interessava integrar esses conhecimentos, não tínhamos disciplinas próprias que permitissem isso. O que fizemos foi tratar de fazer pequenas intervenções, módulos de disciplinas, na parte das oficinas de projeto, ou na parte de representação" (PAYSSÉ, 2020). A aquisição das primeiras máquinas para o laboratório foi possível através da rede ALFA, uma rede que financiava, mediante a União Europeia com sócios europeus e latino-americanos, projetos em algumas universidades, já que a faculdade não dispunha de dinheiro para o investimento. As maiores dificuldades apontadas por eles estão relacionadas à obtenção de recursos financeiros, suporte profissional da Instituição, e melhorar a infraestrutura, além de apontarem o fato de lidarem com a resistência dos próprios docentes. Ao longo do tempo, foram adquirindo mais equipamentos e estabelecendo seu espaço, também, devido à conjuntura de fornecerem suporte a todas as linhas de investigação da faculdade: arquitetura, urbanismo, design industrial, design têxtil, design de paisagem, design de mobiliário e comunicação visual. Apesar da forte ligação com o ensino, propõem projetos de pesquisa anuais que se desdobram, em parte, no ensino, para que não se encerrem em si mesmos, "sobretudo porque essa é a maneira de validar o que fizemos, se só investigamos e publicamos, e não contrastamos com o que se necessita na vida real..." (PAYSSÉ, 2020).

Em relação a estabelecerem conexões com outros setores, Payssé comenta que estão trabalhando para vincular-se aos polos tecnológicos e outras organizações privadas que trabalham com fabricação digital, para promover atividades conjuntas e transferir conhecimentos. Para ele, "os centros universitários, os centros tecnológicos, os polos tecnológicos integrados por organismos estatais e privados, as empresas

privadas, os lugares de coworking, não podem fazer todos as mesmas coisas, têm que se coordenar para trabalhar em conjunto. O motivo de manter um laboratório universitário como o nosso é poder trabalhar com a tecnologia do momento, ser crítico com ela, escolher a tecnologia apropriada ao momento e as possibilidades [...] não uma resposta instantânea, mas a resposta coordenada com outros meios que trabalham com as mesmas tecnologias" (PAYSSÉ, 2020).

O Laboratório de Ensino, Pesquisa e Extensão em Projeto Digital (LED) foi criado em 2012, no Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Ceará, em Fortaleza, pelo professor Daniel Ribeiro Cardoso. Desde então, o laboratório tem desenvolvido atividades de ensino e formação, pesquisa e extensão, a partir de preceitos da modelagem computacional, aliada ao suporte da fabricação digital, iniciando com base no tema das novas tecnologias para a experiência e a representação arquitetônica. Dentre os assuntos abordados em suas atividades, constam a programação, a modelagem paramétrica, da informação e a fabricação digital para o aprimoramento das diversas etapas de projeto, bem como suas aplicações em contextos específicos da Arquitetura e do Design, de acordo com as especialidades desenvolvidas nas disciplinas e pesquisas. Além da organização de cursos e workshops, receberam o Congresso SIGraDI, em 2012. O laboratório possui 2 impressoras 3D, 1 cortadora laser, 2 fresadoras CNC e outros equipamentos auxiliares. Como resultados, geralmente produzem artefatos como modelos arquitetônicos, modelos artísticos, protótipos de design, objeto híbrido (analógico+digital), objetos pedagógicos, componentes construtivos, componentes arquitetônicos, objeto para desenvolvimento social, superfícies, mobiliário e objetos de representação histórica. As dificuldades apontadas pelo laboratório para realizar os processos projetuais e produtivos são a obtenção de recursos financeiros e alcançar envolvimento simultâneo de diversos setores da comunidade. Segundo o grupo, uma das contribuições do uso das tecnologias está em criar objetos experimentais com certo refinamento, e para utilizá-los em análise de projetos em escala e simulações, propondo respostas adaptadas à realidade das formas locais de produção convencionais e suas limitações. De acordo com eles, a composição dos artefatos emerge a partir da articulação de elementos como variáveis de resistência de materiais, conforto térmico, acústico e/ou lumínico, ergonomia, dentre outros aspectos funcionais, estéticos e estruturais, que podem ser trabalhados, a princípio, sem o vislumbre do objeto final.

O Laboratório de Automação e Prototipagem para Arquitetura e Construção (Lapac) foi criado por Gabriela Celani, em 2006, na Faculdade de Engenharia Civil,

Arquitetura e Urbanismo da Unicamp, iniciando suas atividades com o uso de máquinas em 2007. O maquinário para o seu estabelecimento foi obtido com recursos da FAPESP e da CAPES, e é mantido por meio de auxílios das agências públicas de fomento. Os interesses e investigações, promovidos em distintos níveis de pesquisa, assimilaram temas como sistemas generativos de projeto, tecnologias tridimensionais (prototipagem rápida, fabricação digital e digitalização 3D), programação computacional e técnicas de automação, para que possam ser aplicadas desde o projeto até elementos para a construção. A expertise tem sido difundida durante esses anos em diversos workshops e eventos científicos, congressos e em disciplinas na instituição.

O laboratório, que compartilha seu maquinário com a área de maquetaria da faculdade de arquitetura, possui 3 impressoras 3D, 2 cortadoras laser, 2 fresadoras CNC, uma vacuum forming, digitalizador 3D, e outras ferramentas para a produção. Como resultados, geralmente produzem artefatos como modelos arquitetônicos, mobiliário, protótipos de design, componentes construtivos, superfícies e objetos de representação histórica, nas mais variadas escalas. A experiência da coordenadora, por meio do desenvolvimento do seu Ph.D. no programa Design and Computation do MIT, com William J. Mitchell, forneceu uma base para continuar investigando e aplicando processos digitais e de prototipagem. O que no início do laboratório envolveu um grande esforço para se obter investimento para a aquisição de maquinário, que na época tinham um alto valor, ao longo do tempo e das pesquisas baseadas nas tecnologias, segundo Celani, voltou-se para alterar a percepção no modo de se pesquisar essas temáticas, em vez de teóricas, para uma compreensão mais técnica e prática. Outro ponto importante elencado por ela foram as constantes oportunidades de difundir conhecimento e colaborar com outras instituições, seja por meio de visitas técnicas e orientações, seja por trabalhos associados com outros centros de pesquisa.

Para ela, os Fab Labs são exemplos importantes para se propagar um conhecimento baseado nas novas tecnologias na sociedade e no meio empresarial, "acho que o Brasil sempre tem um delay, com relação aos outros países. [...] Mesmo na prática arquitetônica, eu acho que existe lugar para todas as práticas, aquela que é mais tradicional e aquela que é mais inovadora. A inovadora sempre vai ter um mercado mais reduzido, mas hoje, já está mais instituído" (CELANI, 2018). Além disso, aponta que um fator importante é a diminuição de custo do maquinário que tem acontecido nos últimos anos, "a partir do momento que a coisa passa a ser viável financeiramente e que você tem disponibilidade de mão-de-obra que sabe fazer, não tem porque não incorporar essas tecnologias. A gente ainda está na fase em que estamos formando

a mão-de-obra e ainda estamos esperando haver um barateamento maior desses equipamentos" (CELANI, 2018). As dificuldades encontradas pelo laboratório na criação dos artefatos são o acesso a recursos financeiros, o conhecimento técnico dos profissionais envolvidos, maior apoio profissional da Instituição, algumas limitações na infraestrutura do laboratório e a aquisição de materiais. Para avançar nesses quesitos, é necessário pensar que "o Fab Lab não é só botar umas máquinas lá, é criar um ambiente [...] Então, você tem que criar ambientes favoráveis para que a inovação aconteça, tanto na academia, no ensino, como nas start-ups [...] Porque não é só o equipamento em si, é você ter toda uma cultura formando o ambiente" (CELANI, 2018).

O Laboratório de Fabricação Digital e Customização em Massa (LDFC) foi criado em 2007, na Universidade de Brasília, pelo professor Neander Furtado Silva, sendo uma das primeiras instalações desse tipo no Brasil. Após um período na University of Strathclyde, que motivou o interesse por Tecnologias Digitais, as atividades iniciaram em 2000, atuando inicialmente em uma linha de pesquisa mais genérica, em projeto assistido por computador, a partir de 2007, adotaram uma linha de pesquisa mais específica, a da fabricação digital e customização em massa. O laboratório possui 3 impressoras 3D, incluindo tecnologia SLS, e 2 fresadoras. O laboratório tem se dedicado às atividades de ensino, pesquisa e extensão, convergindo a organização de seminários de divulgação das novas tecnologias. Como resultados, geralmente produzem artefatos como modelos arquitetônicos, protótipos de design, objetos pedagógicos, componentes construtivos, componentes arquitetônicos, superfícies, componentes para máquinas, e a materialização de formas complexas. Dentre as várias iniciativas já realizadas, há o esforço de compreender as possibilidades de uso das tecnologias de fabricação digital no setor da indústria de componentes da construção, em que a questão fundamental consiste na mudança de paradigma, da padronização à customização em massa, e do minimalismo para a complexidade.

O algo+ritmo iniciou suas atividades no ano de 2013, na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, fundado pelos professores Gilfranco Alves, Juliana Trujillo e Mayara Dias. Os interesses de investigação, desdobrados no ensino, na extensão e também na pesquisa, convergem temas a partir de discussões teóricas, do design computacional, da fabricação digital, e das novas mídias digitais e interatividade. Segundo Gilfranco, o desejo de estruturar o laboratório surgiu a partir da trajetória pessoal, "da experiência que a gente tinha dos grupos que a gente tinha participado, eu me dei conta que não conseguia mais trabalhar sozinho porque percebi todas as riquezas que advém de você participar de um grupo de pesquisa" e após "um primeiro momento que foi

de consolidação de entender os métodos, de se reconhecer dentro da universidade" (ALVES, 2018). O laboratório possui 2 impressoras 3D, 1 fresadora CNC e outros equipamentos complementares, que "modificou bastante a realidade da graduação, dos alunos poderem prototipar em escala reduzida e usar esses equipamentos" (ALVES, 2018).

Como resultados, geralmente produzem artefatos como modelos arquitetônicos, protótipos de design, objetos híbridos (analógico+digital), objetos pedagógicos, componentes construtivos, componentes arquitetônicos, objetos para desenvolvimento social e mobiliário. Entre as atividades realizadas que Gilfranco destaca, foram videomapping para a valorização do patrimônio, criação de mobiliário com fabricação digital para uma intervenção em relação aos moradores de rua, e o desenvolvimento de plataformas digitais colaborativas de governança digital (ALVES, 2018). Dentre as possibilidades de aplicação, a principal é a de promover certa "mudança de processos, de procedimentos, levando os alunos de graduação a meter mais a mão na massa", envolvendo um diálogo com o próprio currículo de cada curso, a utilização de equipamentos de modo criativo, identificar nichos e atores para fortalecer processos (ALVES, 2018). As dificuldades encontradas pelo laboratório na criação dos artefatos são a obtenção de recursos financeiros, e maior apoio profissional da Instituição. Compreendendo que apesar de para colegas de uma tradição mais conservadora isso sempre ter sido visto como algo meio inexequível, isso já passou, "as pessoas acabam valorizando muito, os estudantes reconhecem que a dificuldade faz a gente se superar, não tem dinheiro mas tem muita vontade, tem empenho" (ALVES, 2018).

O Fab Lab UNI é um laboratório que fornece suporte multidisciplinar para a formação de arquitetos na tradicional e pública Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Artes da Universidad Nacional de Ingeniería. Iniciado em 2010, em Lima, o Fab Lab UNI nasceu por iniciativa do Instituto de Arquitetura Avançada da Catalunha, e da Agência Espanhola de Cooperação para o Desenvolvimento Internacional, que financiou a formação técnica e a sua instalação, virtualmente considerado como o primeiro "Fab Lab" na América do Sul.

7) Serviços maker e atividades artístico-culturais: Garagem Fab Lab (Brasil); TaMaCo (Argentina); Brasília Fab Lab (Brasil); Nodo 39 Fab Lab (Argentina); Fab Lab Cordoba (Argentina); Sinergia Tech (Uruguai), Fab Lab Santiago (Chile), Bacteria Lab (Equador), Fab Lab Lima (Peru); Fab Lab Recife (Brasil); L.O.U.Co (Brasil).

O Fab Lab Santiago foi iniciado em 2014, como um dos primeiros Fab Labs abertos para o público na região, por Tomás Vivanco, Andrés Briceño, e uma série de colaboradores, após os dois retornarem de um período de estudos no IAAC. Refletindo sobre o impacto das novas tecnologias e espaços de manufatura digital em contextos de escassez material e escasso capital humano, alicerçaram o laboratório em 3 pilares: social, acadêmico e profissional. Foram responsáveis pela organização do evento FAB 13, ou International FabLab Conference and Symposium, em Santiago, no ano de 2017. O laboratório possui 5 impressoras 3D, 2 cortadoras a laser, 3 fresadoras CNC, além de outros equipamentos e ferramentas disponíveis para marcenaria e montagem de eletrônica. Sempre seguindo os preceitos de abertura dos espaços e democratização do acesso às máquinas de um Fab Lab, buscam captar recursos privados para a sua manutenção por meio de oficinas instrucionais e de fabricação, planos de uso das máquinas, além de cursos direcionados à criação de protótipos e fomento de investigações de designers de produtos para criarem seus projetos. Como resultados, geralmente produzem modelos artísticos, artefatos relacionados ao design de objetos, objetos híbridos (analógico + digital), objetos pedagógicos, componentes construtivos, componentes arquitetônicos, objetos de desenvolvimento social, mobiliário, e componentes para máquinas, todos em variadas escalas, além de desenvolverem materiais próprios a partir de resíduos, bioplásticos e biocompósitos. Para eles, as dificuldades encontradas são o acesso a recursos financeiros e limitações na infraestrutura do laboratório.

Sempre que possível, tentam estabelecer pontes com outros setores produtivos, inclusive, instituições de governo para fomento de produção e colaboração, e disseminar as ideias em outros meios. Além de utilizarem o espaço para criarem soluções de tecnologias, oferecem métodos de investigação e desenvolvimento para a melhoria dos processos produtivos, curadoria, design e produção de instalações artísticas e mostras de produtos. Nesse eixo, foi criado, em paralelo, o maquinar.io[56], como um braço produtivo do Fab Lab, em que se desenvolve, fabrica, comercializa e distribui objetos únicos e exclusivos para o uso diário, com designers convidados, os quais são formados e orientados para a concepção e utilização de novas tecnologias, reduzindo a intermediação e aproximando criadores e usuários. Também são criadores e articuladores da Red Chilena de Plataformas de Fabricación Digital. Segundo Vivanco, "no Fab Lab, estamos mais atrelados a projetos com impacto social, com vínculos com o meio que, no contexto acadêmico, não se pode fazer. No Fab Lab, temos uma equipe que trabalha a partir do design, criamos uma fundação que chamamos de 'design distribuído' porque rompemos a gravidade que tem o design e resolvemos instalá-lo

56 <https://www.maquinar.io/>

em distintas áreas disciplinares" (LARRAÍN, 2017). Em sua visão, espaços como o Fab Lab Santiago têm que encontrar seu modelo de negócio, realizar empreendimentos, ao mesmo tempo que desenvolva projetos que sejam críticos e questionem o modelo produtivo convencional, aplicando conhecimentos que se transformem em um produto em potencial.

O Garagem Fab Lab foi um dos primeiros espaços privados a oferecer serviços e atividades utilizando máquinas de fabricação digital na região, sendo o primeiro Fab Lab independente do país. Ele foi fundado em 2013 e, alguns meses depois, integrou-se à rede do MIT, por Eduardo Lopes, Marco Rossi e Heloísa Neves, que já estavam envolvidos na criação do primeiro Fab Lab do país, o Fab Lab SP, na USP. Aos poucos, foram agregando outros colaboradores e associados, como Carolina Cardoso, Roberto Stelzer, Rafael Gonçalves e Jan van Bodegraven. Para se erguer e manter uma sustentabilidade econômica, inicialmente, estabeleceram um modelo de negócios baseado em uso de máquinas pago por hora, oficinas pagas, além de parcerias e patrocínios de empresas para o desenvolvimento de protótipos ou de dinâmicas de treinamento com os empregados. Ao longo do tempo, o Garagem transformou-se em uma associação sem fins lucrativos em que, ao se juntarem ao espaço da oficina de marcenaria OficinaLab[57] – que também ministra uma série de cursos e oficinas em que se utilizam máquinas de fabricação digital, como corte a laser e a fresadora CNC, como suporte para a manufatura de mobiliário –, e realizarem um crowdfunding, montaram um novo espaço de trabalho e compartilhamento, agregando tanto atividades voluntárias quanto pagas, além de alguns dos associados terem suas empresas no espaço. O laboratório possui cortadora a laser, fresadora CNC, impressoras 3D e outras ferramentas que, por meio de agendamento, podem ser reservadas para uso pessoal pago.

O oferecimento de oficinas instrucionais para uso de software e reconhecimento das tecnologias, incluindo algumas que apresentam a estratégia da confecção de um móvel do início ao fim, contribuem para a aproximação do público leigo e da difusão cultural das práticas do fazer e da fabricação digital. Como resultados, geralmente produzem artefatos relacionados ao design de objetos, mobiliário, e objetos pedagógicos, incluindo alguns móveis e máquinas para uso no laboratório. A dinâmica de uso do espaço foi se transformando ao longo do tempo, não seguindo tão à risca os preceitos do modelo do MIT, como os tipos de máquinas e até mesmo o open day foi sendo deixado de lado. Segundo Jan, a difusão da cultura maker "está crescendo

57 <https://www.oficinalab.com.br/>

muito nas instituições de ensino, com faculdades montando Fab Labs e laboratórios de fabricação, inclusive, outras instituições e empresas, mas para o público em geral, está se mantendo, pois nos cursos, aparecem muitos arquitetos e designers, muita gente que já fabricava alguma coisa anteriormente" (van BODEGRAVEN, 2018). Para ele, talvez a maior dificuldade seja a questãocultural, de que aqui não sejam muito valorizadas as atividades manuais, o ato de fazer, pois "seria uma tremenda oportunidade para crianças aprenderem a utilizar as mãos, para praticar artes manuais, fazer coisas, não só comprar. Na Holanda faz parte do currículo escolar, eu, na Escola Básica, tinha aula de trabalho manual, aqui, são poucas as escolas que têm isso" (van BODEGRAVEN, 2018). Além disso, ele percebe que um obstáculo grande em relação ao acesso à fabricação digital pelo público geral é a obtenção e o desenvolvimento dos conhecimentos necessários para efetuar a modelagem dos objetos.

O TaMaCo, ou Taller de Materiales y Construcción, é um laboratório de experimentações a partir do design e da arquitetura, instalado como um módulo que funciona no centro cultural denominado cheLA, ou Centro Hipermedíatico Experimental Latinoamericano – que tem o intuito de promover, integrar e difundir formas de exploração tecnológicas com distintas manifestações artísticas –, iniciado em 2015, por Francesco Milano e Karen Antorveza, e continuado por Cecilia Bello, arquitetos e designers industriais. As diversas atividades empenhadas pelo centro se alocam em um grande pavilhão industrial localizado a sudoeste do centro de Buenos Aires. O laboratório possui duas impressoras 3D, cortadora laser e fresadora CNC, além de outras ferramentas disponíveis para uso em oficinas temáticas por profissionais convidados ou em programas de residência artística. Além disso, o espaço sempre foi receptivo a eventos culturais e projetos de investigação colaborativa, como componentes, a montagem de instalações e equipamentos na escala 1:1. O uso das tecnologias de fabricação digital oferecem suporte para a livre criação artística, por meio de experimentos com distintos materiais e técnicas, além de workshops abertos à toda a comunidade. O espaço está estabelecido como uma ONG, e o seu financiamento ocorre por meio auxílios do governo, buscando-se editais públicos, convocatórias nacionais e internacionais, e por meio de outros modelos de financiamento com atividades pagas. Como resultados, geralmente produzem artefatos como design de objetos, instalações e objetos artísticos, mobiliário, modelos arquitetônicos, objeto híbrido (analógico + digital), componentes de construção, componentes arquitetônicos e superfícies.

O local, como um todo, nasceu enquanto um espaço de produção, não apenas de exibição artística ligado a esses temas, mas sentia-se a necessidade de criar um

laboratório de fabricação que desse conta da tarefa e pudesse oferecer workshops para a comunidade a fim de difundir e democratizar essas tecnologias, já que os seus trabalhos e atividades sempre estiveram ligados quase que exclusivamente às instituições culturais. Segundo Cecilia, o que o TaMaco permite "é que as pessoas materializem ideias ligadas ao design industrial e à arquitetura em escala, que exista a experimentação de cada pessoa por meio de algo mais racional, que é a fabricação digital, que de alguma maneira, retirou a barreira de ir à materialização de um projeto" (BELLO, 2020). Os profissionais são convidados a ministrar atividades a partir de temas e técnicas de interesse dos coordenadores. Segundo eles, as muitas dificuldades encontradas são a aquisição de conhecimento técnico dos profissionais envolvidos, obter suporte profissional da instituição e na aplicação das tecnologias para qualquer necessidade. De acordo com Cecilia, ainda falta democratizar de fato estes tipos de ferramentas, pois enxerga um tipo de resistência em incorporar as novas tecnologias, mesmo por meio de atividades educativas, ou seja, as pessoas já possuem uma formação sedimentada, além de fatores como a exigência de preparação técnica para compreender como utilizá-las, a viabilidade econômica para materiais e na manutenção de máquinas (BELLO, 2020). Os desafios para se estabelecer vínculos com o local, segundo eles, são compreender as necessidades e o alcance de um projeto e o que nele pode ser concretizado.

O Brasília Fab Lab é um laboratório privado, que iniciou as suas atividades em 2014, quando 4 sócios se juntaram, dentre eles, Guilherme Garcia, Andre Leal, e Bruno Amui, em que alguns já tinham maquinário de fabricação própria, e após outros retornarem de um período de residência nos Estados Unidos, convivendo com a realidade de makerspaces, hackerspaces e Fab Labs. O laboratório possui cortadora laser, duas fresadoras CNC, 4 impressoras 3D e outras ferramentas que, por meio de planos de uso de horários, agendamento ou oficinas pagas, podem ser utilizadas por público externo. Apesar de já terem testado diversos horários de funcionamento, adequaram-se a um horário mais comercial, em que as pessoas acessam o local para realizar projetos pessoais e fabricação sob demanda, e o período da noite e os finais de semana para cursos e oficinas, tentando migrar de um simples uso por hobbistas para a procura por profissionais e acadêmicos, como foco no auxílio no desenvolvimento do projeto até a prototipagem ou produção, e até mesmo oferecendo serviços. Disponibilizam cursos de instrumentação e de formação, como para uso de software e maquinários, marcenaria e fabricação de móveis, convergindo pessoas interessadas em temas de design, dinâmicas de treinamento para instituições e empresas. Como resultados, geralmente produzem artefatos como objetos instrucionais, replicação de peças decorativas, peças de mobiliário, objetos pedagógicos, componentes para arquitetura

e para instalações artísticas, muito proveniente das demandas de clientes e resultante das oficinas, mas também, incluindo projetos próprios. Além disso, trabalharam com equipes de artesãos para transferir técnicas de fabricação digital para a confecção de peças de artesanato, produção de biojoias e outras práticas colaborativas, auxílio na produção de peças para professores da UnB e outras instituições.

Segundo Bruno Amui, apesar de estarem integrados à rede Fab Lab MIT e possuírem um "open day", o foco é o desenvolvimento de produtos (AMUI, 2018). A potencialidade de conceber o espaço foi, segundo Bruno, do fato de não disporem de muita verba inicial, conseguiram se manter porque construíram algumas das máquinas e todos os móveis do espaço, estabelecendo "uma relação mais íntima com as máquinas, não tanto como uma ferramenta pura e simples [...], dar manutenção, utilizar ela de formas que não são usuais, [...] isso que acabou viabilizando a existência do Fab Lab" (AMUI, 2018). Para eles, uma das principais dificuldades é a obtenção de conhecimento técnico dos profissionais envolvidos, porque, por mais que as tecnologias já estejam difundidas, os espaços só funcionam com pessoas capazes de desenvolver projetos, mas, na prática, muitos saem frustrados em suas expectativas com uma falsa sensação de facilidade de uso. Também, segundo Bruno, montaram o espaço por um desejo pessoal e por sentirem a necessidade de estabelecerem um espaço para trabalhar, mas por vezes, "investe-se muito tempo cuidando de burocracia, administração e divulgação" (AMUI, 2018). Segundo eles, "é importante lembrar que essas são tecnologias que tem baixa penetração na cultura nacional, e cuja demanda ainda precisa ser desenvolvida por completo" (AMUI, 2018), além de reconhecerem dificuldades de acesso às novas tecnologias e de materiais.

O Fab Lab Lima nasceu como iniciativa sem um espaço físico, em 2009, pelos fundadores Benito Juarez Velez e Victor Freundt, impulsionado pela experiência de aprendizado no programa "Fab Academy", realizado pelo Fab Lab Barcelona, e que, ao longo do tempo, contou com a integração de uma série de outros colaboradores. No decorrer dos anos, consolidou-se como um centro privado sem fins lucrativos, ligado à rede Fab Lab, que visa promover maior acesso às tecnologias e avançar o estado da arte da fabricação digital e da biologia sintética, bem como gerar novas inter-relações entre Arte, Ciência e Tecnologia. Segundo Benito, ao longo dos anos, mudaram o nome para Fab Lab Peru "por um tema de inclusão" e, assim, "converte-se na rede dos novos Fab Labs da cidade de Lima", com o objetivo de "gerar sinergia graças a esse sentido de colaboração" (VELEZ, 2020). Desse modo, iniciaram suas atividades oferecendo serviços de formação profissional, assistência técnica para a implantação de Laboratórios de

Fabricação Digital, consultoria em processos de prototipagem, adoção de materiais e manufatura, além de suporte para transferência de tecnologia por meio de licenciamento de propriedade intelectual. Além disso, foi um dos iniciadores da Red Latinoamericana de FAB LABs, em 2010, e da organização do evento Fab Lat Fest. O laboratório possui 3 impressoras 3D, cortadora a laser, fresadora CNC, e outros equipamentos para suporte de trabalho. De acordo com Benito, "no início, começamos com muitas atividades [...] isso significou um grande investimento de tempo e recursos em geral [...] e surgiu a pergunta acerca de 'quão eficaz estamos sendo?'" (VELEZ, 2020).

As atividades estão centradas em oficinas de capacitação e de ensino, que se desdobram em oficinas de criação itinerantes em instituições, inclusive para crianças. Buscam estabelecer vínculos a partir de demandas de setores como a artesania, a indústria, da participação cidadã, dos espaços acadêmicos e do governo. Como resultados, geralmente produzem artefatos como modelos arquitetônicos, modelos artísticos, protótipos de design, objeto híbrido (analógico + digital), objetos pedagógicos, mobiliário e objetos de representação histórica. Além dos serviços, desenvolvem projetos vinculados à investigação aplicada de certos temas, que tem o intuito de gerar inovação e mudança social, a partir de duas grandes áreas: a multiculturalidade e a biodiversidade, como o "Fab Women Makers y Fabbers", o "Open BioFab Lima" e a proposta "Floating Fab Lab Amazonas". Assim, Benito aponta que organizam-se em torno de 3 níveis: o ".org", relacionado ao sensibilizar, o ".edu", aos processos de aprendizagem e de capacitação, e o ".com", o impacto real do que será gerado, além dos distintos projetos em distintas áreas (VELEZ, 2020). Para eles, as principais dificuldades são a obtenção de recursos financeiros e os materiais para serem utilizados e, por isso, buscam financiamentos feitos por "empresa, governo ou fundação, que permite custear os gastos da oficina" (VELEZ, 2020). Entendem que as práticas emergentes surgem quando "os usuários definem os requisitos e características dos dispositivos, produtos, objetos e se tornam co-designers". O Fab Lab também tem investido num serviço de assessoria para que empresas e indústrias possam "ter um melhor panorama de como dar o salto para a indústria 4.0" (VELEZ, 2020).

8) Design e artesania: Tu Taller Design (Colômbia); gt2P (Chile); Pata de Gallo Colectivo (Equador); Binary Craft (Argentina).

O Tu Taller Design é um escritório de design independente que nasceu em 2012, sob a alcunha de David Del Valle, em que se somaram Julian Del Valle, Leonardo

Bonilla, Juan Pablo Caceres, Lina Marcela Cardona e Alejandro Muñoz. Segundo David, desde que começaram, o desenho paramétrico e a fabricação digital estão no DNA da empresa, utilizando-os como fator intrínseco e de diferencial dos projetos, "que seja sutil, que não se veja [...] uma sutileza que estamos tentando introduzir no setor industrial, onde acreditamos que geramos valor, como também no artesanato", desejando que o resultado dos objetos fossem naturais e inacabados, perceberam que havia interesse de mercado, aí iniciou também o desafio de tornar a prática rentável (DEL VALLE, 2019). Antes de criarem o grupo, David trabalhou com produtos e se aproximou das noções de design paramétrico na Universidade, diretamente em contato com Bob McNeel, seguindo para a indústria metal-mecânica, automatizando rapidamente processos de manufatura de painéis metálicos na Rollformados.

Outro ponto de importância foi o patrocínio da Ruta N, agência de inovação do governo, para a sua participação no Fab10, para retornar e apresentar processos inovadores de fabricação para a indústria, empresários e profissionais da região, promovendo a formação de um ecossistema voltado ao interesse pelas novas tecnologias digitais. Envolvendo designers industriais e gráficos em sua base, com a colaboração de arquitetos, o estúdio desenvolve investigações formais e materiais e cria produtos para pessoas e empresas, além de experimentarem projetos próprios para seu catálogo, via diferentes sistemas de manufatura. Fazem isso conjugando um trabalho que envolve o conhecimento técnico do uso de maquinário de manufatura digital, maquinários de última geração da indústria e processos artesanais, com materiais que vão desde o metal, a madeira, a pedra, até o barro e têxteis. O processo parte de uma intenção de projeto e apresentação de conceitos para o grupo, buscando uma gama de materiais e referências, sempre tentando voltar-se a uma perspectiva mais global, mas identificando elementos locais para serem agregados ao produto: "fazendo um bom design, a um bom preço, sem chegarem a se tornar artistas, sendo mais necessários do que meramente bonitos" (DEL VALLE, 2019). Utilizam impressora 3D para a materialização de protótipos, mas também, utilizam fresadora CNC para cortar peças de objetos e mobiliário. Como resultados, geralmente produzem artefatos como modelos arquitetônicos, modelos artísticos, objetos de design, componentes de construção, componentes arquitetônicos e mobiliário.

Segundo eles, "temos estudado e desenvolvido nossa própria metodologia de implementação digital e analógica, trabalhamos no 'digital craft' como movimento e estilo de trabalho. Para nós é fundamental fazer essa união e atingir os objetivos formais, mas sobretudo, de conteúdo através da experimentação e da prática" (DEL VALLE,

2019). Relacionam suas práticas com o artesanato ao trabalharem com cooperativas e associações locais; como o "mortero alfil", inspirado na cultura "quimbaya", de tradição pré-colombiana. A impressão 3D gera protótipos que comunicam, via a forma desejada, os tipos de objetos que serão feitos à mão por artesãos, resultando em "artesania colombiana com desenho industrial" (DEL VALLE, 2019), enfocando também em explorar e desenvolver materiais próprios, como materiais reciclados. Como dificuldades, percebem alguns pontos intrincados na academia devido à, por vezes, manter-se um conhecimento privilegiado que não se busca entender, de fato, como aplicá-lo, além da obtenção dos conhecimentos técnico pelos profissionais envolvidos e a infraestrutura do laboratório. O desafio para se estabelecer vínculos com o local exige processos educacionais e disseminar a possibilidade de ser eficiente e preciso na produção, otimizando processos com a indústria, não pelo viés da estética e de valor de venda do produto, mas uma mudança de argumentos e retórica, com maior responsabilidade pelo processo. Para David (DEL VALLE, 2019), a FD contribui para diminuir estoques, providenciar processos mais rápidos sob demanda, mas também, pode-se recair numa obsessão por querer fazer tudo de maneira particular porque há a possibilidade de fazê-la, assim, emergem questões éticas a serem consideradas.

O great things to people (gt2p) é um escritório de design e arquitetura constituído por Guillermo Parada, Sebastián Rozas, Tamara Pérez, Victor Imperiale, todos arquitetos de formação, é um estúdio colaborativo imerso nas técnicas digitais e de artesanato direcionadas ao fazer manual. Criado em 2009, já desenvolveram alguns projetos de elementos arquitetônicos, e tem se destacado pela criação de objetos de design com uma forte ideação artística utilizando materiais e técnicas locais em que, desde o seu início, envolvem o design paramétrico como fator central na criação dos projetos, numa dinâmica que "permeou nosso pensamento [...], ou seja, já envolvemos a ideia de criar regras para desenhar, buscar a adaptação de algo, criar as instruções para que se faça" (ROZAS, 2018). Segundo Sebastián, trabalham em duas linhas: uma de peças colecionáveis e outra de peças de arquitetura, mas todos "são pensados a partir da arquitetura, não temos um pensamento a partir do design como metodologia. Nós temos uma visão arquitetônica porque o elemento se pensa em um espaço, em um entorno, e é isso o que marca os nossos objetos" (ROZAS, 2018). Contam com impressoras 3D e incorporaram uma oficina de materiais, além de colaborarem com outras empresas e indústrias, desenvolvendo protótipos de objetos utilizando máquinas e processos experimentais, focados nos resultados materiais mas considerando a instabilidade e as incertezas de sua relação com a forma, revisando ícones e símbolos da cultura e da paisagem chilena. As práticas, de alguma maneira, convergem resultados informados digitalmente, que retornam a ser articulados por processos artesanais manuais.

De acordo com Sebastian, "tínhamos uma visão muito mais idealizada de que a fabricação digital vinha para solucionar todos os problemas e, rapidamente, nos demos conta de que a fabricação digital é só parte de um processo" (ROZAS, 2018). Como resultados, geralmente produzem artefatos do tipo objetos de design, protótipos, instalações e objetos artísticos, elementos arquitetônicos, peças de mobiliário e máquinas analógico-digitais. As estratégias de "paracrafting" ou "digital crafting" abordadas, dizem respeito a criar estratégias para transpor os princípios e formas complexas das criações via o design paramétrico para elementos analógicos e digitais, que remetem à tomada de consciência sobre o maquinário ser apenas parte do processo, às limitações de industrialização do Chile, e ao artesão como um ser tecnológico, para se estabelecer um processo de conversação entre os agentes, que resulta em híbridos entre o análogo e o digital. Sebastián comenta que, além dos objetos, o interesse por criar "máquinas analógicas", capazes de gerar determinados artefatos, acontece pelo desejo em se obter um processo material que simule procedimentos algorítmicos analogicamente, "criar objetos com a máxima resolução possível em sua forma, sua textura, e a força da natureza" (ROZAS, 2018). Ele considera (ROZAS, 2018) que a capacidade instalada das tecnologias de fabricação têm uma maior potência fora dos laboratórios, à medida que a sua aquisição e uso se torna difundida, vai se tornar algo que não agregará mais um fator especial ao produto, e aponta para a necessidade de entrecruzar toda essa potencialidade com as necessidades do mundo.

9) Sistemas construtivos adaptados: Lamo3D (Brasil); InovaHouse 3D (Brasil); TPED (Brasil); SubDv (Brasil); AABB – Associated Architects Beyond Borders (Argentina); LAGEAR (Brasil); FabLab Belas Artes (Brasil).

O InovaHouse 3D surgiu em Brasília, no ano de 2015, quando fundado pelo grupo de engenheiros Juliana de Almeida Martinelli, Marcus Vinicius de Resende Maia Leite, Mariana de Mello Duarte e Bruna Campos Figueiredo, que formaram o escritório/empresa, focado no desenvolvimento de tecnologias de manufatura aditiva para a construção. O trabalho consiste, desde a sua concepção, na criação de equipamento e na investigação técnica acerca de materiais cimentícios que possas ser utilizados para realizar experimentos construtivos no canteiro de obras. Como resultados, geralmente produzem artefatos como protótipos de peças e elementos construtivos. O objetivo da sua aplicação era criar soluções habitacionais sustentáveis para regiões carentes e reduzir o impacto do uso de recursos feitos pelos métodos de construção tradicional. Como uma startup, oferece também serviços de impressão 3D e consultoria, e tem desenvolvido protótipos do maquinário que foram apresentados em feiras e eventos,

a fim de captar investimentos para a continuidade das pesquisas e experimentos. Um desses protótipos foi elaborado e montado por eles, baseado na tecnologia de impressão "Concrete Printing", com sistema de deslocamento cartesiano, bico e bombeamento próprios, com dimensões para imprimir peças do projeto ou elementos construtivos. A dificuldade está em diversificar as possibilidades de aplicação dessa tecnologia e atrair interesse do setor de construção para fabricar de maneira automatizada artefatos no local.

O Grupo de investigação Teoria e Projeto na Era Digital (TPED) foi iniciado em 2005 pelos arquitetos Eduardo Sampaio Nardelli, Charles de Castro Vincent, Luiz Alberto Fresl Backheuser, na Universidade Presbiteriana Mackenzie. Em 2010, iniciaram as atividades com a fabricação digital por meio da aquisição de uma fresadora CNC para dar suporte à pesquisa, ao integrarem uma "rede formada por 7 universidades (Mackenzie, UNICAMP, USP/Politécnica, UFPR, UFRGS, UFBA, UFC), financiada pela FINEP, para estudar possíveis aplicações das TICs, na produção de Habitação de Interesse Social. Neste contexto, um dos subprojetos desenvolvidos pela Grupo de Pesquisa foi a produção de um protótipo de HIS utilizando a metodologia Wikihouse, a partir de 2013" (NARDELLI, 2018). Logo, a investigação incorporou estratégias de design paramétrico para a criação e controle de elementos construtivos baseados em uma proposta de projeto unificada, que pudessem ser fabricados, testados e aprimorados ao longo do tempo. As práticas e expertise foram consolidadas e compartilhadas com os estudantes da instituição por meio de oficinas de design generativo e gramática da forma. O laboratório, que compartilha seu maquinário com a área de maquetaria digital da faculdade de arquitetura, possui 3 cortadoras laser, 1 fresadora CNC, 5 impressoras 3D e outras ferramentas para a produção. Como resultados, geralmente produzem modelos arquitetônicos, e protótipos de design que incluem elementos construtivos e mobiliário.

Segundo Nardelli (2018), o contato com referências do exterior e bibliografias relevantes sobre as mudanças na era digital transformaram o seu modo de pensar e contribuíram para a aproximação com estratégias de fabricação digital para romper com o padrão de produção existente, por volta de 2007, e o que os levou a organizar o SiGraDi em 2009. Com o tempo, os interesses do grupo convergiram para a implementação do uso de BIM, processos generativos e fabricação digital, inclusive, na tentativa de articulação com setores de regulação e o setor da construção. De acordo com Nardelli, o uso da fabricação digital para uma arquitetura avançada pressupõe uma evolução paradigmática e cultural, e que "o processo aqui é bem lento,

independente de envolver a fabricação digital, mas claro que, nesse caso, a fabricação digital ganha uma relevância muito grande", percebendo que "independentemente disso, já há casos de uso da fabricação digital na indústria [...], é um processo de fabricação muito mais inteligente que vai sendo usado pelas indústrias, que incorporam isso, nós aqui estamos engatinhando, mas é uma realidade" (NARDELLI, 2018). As dificuldades encontradas na criação e materialização dos artefatos são a aquisição de conhecimento técnico dos profissionais envolvidos, apoio profissional da Instituição e a infraestrutura do laboratório, além das limitações em relação ao prosseguimento do trabalho em nível de pós-graduação. Para ele, um maior diálogo entre academia e os setores de produção deveriam ser buscados para se sobrepujar barreiras de experimentação e avanços técnicos. A possibilidade de contextualização do trabalho poderia vir "de equacionarmos a demanda de comunidades moradoras de áreas de ocupação irregular e, com elas, debatermos soluções utilizando a fabricação digital", já que "a gente poderia, a partir dela, resolver problemas complexos por demandas sociais nossas" (NARDELLI, 2018).

O Laboratório de Modelos e Fabricação Digital (Lamo 3D) é um laboratório estabelecido na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), em 2013, pelos professores Gonçalo Castro Henriques e Andrés Passaro. O laboratório integra atividades de ensino, pesquisa e extensão, pertencendo ao Programa de Pós-Graduação em Urbanismo (PROURB) da FAU UFRJ. Por meio delas, procura a integração da concepção de projeto com a fabricação analógica e digital, utilizando técnicas e processos algorítmicos e paramétricos, além de parcerias com laboratórios de diferentes áreas de pesquisa da UFRJ e externos. Gonçalo comenta que a oportunidade de aprender algo relacionado à computação e à fabricação digital ocorreu no mestrado em Barcelona e que, após o doutoramento, pretendia trabalhar com essa formação específica, mas não tinha para onde ir (HENRIQUES, 2020). Quando iniciou no Lamo, não havia ninguém programando, começaram com workshops mas, logo depois, inseriram disciplinas de graduação e de programação que não existiam, a fim de "fazer uma formação gradual de alunos de graduação, que vão passando a outros e criando uma massa crítica de pessoas que são mais fluentes em programação" (HENRIQUES, 2020). Segundo os coordenadores, o laboratório desenvolve pesquisa teórica e prática integrada, capacitando técnicos, profissionais e estudantes, numa estrutura descentralizada e em rede horizontal, com projetos elaborados por alunos e professores.

Estão organizados, basicamente, em três linhas: sistemas generativos e algorítmicos, fabricação digital e a ligação entre arquitetura e urbanismo. A estratégia

de trabalho dos coordenadores foi "juntar uma característica natural de fabricação digital com a parte de código, e começamos com workshops aplicados a temas, onde a gente tentava preparar com antecedência uma pesquisa, o workshop para acelerar a pesquisa, e depois continuávamos com pequenas pesquisas" (HENRIQUES, 2020). Complementa que as disciplinas colocam problemas aplicados para se desenvolver soluções com algoritmos, introduzindo uma maneira de pensar e as ferramentas de uma forma mais básica, já os workshops, são oportunidades de desenvolver aplicações específicas num tema, complementados por palestras de pessoas de vários lugares para compartilhar os conhecimentos de várias universidades, os exercícios aplicados que resultam em projetos que, cada vez mais, são materializados utilizando-se métodos de fabricação digital. No espaço, que converge grande área de trabalho e ferramentas convencionais de maquetaria, possuem 2 cortadoras laser, 2 impressoras 3D e outros equipamentos para suporte das atividades, utilizando, com frequência, equipamentos de terceiros para corte com fresadora CNC.

Como resultados, geralmente produzem artefatos como modelos arquitetônicos, modelos artísticos, protótipos de design, objetos híbridos (analógico+digital), objetos pedagógicos, componentes construtivos, componentes arquitetônicos, superfícies, peças de mobiliário, componentes para máquinas, objetos de representação histórica e artefatos para reparo. No decorrer da trajetória de atividades, empenharam-se em desenvolver soluções na escala real, como a adaptação de um projeto Wikihouse, e outros avanços técnicos, como a proposição de impressora 3d de concreto feita em colaboração com empresas locais. As dificuldades encontradas são a obtenção de recursos financeiros, apoio profissional da Instituição e infraestrutura do laboratório, além de, segundo Gonçalo, "não adianta eu pensar especificamente na extensão se a visão científica de governo não estiver orientada para promover a inovação, porque precisa ter um desígnio para ele poder chegar num nível mais amplo" (HENRIQUES, 2020). Face a essas dificuldades, tentam dialogar com outros núcleos da Universidade, colaborações em rede, e apontam como uma necessidade quebrar a barreira com a indústria "uma questão é que precisa ter uma visão sistêmica, de indústria, mais madura, para não serem atividades pontuais, mas aí precisa de um envolvimento a nível governamental" (HENRIQUES, 2020).

O escritório Subdv foi um dos primeiros estabelecidos em nossa região que se dedicaram a implementar práticas de projeto baseadas no uso do design computacional e complementadas pelo uso de tecnologias para prototipagem e fabricação digital, liderados por Franklin Lee e Anne Save de Beaurecueil, a partir de 2008, em São Paulo.

Tornaram-se expoentes das novas tecnologias para o público da área ao capitanearem uma série de workshops da AA Visiting School, uma atividade de integração entre profissionais e, também, de extensão, que vem se realizando desde 2010[58], num primeiro evento em que transportaram uma fresadora CNC para um espaço próxima ao local, onde puderam executar os projetos desenvolvidos para instalações de infraestrutura urbana num viaduto da cidade. É por meio dos workshops e de alguns de seus projetos que buscam colaborar com a sociedade civil, instituições de ensino e pesquisa, para repensar práticas tradicionais e artesanais na construção, sejam eles direcionados para distintas classes e comunidades.

As origens do interesse da dupla pela computação e fabricação estão vinculadas à sua passagem pela Columbia University durante seus mestrados, em que utilizaram maquinário CNC e tiveram contato com figuras seminais como Greg Lynn, Bernard Tscumi, Karl Chu, entre outros. Após o período nos EUA, seguiram para a AA em Londres, onde desenvolveram estratégias de projeto baseadas em enviromental design, utilizando os alunos e colaboração com escritórios, "começamos a aprender as coisas 'cutting edge', então tínhamos essa ligação importante entre engenharia e arquitetura, e ensinando no AA" (LEE; BEAURECUEIL, 2018). Quando se mudaram para o Brasil, empregaram boa parte da experiência e metodologia em projetos particulares e em colaborações, em que as tecnologias de fabricação foram empregadas, inicialmente, "com essas maquetes pequenas, depois coisas maiores, mesas, então nós gostamos muito desta escala, porque é uma escala onde você desenha um dia e à tarde você ja tem o protótipo" (LEE; BEAURECUEIL, 2018). Possuem acesso a 2 impressoras 3D e 1 fresadora CNC, e, algumas vezes, utilizam equipamento de terceiros. Como resultados, geralmente produzem artefatos como modelos arquitetônicos, protótipos de design que incluem elementos construtivos e mobiliário, além de investirem na materialização de formas complexas. As dificuldades encontradas na fabricação dos artefatos são a aquisição de certos materiais.

A abordagem dos seus projetos no país tem seguido o que chamam de "high-low", que surgiu, primeiramente, como uma necessidade, após a crise internacional de 2008 "não tínhamos mais projeto e voltamos pro Brasil, e sabíamos que não ia funcionar no Brasil, e aí a gente achou essa oportunidade, também, de poder trabalhar com o 'high-low' nosso conhecimento de computação, com uma mão de obra não tão especializada" (LEE; BEAURECUEIL, 2018). Isso os levou a estabelecer diálogo com profissionais para chegar a denominadores técnicos comuns para executar as obras,

58 <https://saopaulo.aaschool.ac.uk/aa-nai-design-workshop-2010/>

como com os escultores que trabalham com isopor no fibramento do móvel no projeto "Cloud" e também o mestre de obra que aprendeu a assentar os blocos de concreto seguindo o gabarito oferecido pelo escritório no projeto "Coblogó", além de trabalhar com a matéria prima que pode ser reutilizada no projeto "Remix", de um hotel em São Paulo, onde móveis existentes foram reciclados através da parametrização e da fabricação digital. Como questões a serem ampliadas, segundo Anne, percebem que a atenção em relação a esses temas está crescendo, mas que é necessário ter um pouco mais de incorporação no dia a dia do projeto acadêmico, e que "precisa de colaboração com grandes instituições, sejam grandes empresas de arquitetura, indústria..." (LEE; BEAURECUEIL, 2018). Outra indicação em relação a recepção das propostas do escritório é que passaram a "não falar sobre tecnologia, mas sobre os efeitos dessa tecnologia" (LEE; BEAURECUEIL, 2018).

O LAGEAR surgiu na Universidade Federal de Minas Gerais como um grupo de pesquisa interessado nas novas tecnologias de informação, pela concepção de José dos Santos Cabral Filho e Ana Paula Baltazar, em 1993. Desde 2012 estão investigando a fabricação digital como oportunidade para responder a problemas locais, vinculados à informalidade da construção, potencializando a participação dos usuários e geração de peças materiais. O grupo está organizado em 3 áreas de pesquisa, com o primeiro focado em sistemas de baixo custo ligados a locais remotos com computação física e eletrônica, o segundo em ambientes de imersão e visualização do design, e o terceiro em design paramétrico e fabricação digital.

10) Formação, investigação e desenvolvimento de atividades lúdicas: PoaLab (Brasil); GEGRADI (Brasil); Fab Lab Unipiloto (Colômbia); LEFAD (Brasil); DOMVS/ LEAUD(Brasil); GIDCAD (Argentina); FABDig (Brasil); FabLab Unilasalle (Brasil); In Forma 3D (Brasil); LAB.AU (Brasil); Fab Lab Unisul (Brasil); Fab Lab Unisinos (Brasil), LIP (Brasil); LAMP (Brasil).

O GEGRADI foi criado em 2012, por Adriane Borda Almeida da Silva, na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas (UFPel). Desde então, tem contribuído com processos de ensino e extensão direcionados ao aprimoramento de conhecimentos relacionados à geometria, criação de objetos lúdicos e pedagógicos, estudos e prototipagem de objetos históricos para catalogação e difusão.

O Fab Lab Unipiloto foi formado em 2016, por Juan Diego Ardila e Gabriela Gonzales Faria, na Universidad Piloto de Colombia (UNIPILOTO). O espaço oferece maquinário digital para a realização de modelos dos alunos em disciplinas específicas voltadas aos processos de projeto digital e complementado por atividades como oficinas de criação de materiais e projetos de iniciação científica.

O FABDig foi estabelecido em 2015, no Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, sendo coordenado por Anja Pratschke. O espaço de maquetaria foi adquirindo máquinas digitais e fornece suporte aberto para atividades de ensino e investigação, possibilitando o desenvolvimento de protótipos e elementos construtivos em escala, de diversos grupos de pesquisa, como ARQUITEC, HABIS, NEC e NOMADS.

11) Projeto e desenvolvimento digital arquitetônico: Protobox (Brasil); Nimbu (Brasil); Chidostudio (Chile); Faberarium (Colômbia); Studio d.lux (Brasil).

O Studio d.lux foi criado em São Paulo, por volta de 2012, por Denis Fuzii, Daniel Ogata, Beatriz Guedes, Thais Zuchetti e Marina Ronchi Schiavo, como um escritório de design e de arquitetura. Tem parcerias estabelecidas com opendesk.cc, além de criarem uma plataforma própria de design aberto via fabricação digital, a monodesign.com.br.

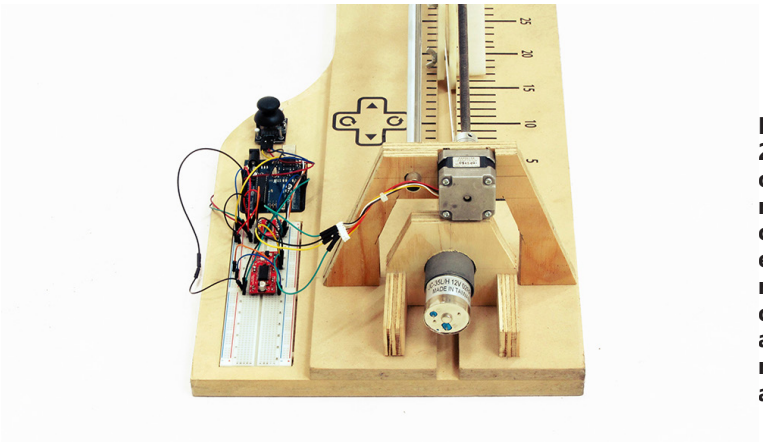
O Protobox é um escritório de arquitetura e design criado em Campinas, em 2014, por Renata La Rocca e Wilson Barbosa Neto, trabalhando com processos digitais paramétricos e criação de propostas que convergem para o prototipado e fabricação.

12) Outros: Fab Lab CBA (Brasil); Usina Fab Lab (Brasil); Galpão Makers (Brasil); Fab Lab Bolivia (Bolívia); JIT FAB LAB (Bolívia); CNC Studio (Chile), Orange Fábrica Digital (Chile), Fab Lab Cali (Colômbia); FabLab Uniandes (Colômbia); Fab Lab Ecuador (Equador); Fab Lab ZOI (Equador); FABLAB Universidad Paraguayo Alemana (Paraguai); Fab Lab USMP (Peru).

Aplicações das tecnologias: atlas de processos e artefatos

O resultado complementar à análise da situação dos laboratórios é o que denominamos por um "atlas" com as informações e as imagens obtidas acerca da produção dos laboratórios durante o período da pesquisa, organizados por características similares contidas nos artefatos e em relação às suas inserções em cada contexto. Além disso, enquanto um dispositivo de representação, o atlas fornece uma sistematização visual que pode ser expandida e complementada no avanço da pesquisa, pois analisa uma produção em constante mudança e atualização[59].

Gt2P – Dysgraphia (Santiago, 2014): Um projeto sobre a desordem na linguagem e os erros de programação, para questionar o processo de geração de objetos, em relação à capacidade de resolução fabricada pela tecnologia utilizada ser distinta da capacidade de resolução do modelo digital criado.



FabHaus – Digital/análogo (Santiago, 2015): Mais do que objetos conceituais, o projeto apresenta um plantel de máquinas e sistemas constituídos por componentes eletrônicos descartados, equipamentos reutilizados e materiais reciclados, capazes de conceber outras tecnologias conceituais que associam o pensamento digital por meios analógicos para o fabricar automatizado.

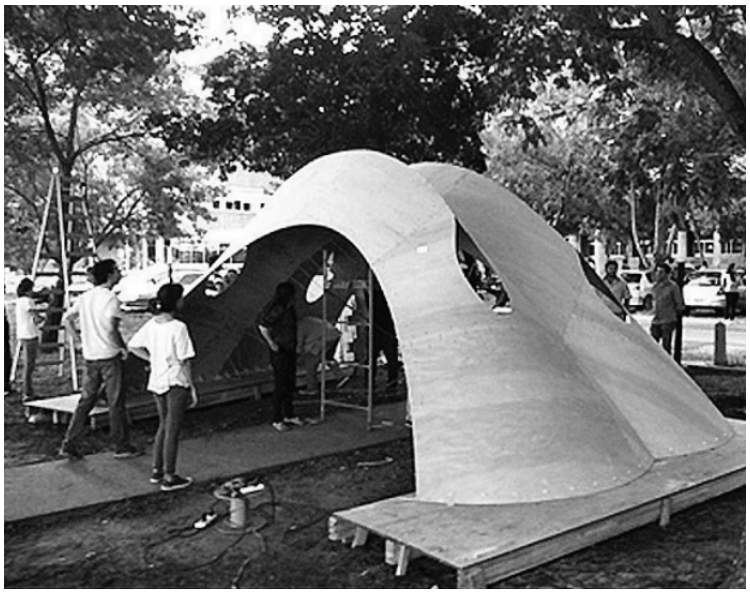
59 As imagens para o atlas foram enviadas voluntariamente pelos laboratórios ou foram extraídas dos próprios websites e redes sociais dos mesmos.

Estúdio Guto Requena – Love Project (São Paulo, 2014): Estratégia generativa de design digital que modela objetos escultóricos a partir de dados obtidos por sensores que captam atividades cerebrais, do ritmo cardíaco e da voz, como forma de obter as emoções da história de uma pessoa e gerar um objeto customizado impresso 3D.

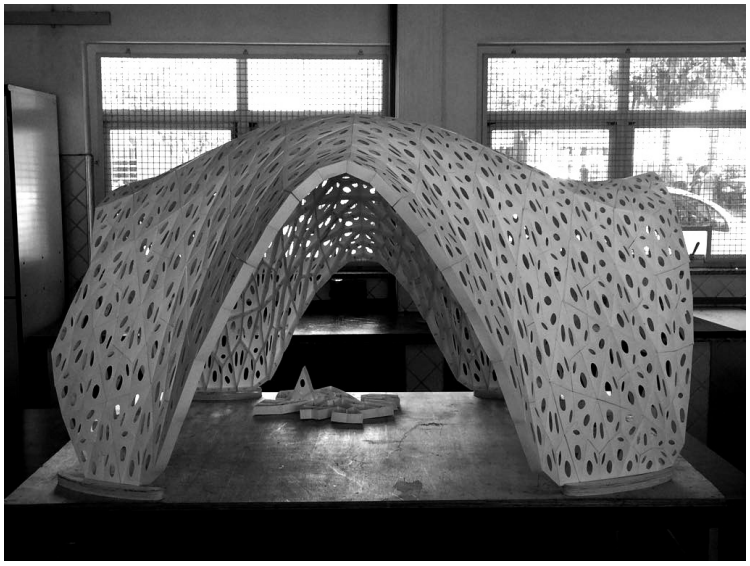
Gt2P – [da série] Losing my America (Santiago, 2014): Artefato criado como parte de uma exibição, representa a identificação de técnicas de trabalho artesanal em colaboração com processos digitais, convergindo dois mundos na reelaboração experimental de peças icônicas de diferentes culturas, como no caso, criado com os artesãos chilenos Sergio García e Marco Donoso, feito em cerâmica, a partir de moldes [nessa série, também Guto Requena propôs um projeto].

Tu Taller Design – Recipiente Andes (Tolima, 2018): A partir do design digital que gera um modelo impresso 3D, o recipiente cerâmico para alimentos é feito à mão com "barro de la chamba", uma técnica local executada por comunidades artesãs, em que é aplicado um efeito de textura e acabamento de pigmentação com cinzas.

LabFabMVD – Pavilhão Dieste (Montevidéu, 2017): Resultado de um workshop, o pavilhão explora, por meio de técnicas computacionais, resoluções estruturais aplicadas pelo arquiteto Eladio Dieste em seus projetos, produzido com placas finas de compensado que foram cortadas e dispostas de maneira ondulada para garantir a estabilidade estrutural da montagem em escala 1:1.



CID – SSFS Pavilion (Santa Fé, 2015): A partir da prática de design colaborativo, com padrões de corte e montagem de peças multicamadas finas de madeira guatambu com 6 mm de espessura, resulta em um envelope único e autoportante com grande resistência estrutural e que cobre uma distância de aproximadamente 9 metros através de deformação física.



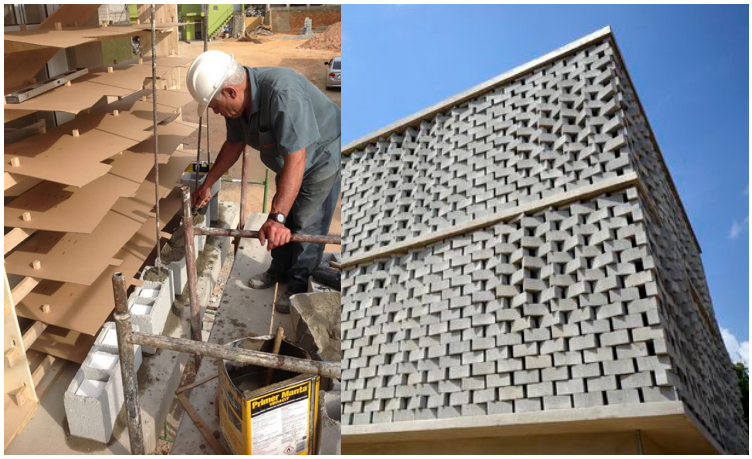
Lapac – Funicular sheels (Campinas, 2018): Baseado num exercício de prática de pesquisa aplicado a um workshop com alunos para o desenvolvimento de sistemas estruturais funiculares leves, materializados com peças laminares de ACM cortadas na fresadora CNC e conectadas entre si para a montagem do objeto em escala.

Atelier Marko Brajovic – O3 Pavilhão (São Paulo, 2017): As três estruturas de cúpulas baseadas em geometria voronoi foram projetadas como elementos atomizados em que cada um deles representa um espaço sensorial, no qual as placas personalizadas de policarbonato alveolar foram produzidas utilizando uma máquina de corte.

TaMaCo – Pavilhão Furetsu (Buenos Aires, 2017): Criado pelo estúdio Formosa Design como instalação para um evento itinerante na Argentina, é composto de um esqueleto estrutural em madeira, com peças cortadas em fresadora CNC, encaixadas para formar um elemento de dupla curvatura suportando peças de plástico translúcido, cortadas a laser, dobradas e encaixadas em módulos customizados.

Lamo 3D – Pavilhão Tornado (Rio de Janeiro, 2017): O projeto surgiu de uma atividade didática em que foi concebida uma intervenção temporária no espaço público, gerando um local de permanência e descanso, sendo composto de superfícies regradas geradas digitalmente e construídas a partir de peças de madeira serradas, com demarcações de encaixe efetuadas com cortadora a laser.

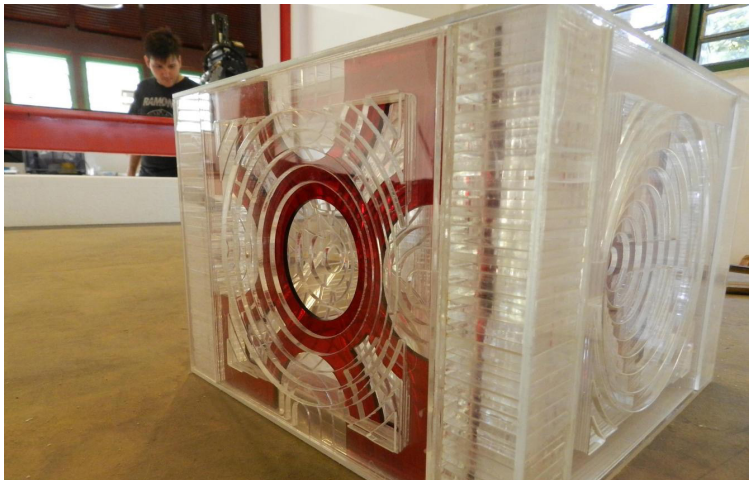
Fab Lab Lima – Fab Lab flutuante Amazônia (2014): Apesar de não ser construído com as tecnologias digitais, foi uma proposta de projeto para um espaço móvel capaz de levá-las às comunidades mais distantes na amazônia.



Subdv – Coblogó (São Paulo, 2014): Baseado num processo de modelagem e simulação ambiental, são geradas variações de rotação dos blocos de concreto das fachadas da edificação, utilizando-se uma estratégia denominada High-Low, em que por meio da computação, são gerados moldes cortados a laser e montados como guias para uma mão de obra não especializada.

FabLab Universitario CIDI – Parabrick (Assunção, 2017): É um dispositivo que fornece suporte para linhas-guia que funcionam para a orientação de diversas composições geométricas de alvenaria, fabricado digitalmente com peças de madeira cortadas com fresadora CNC e encaixadas, e a estrutura pode ser montada no canteiro de obra e assim facilitar o trabalho manual.

Fab Lab SP – Forma para calçada drenante (São Paulo, 2017): As peças seccionadas digitalmente e fabricadas em compensado naval cortadas com fresadora CNC são encaixadas para formar moldes variáveis em suas dimensões e angulações, para produzir em série canaletas pré-fabricadas em microconcreto de alto desempenho, utilizadas em sistemas de drenagem.



LED – Design de precisão (Fortaleza, 2015): Uma peça única, um diagrama capaz de simular fisicamente 4 tipologias de cobogó e suas variações geométricas, composto de acrílico em distintas camadas cortadas a laser, que informa sobre as condições de conforto em cada orientação, relacionados a vento e a luz, representando tanto a ideia de exatidão quanto de necessidade.

FabHaus – Nó # (Santiago, 2018): Consiste em um sistema construtivo para casas em madeira de baixo custo, em que as peças de junção da estrutura permitem a construção em módulos das peças, que possa ser continuamente expandido e não requer força de trabalho qualificada.

LM+P – Casa Nordeste (João Pessoa, 2017): O projeto, proposta para o Solar Decathlon, investiga estratégias digitais para construir uma residência de baixo custo que contempla a eficiência de conforto e desempenho térmico para a região, além do uso de materiais e produtos sustentáveis, utilizando a fabricação digital para o corte das peças da estrutura de compensado naval, junções estruturais e princípios de montagem.

Tu Taller Design – Casa Abierta (Rio Negro, 2017): Criada como um protótipo experimental de uma casa em escala 1:1 para a Feira de Design de Medellín, o projeto é uma proposta sustentável composta de sistema modular com treliças laminares e chapas de madeira para fechamento, cortadas com fresadora CNC e pré-montadas, estabelecendo um resultado robusto e customizável.

Lamo 3D – Casa Revista (Rio de Janeiro, 2015): Baseado no sistema WikiHouse, a estrutura e a espacialidade foram adaptadas às condições técnicas, de moradia e de conforto térmico local, em que as peças de madeira compensada são cortadas em fresadora CNC e unidas em pórticos para receber elementos de fechamento e cobertura.

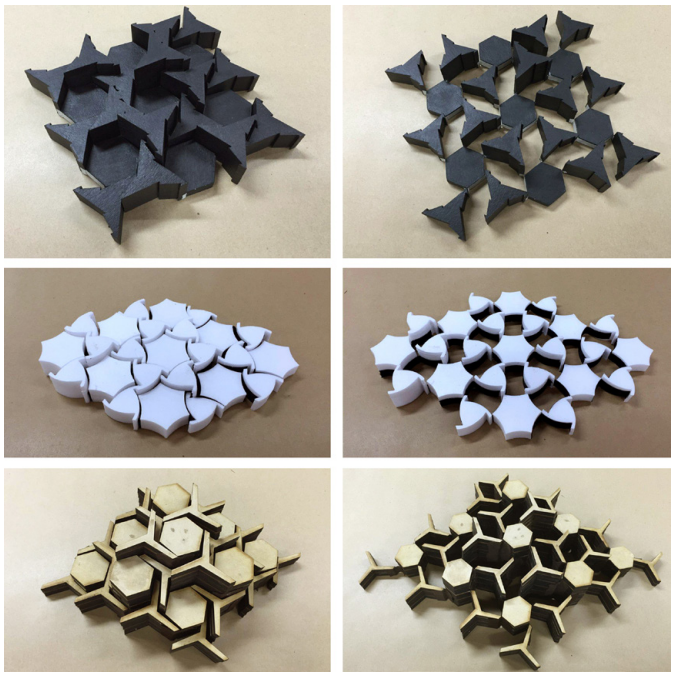
FAB ARQ PMO – Casa Corredor (Santiago, 2016): Módulo estrutural desenvolvido para uma habitação, que pode ser replicado, baseado em métodos de encaixe desenvolvidos a partir do sistema WikiHouse.

Lagear – Woki (Belo Horizonte, 2015): É um sistema de construção aberto, baseado na proposta da Wikihouse que, por meio do design paramétrico e da fabricação digital por corte com fresadora CNC de painéis OSB, permite a participação do usuário na geração de uma estrutura interna que pode ser revestida com uma diversidade de materiais duráveis.

TPED – MackHaus (São Paulo, 2016): O projeto propõe o desafio de conceber uma casa projetada por meios digitais, baseada na Wikihouse e executada com peças de painel aglomerado OSB cortadas com fresadora CNC, para atender pré-requisitos do programa "Minha casa, minha vida".

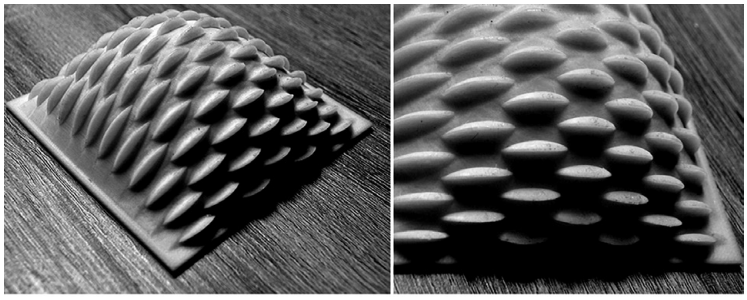
Frontis 3D – Sistema de fachada de alta performance Sem Ingeniería (Bogotá, 2014): Sistema celular criado para conceder conforto térmico e lumínico para o interior da edificação, foi constituído a partir de uma geometria voronoi com placas metálicas perfuradas, cortadas e soldadas para resultar na composição volumétrica de uma "segunda pele".

CID – Pieles Arquitectónicas Dinámicas (Santa Fé, 2013): a partir de uma investigação sobre composições de peças dobradas, foram prototipados elementos de proteção com superfícies cortadas em padrões a laser, constituindo um elemento de 30 x 30 cm que conforma um sistema analógico-digital conectado por meio de sensores e microcontroladores.

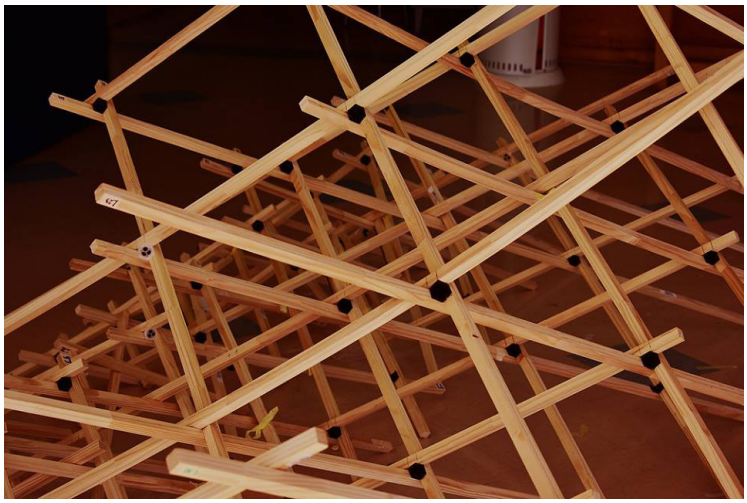


IEHU – Tramas expansíveis (Buenos Aires, 2014): Experimentos morfológicos que utilizam padrões de corte em superfícies que se transformam de maneira uniforme e progressiva, expandindo e adaptando-se a outras formas tridimensionais.

+ID Lab – A.L.A.D.A. (Buenos Aires, 2017): É um objeto criado em colaboração com o Laboratório de Morfologia (FADU-UBA) e TaMaCo para uma instalação, em que a experimentação investiga relações entre a forma, o material e o comportamento estrutural, além de explorar efeitos simbólicos com o uso de elementos planos para um resultado tridimensional e escultórico.



Morfolab – Superfícies Bio-inspiradas (Medellin, 2018): Os objetos resultam do propósito de unir superfícies e texturas em investigações com padrões inspirados nas espécies vegetais da região, em que, utilizando-se a modelagem digital, são criados elementos adaptativos com fresadora CNC e manufatura aditiva, que podem ter distintas aplicações no design de produtos.



Dum Dum Lab – Estructuras Discretas (Valparaíso, 2018): Consiste em estruturas exploratórias com elementos regulares de madeira montados com variações de posicionamento entre as peças em seus ângulos e eixos, unidas por peças impressas 3D em PLA, conformando instalações baseadas em geometrias discretas.

LabFabMVD – Simbionte urbano (Montevidéu, 2015): Um artefato tectônico, criado a partir de um workshop colaborativo multidisciplinar por meio de um processo generativo baseado na conformação de organismos parasitas, foi produzido em placas de MDF cortadas com fresadora CNC e encaixadas para formar uma instalação no topo de um prédio histórico da cidade, revitalizando a representação de um domo colapsado que ali existia.

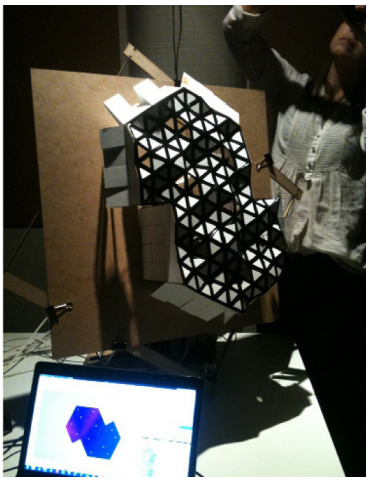
Estúdio Guto Requena – Empatias mapeadas (São Paulo, 2018): É uma instalação que oferece um espaço no formato de câmara para descanso e contemplação, informada por sensores que controlam efeitos de som e luz, em que as peças de madeira, cortadas por fresadora CNC e encaixadas, abrigam um sistema interativo que envolve, de maneira sensória, os usuários.

Nodo39 FabLab – Estructura-bastidor de tejido (Mendoza, 2017): é uma estrutura de madeira criada digitalmente para apoiar telas e pontos, com a finalidade de constituir um tear de tecido, gerando uma instalação temporária criada para apresentar e conservar técnicas têxteis antigas dos indígenas da região central da Argentina, em um evento da indústria criativa da cidade.

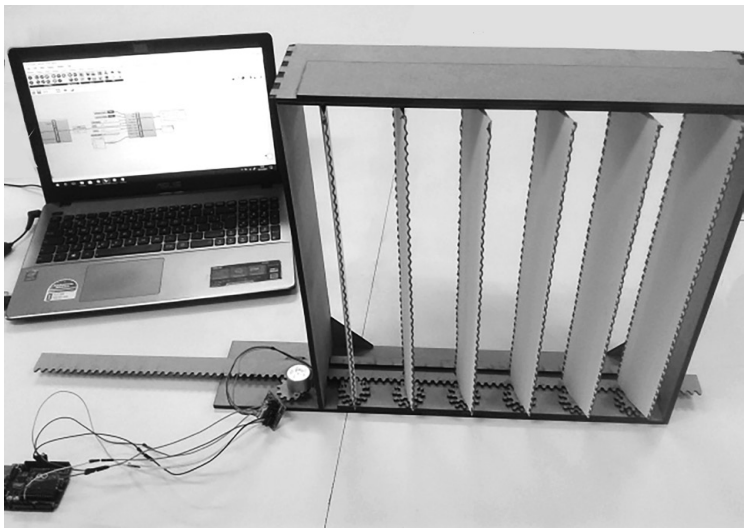
Aconcagua FabLab – Dispositivo têxtil (Valparaíso, 2015): É um artefato que reproduz um pequeno tear, facilitando a criação de pequenas peças têxteis e levado ao público a partir da proposta itinerante do laboratório, é composto de peças de madeira e acrílico cortadas a laser, e a fabricação do objeto tem o objetivo de renovar o interesse pelas técnicas têxteis da região.

Fab Lab UNI – Tear de pedal (Lima, 2012): Mecanismo criado com placas de MDF cortadas em fresadora CNC, que facilita a sua montagem e desmontagem por meio do encaixe das peças, para o uso de artesãos, ou mesmo no aprendizado por parte de pessoas comuns do processo de tecer diversos tipos de tecidos.

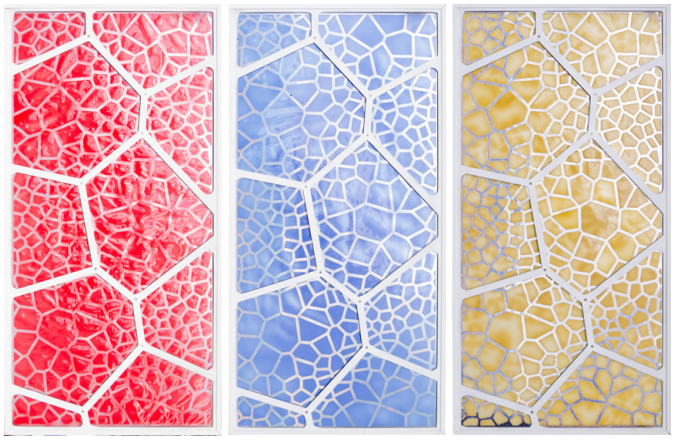
Gt2P – Less N°1 Catenary Pottery Printer (Santiago, 2013/2014): É uma máquina analógica que funciona por meio de uma estrutura fixa com elementos ajustáveis, em que se utilizam parâmetros controlados manualmente para manipular o comportamento dos materiais, gerando objetos cerâmicos não-estandardizados que ressignificam técnicas artesanais no contexto digital.



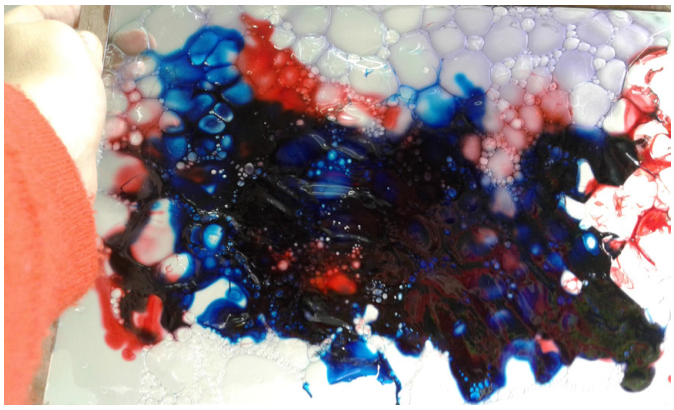
SimmLab – Interface de usuário tangível (Porto Alegre, 2014): Um dispositivo que simula a performance ambiental de modelos de edificações, vinculando ferramentas de análise virtual e física, foi construído por meio de peças cortadas a laser e impressas 3D, motores e controladores eletrônicos, que permitem uma visualização e correspondência, tanto na simulação do modelo real, quanto no modelo digital.



Nó.Lab – Objeto responsivo (Viçosa, 2017): O protótipo de um brise foi criado por meio de peças cortadas a laser, microcontroladores, motores e sensores ativados com plugins que simulam condições ambientais, respondendo às distintas trajetórias solares.

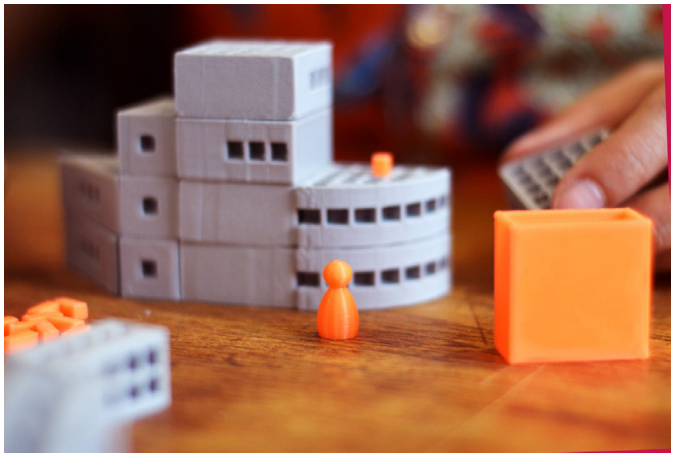


FabLab UTPL – Bio-termoplastic (Loja, 2017): É um elemento de proteção para fachadas que filtra a alta intensidade da radiação UV na região equatoriana, em que a geometria complexa de voronoi foi gerada a partir de modelo digital, composto por resina e acrílico termocrômico, que resulta em uma estrutura rígida materializada com o auxílio da impressão 3D.



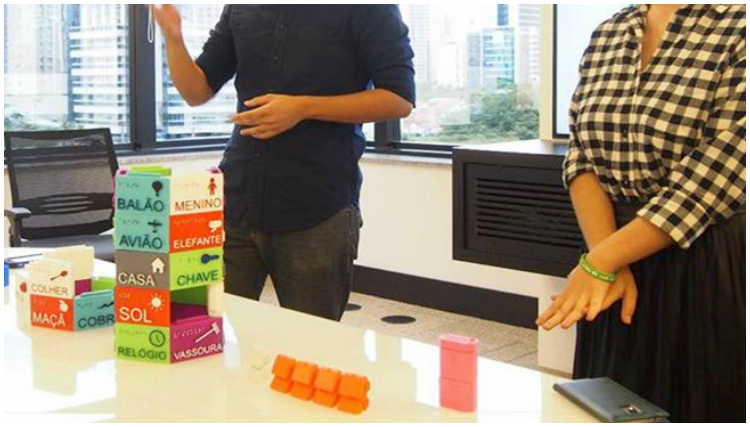
FabLab Unipiloto – Tecnologías Expresivas – Bioplástico (Bogotá, 2018): Compõem experimentos materiais desenvolvidos por meio de atividade de ensino que utilizam a modelagem de resinas biodegradáveis, com a finalidade de criar formas adaptáveis e irregulares, além de possibilitar que esse tipo de material possa ser testado com a aplicação de manufatura aditiva.

GEGRADI – Patrimônio arquitetônico na palma da mão (Pelotas, 2014): As peças, fabricadas por meio de impressão 3D e corte a laser, são representações de elementos constantes na arquitetura eclética de herança portuguesa na cidade, criadas tanto para garantir a memória do patrimônio histórico da cidade, quanto para se tornarem acessíveis por meio de modelos táteis.



DOMVS/LEAUD – Jogo de montar ArchBricks (Juiz de Fora, 2017): A proposta parte de um projeto aberto em que as peças em miniatura podem ser materializadas e adaptadas por meio da impressão 3D, utilizadas como um kit didático de ferramentas em que é possível montar simulações em escala reduzida de conjuntos habitacionais.

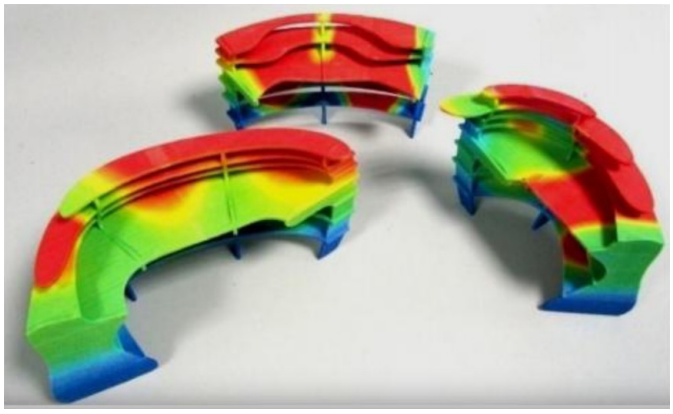
Fábrica diseño e innovación – Yo digital (Buenos Aires, 2018): Um artefato de madeira, em conjunto com um jogo de peças de memória que, por meio de uma interface digital e de elementos físicos, promove o ensino lúdico-recreativo para lidar com interfaces digitais como de acesso a bancos e aplicativos de celular, promovendo um desenvolvimento cognitivo e a maior independência de idosos.



Fab Lab Livre SP – Togotoy (São Paulo, 2017): Artefato lúdico inclusivo, composto por blocos modulares de formato retangular que se encaixam, promovendo a integração entre crianças com deficiência visual e crianças videntes no ambiente escolar, por meio de palavras escritas no alfabeto Braille, no alfabeto usual, e do símbolo correspondente em alto-relevo.

Exploratorio – Dispositivo de rádio móvel rádio manzana (Medellín, 2016): A partir de peças de madeira aglomerada e MDF cortadas, que em conjunto a componentes eletrônicos, forma uma base móvel e dispositivo rolante projetado para produzir conteúdo de rádio, que origina uma plataforma aberta para a comunicação sonora em espaços públicos, transmitido através de 4 formatos: alto-falantes, FM, Streaming e Podcast.

Aconcagua FabLab – Ação tecnológica convivencial (Valparaíso, 2014): O primeiro Fab Lab móvel do Chile, que conta com máquinas CNC e elementos de apoio para aproximar as tecnologias das comunidades, sendo uma ação direta da universidade no território, com o objetivo de mostrar suas vantagens para a produtividade local e despertar o interesse das pessoas.



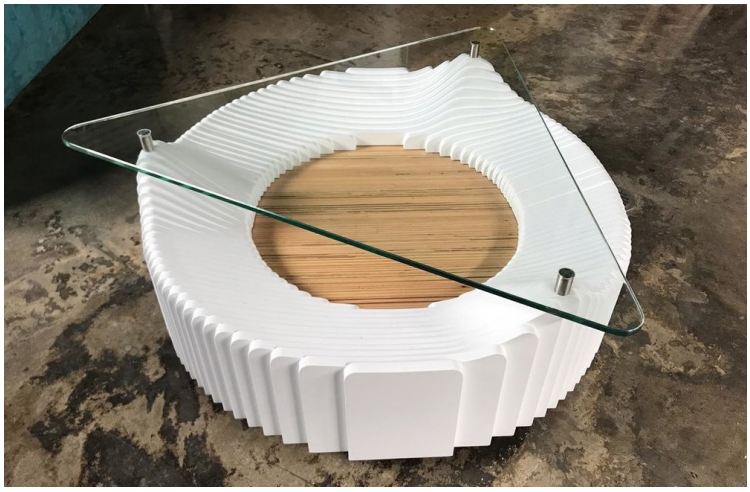
Lapac – Samba (Campinas, 2013): Um mobiliário de recepção desenvolvido para que o seu resultado transparecesse o processo de inovação tecnológica empregado, ao longo de etapas de concepção paramétrica seccionada, simulações e testes em escala, até a sua produção na indústria por meio de corte com máquina CNC de plasma de chapas de aço.

Subdv – Cloud (São Paulo, 2018): Por meio de uma topologia contínua, o mobiliário para o lounge em uma empresa de capital de investimentos, foi gerado em peças de isopor cortadas com fresadora CNC e unidas para servirem como formas para que, com um trabalho artesanal, cada peça fosse modelada utilizando-se uma camada de fibra de vidro.

algo+ritmo – Banco 50 (Campo Grande, 2015): O banco foi criado como elemento de descanso para um espaço de espera, em que a forma curvilínea e alongada foi materializada por meio de seccionamento e corte de peças planas, montadas com peças intermediárias e barras roscadas.

Pronto 3D – Cadeiras de montar (Florianópolis, 2018): Um conjunto de mobiliário de encaixe, criado a partir do uso da madeira, com peças planas cortadas na fresadora CNC, para que pudessem ser produzidas sem a necessidade de pregos, parafusos ou cola, e que fosse de fácil transporte, além do uso de materiais reciclados como parte do assento e encosto.

Studio d.lux – Cadeira Valoví (São Paulo, 2013): O modelo de cadeira com encosto, concebida para utilizar o menor número de peças com dimensões esbeltas, a fim de economizar material mantendo a estabilidade estrutural, é composta por 20 peças de madeira unicamente encaixadas.

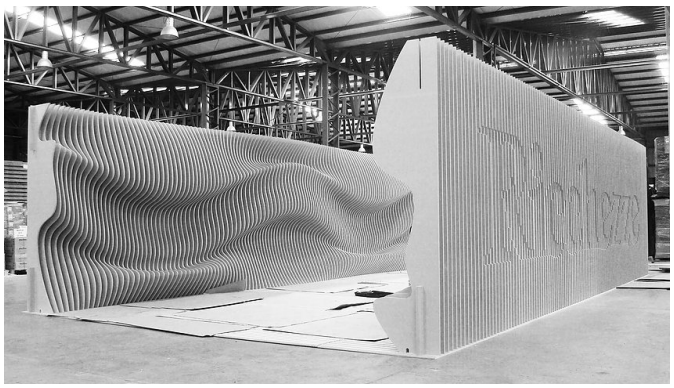


Pata de Gallo Colectivo – Mesa marfil (Cumbayá, 2016): Mesa de centro móvel em madeira, com projeto do volume seccionado em peças que foram cortadas com fresadora CNC e pintadas.

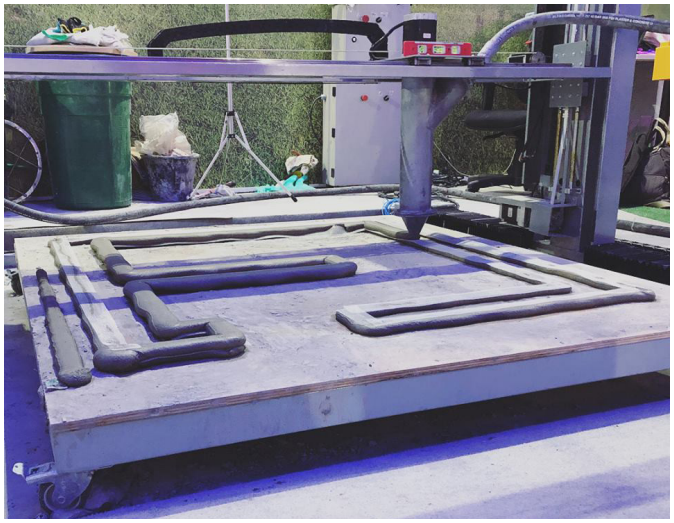
Brasília Fab Lab – Mesa Alta e Banqueta Dois (Brasília, 2018): A partir de peças planas de madeira cortadas na fresadora CNC, são encaixadas e intertravadas para formar o mobiliário de mesa e bancos que podem ser utilizados tanto em escritórios quanto em casa.

Protobox – Mobiliário Dobrá (Campinas, 2015): Conjunto de mesas e bancos que foram criados de maneira modulada para permitir variações de dimensões, em que as peças de aço para formar a estrutura são cortadas em máquina CNC de plasma.

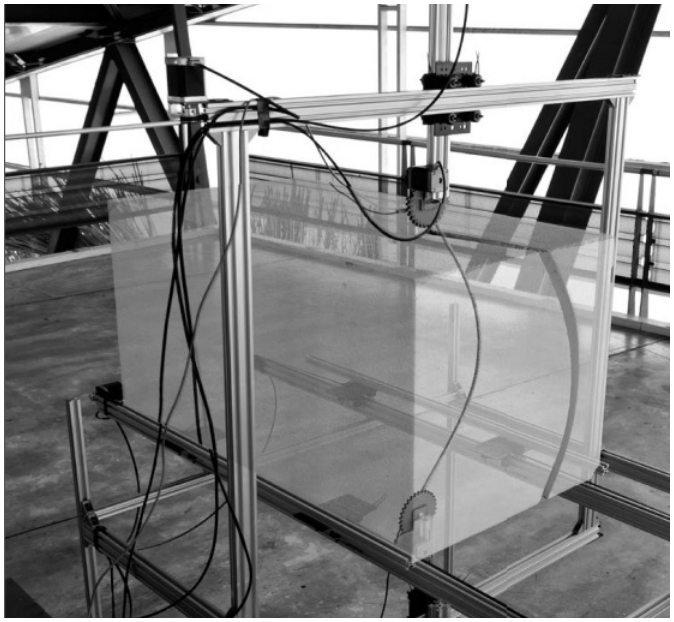
DGI-UBB – Bancapar (Concepción, 2013): Concebido como um banco e obra de arte pública, o objeto de dimensões variáveis ao longo de seu corpo curvilíneo, ocupa uma área de aproximadamente 10 x 2,5 m, criado a partir de 9 seções-guia, que permitiram a geração da forma e seccionamento em 106 tiras de aço, concebidas, inicialmente, para serem produzidas em máquina CNC de dobragem de metal, partindo para a dobragem mecânico-artesanal.



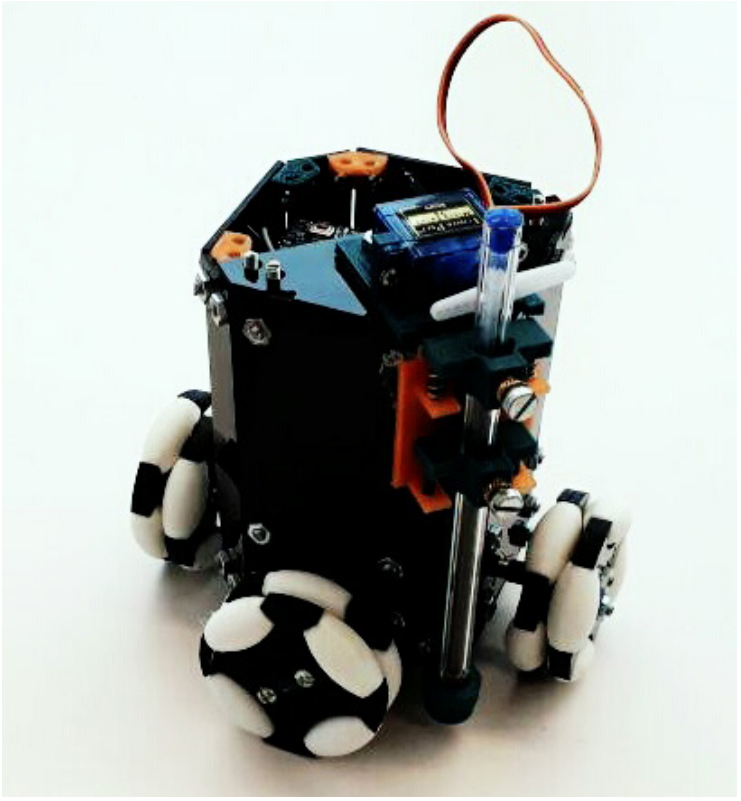
AABB – Pavilion Ricchezze (Córdoba, 2015): Pavilhão expositor criado para uma empresa de mobiliário em madeira, por meio de duas paredes contínuas que delimitam um espaço virtual interno, com sua geometria curvilínea variada na parte interna para abrigar distintas situações de acomodação do corpo, fabricado por seccionamento de placas de MDF.



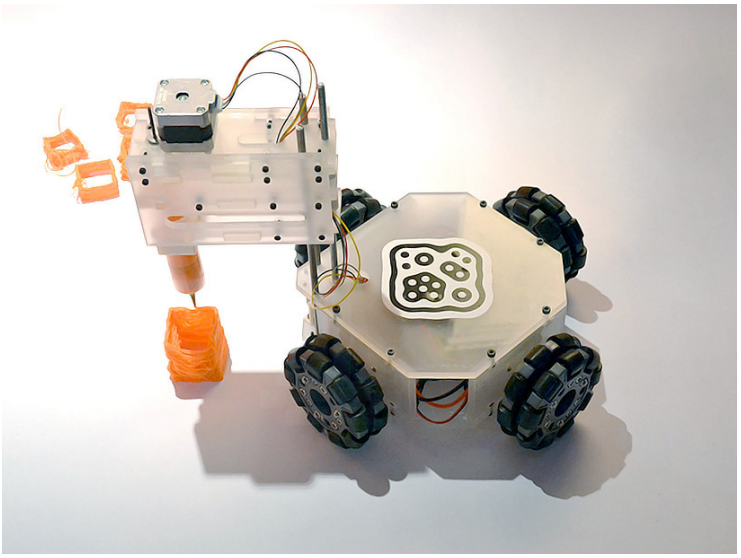
InovaHouse 3D – Alya130 (Brasília, 2018): Um sistema CNC que desloca por seus eixos uma ferramenta de depósito de material cimentício fluido por bombeamento, capaz de imprimir 3D elementos construtivos, ou mesmo, partes de uma residência.



Area Computacional – Flex 7D (Valparaíso, 2014): Consiste na criação de uma máquina CNC adaptada e de baixo custo para trabalhar com fio quente, cortando peças de isopor em elementos de dupla curvatura para serem utilizados como formas, elementos de preenchimento ou peças decorativas.



Fablab U. de Chile – Mini Plotter (Santiago, 2017): Um mini sistema robótico móvel com suas coordenadas controladas computacionalmente para desenhar bidimensionalmente em uma área livre, com parte das suas peças cortadas em fresadora CNC ou impressas 3d.



NEXT – 3&D Bot (Rio de Janeiro, 2014): Pequeno robô móvel que se desloca por rodas e, com suas coordenadas controladas computacionalmente, superar as limitações físicas e de área de impressoras 3d comuns, utilizando seringa para imprimir com material pastoso,como argila e cerâmica.

Fablab U. de Chile – Impressora 3d multimaterial (Santiago, 2018): Equipamento criado a partir de uma Makebot Replicator 2 hackeada, utilizando um sistema de seringa e pressão, deposita material pastoso sobre a bandeja, como silicone e alguns tipos de argila.

NEXT – 3D Printed Ceramics (Rio de Janeiro, 2017): A partir de uma impressora delta, criada no laboratório, foram desenvolvidos pequenos artefatos cerâmicos esmaltados com a colaboração da artista Alice Felzenszwalb.

Area Computacional – Encaixes de madeira roboticamente fresados (Valparaíso, 2016): Com o intuito de refazer junções em madeira para estruturas tradicionalmente desenvolvidas em carpintaria, utilizou-se um braço robótico com ferramenta fresadora para criar peças de encaixe com refinamento e precisão.

4. ELEMENTOS PARA UM ITINERÁRIO CRITICO

O fascínio pelas tecnologias computacionais e de fabricação digital transcorreu, em maior ou menor grau ao longo das décadas, por meio de um conjunto de estratégias a fim de torná-las mais presentes em nossas disciplinas. Isso envolve tópicos recorrentes e intrincados que foram identificados no decorrer da revisão teórica e dos estudos de caso, e aos quais cabe um exame aprofundado. O intuito desse capítulo é o de promover uma discussão acerca da fabricação digital como uma conjuntura paradigmática na arquitetura, no design e na construção, representando um ponto de inflexão no pensamento histórico relacionado às áreas, no sentido de ter se tornado uma orientação capaz de estabelecer caminhos alternativos para as mesmas. Nessa lógica, como foi apresentado até aqui por meio de estratégias arqueológicas e mapeamentos, há uma constituição histórica quase que estritamente tecnocientífica, com base em uma diversidade de inventos. Sejam eles dispositivos eletrônicos, computacionais, fórmulas matemáticas, formulações geométricas e novos materiais, as suas aplicações oportunizaram a integração de tecnologias maduras em nosso meio, que incorreram, por vezes, com alguns hiatos de desenvolvimento e tendências de mercado. As relações de conhecimento com as tecnologias foram se sedimentando à medida que surgiam fatores e condições propícias, seja por meio de decisões político-econômicas, sociais ou institucionais.

Além da visão conjuntural, o exame demarca uma perspectiva crítica[1], basicamente consistindo em apontar as potencialidades e os limites permeados por esse conhecimento, com a emergência de novos modos de realizar a arquitetura. Neles, as práticas envolvem processos dinâmicos, pensamento de projeto atrelado às novas tecnologias digitais, interesse em explorar morfologias distintas às tipologias usuais e a sua materialização vinculada às técnicas possíveis de serem efetuadas por meio de maquinário de fabricação automatizado. Como pano de fundo, o que está em

1 Essa abordagem tem uma vertente na arquitetura crítica, que demarca uma posição "between criticism and design in architecture" (Rendell, 2007, p. 2)

discussão são os tópicos que guiam esse capítulo: o potencial de uma efetiva revolução das técnicas e da fabricação, ou se apenas uma propaganda; as implicações nas relações de trabalho para os profissionais envolvidos, seja manual ou intelectual, em relação aos processos de automação; e como transitamos de um paradigma global para os interesses efetivos em nosso contexto local, por meio da apropriação tecnológica e da adequação sociotécnica desses meios.

As condições de uma "revolução" sob o rumo das novas tecnologias

Os novos rumos do campo digital, que se apresentam com a evolução do conhecimento científico, permitem-nos especular sobre o progresso técnico que gera tecnologias capazes de liberar o nosso imaginário para projetar e criar formas de emancipação, e que podem ampliar a qualidade de vida da população em geral. Dentre os diversos fatorem que impelem, nesse sentido, um ímpeto de mudança, o termo "revolução" foi um dos mais representativos e recorrentes que surgiram durante a consulta à literatura, seja relacionado ao tema das novas tecnologias de fabricação, pelo preceito da inovação, ou pelo vetor econômico de crescimento da produtividade. No caso mais específico, essa atribuição diz respeito a certas condições de existência do que é propagandeado como "revolução digital", sua dimensão e alcance nos diferentes contextos de inserção computacional e de manufatura, a partir de projeções e expectativas criadas no norte global.

O fato de existir essa reivindicação terminológica traz à tona a ideia do que seria um acontecimento de grandes proporções, em que haveria um salto e ao mesmo tempo uma ruptura na sociedade. Como apresenta Mario Carpo (2009), até não muito tempo atrás, as revoluções eram pensadas como sendo uma das forças propulsoras da história. Com a autodeclarada revolução que despontou na arquitetura, segundo ele, o que sucedeu teria sido, por um lado, uma onda de mudanças tecnológicas que se desdobrou na ausência de qualquer base ou ideologia relacionada ao progresso e, por outro, haveria uma disrupção por meio da lógica da não-estandardizada e da continuidade de processos entre o digital e o material na produção, pelo seu papel como meio interativo, participativo e de geração de conteúdo pelo usuário – por isso, ele usa o termo "digital turn", e não "digital revolution". Sendo assim, a dimensão de mudança na disciplina não teria efetivado uma alteração tão profunda nos contextos e sistemas tecnosociais digna de receber a alcunha de "revolução", o que fica mais

evidente quando questionamos certas avaliações, incluindo as de Carpo, que colocam em primeiro plano uma análise tecnocrática, que considera produção e eficiência como tópicos primordiais no discurso.

A noção de revolução também é recuperada por Antoine Picon (2020), ao invocar um momento de mudança "pós-digital" que revelaria o importante papel que a fabricação digital está constituindo. Isso representaria uma evolução da aplicação do digital com relação à sua realização tectônica, da transposição da forma virtual para o concreto, de uma mudança no modo como compreendemos o mundo físico, de codificação dos elementos e da simulação do comportamento dos materiais, ou seja, algo que está muito mais intrincado na realização do digital no material, e vice e versa. Segundo ele, isso demarca a fusão das capacidades computacionais com a materialidade e, concomitantemente, uma série de transformações epistemológicas. A visão do autor se limita a conectar temas ecológicos com a capacidade digital, vinculados ao aprendizado de máquina e à inteligência artificial. Contudo, não é possível estabelecer esse tipo de avanço programático sem contar com uma infraestrutura social e econômica adequada para estabelecê-lo de fato e de modo abrangente às diferentes classes e suas necessidades. As mudanças ecológicas, aliadas ao processamento de máquinas, podem ser pontos necessários, mas não suficientes para a efetiva implementação das novas tecnologias e para a realização material de variados elementos e técnicas.

Se for o caso de considerarmos o caso como uma mudança radical, abre-se a prerrogativa para apontar não apenas uma, mas que haveria diversas e distintas revoluções em curso, cada uma adequada ao seu setor e em estágios diferentes de realização. O fato é que essa denominação surge no horizonte como um "guarda-chuva" capaz de salvaguardar teorias e experiências relacionadas ao plantel das tecnologias estabelecidas como "mais adequadas" ao uso nas áreas de design de produto, arquitetura e construção, frente a uma demanda por atualização disciplinar. Mas isso exige, também, a capacidade de promover infraestrutura instalada, e disponibilidade de máquinas avançadas de uma maneira convenientemente distribuída no território, para que os projetos que seguem a proposta das tecnologias digitais possam ser executados efetivamente de maneira acessível. Como Adam Greenfield ironiza, "para muitos de seus entusiastas mais apaixonados, porém, a fabricação digital nunca foi um sucesso comercial em pequena escala e estritamente definido [...] a questão central permanece: você ainda pode fazer a revolução com uma impressora que custa US$ 2.000?" (GREENFIELD, 2017, p. 83-84).

É possível estender essa indagação em relação a uma certa ilusão ou fetichismo acerca das possibilidades de progresso estimuladas pelas tecnologias em si mesmas. Mas há de se considerar, também como seria possível efetuar uma revolução sem difundir efetivamente o nível de conhecimento técnico adequado para o controle das mesmas, que gerasse uma soberania apartada da centralização das instituições, indústrias e serviços que as originaram e, de fato, para além de discursos referentes a encaminhamentos dominantes, com os quais pretende-se manter uma posição de fonte originária, emanando referências de aplicação. Está claro que máquinas que empregam tecnologias digitais de baixa capacidade não são capazes de promover uma revolução, a não ser no quesito de vendas das empresas que as fabricam. Para atingir impacto e mudanças substanciais, também é necessário o emprego de tecnologias avançadas, de grande porte, robustas e com capacidade de realização material condizente ou que aprimorem o nível industrial de produção do local. Nessas incertezas,

> as revoluções, no entanto, são notoriamente difíceis de prever. Ainda não está claro se os rápidos desenvolvimentos em tecnologias computacionais e suas aplicações na prática arquitetônica são revolucionários ou evolucionários. A tendência do marketing de ofuscar a análise desapaixonada prejudica as discussões sobre tecnologia da informação, mesmo dentro da academia (CORSER, 2010, p. 182).

Mudanças relacionadas ao que entendemos e experienciamos como capitalismo hoje em dia, em que muito do que é avaliado como alternativa ao sistema vigente, remetem à promessa do fim da escassez material e do consumismo (GREENFIELD, 2017, p. 84). Por meio do suporte da fabricação digital, esses pontos seriam sobrepujados por processos de fabricação pessoal, que na visão de revolução de Gershenfeld (2012), "permitirá que os indivíduos projetem e produzam objetos tangíveis sob demanda, onde e quando eles precisarem" (p. 43). Ora, nesse ponto, mesmo essa opção se trata de uma liberdade primária, que não dissolve ou altera a dependência da extração e transformação de materiais brutos, portanto, não interferindo diretamente nessa cadeia. Além disso, é mais fácil surgir dessa dinâmica uma variedade e abundância na produção de objetos cotidianos e domésticos. O ponto crucial aqui é responder se os processos de fabricação local seriam capazes de substituir cadeias de abastecimento globais (GREENFIELD, 2017, p. 85), no sentido de não permanecer dependentes delas.

Em qualquer nível de produção, a literatura tem reconhecido cada vez mais o papel da manufatura como um motor único de crescimento econômico (BENANAV, 2020, p. 28). Conforme apontado no primeiro capítulo, a dinâmica de produção por meio da manufatura fomenta a estruturação de uma cadeia mais complexa, que estimula

fatores como nível técnico e inovação. Entretanto, a dimensão de acesso e controle a esses sistemas permanece distanciada da nossa dimensão, já que "dada a direção que o 'progresso' tecnológico tem seguido, as pessoas se descobrem dependentes de muitos sistemas grandes e complexos cujos centros estão, para todos os fins práticos, além de seu poder de influência" (WINNER, 2020, p. 94). Uma revolução, nesse sentido, teria que acontecer não atrelada unicamente à tomada dos meios digitais de produção, mas pela capacidade de alterar cadeias e redes desde seus pontos iniciais, pois

> a premissa não declarada por trás de todas essas visões do futuro não é apenas uma economia em que os próprios fabricantes de alta precisão estão disponíveis a baixo custo. É aquela em que todos os insumos necessários para fazer as coisas com eles – especificamente, matéria-prima, energia e diagramas de especificação – também estão disponíveis a algo muito próximo do custo zero (GREENFIELD, 2017, p. 87).

Em relação ao nosso contexto, as condições de uma "revolução" sob o rumo das novas tecnologias digitais parecem ser bem distintas, promovidas pelas narrativas relacionadas ao tema das novas tecnologias digitais de manufatura, fortemente implicadas pelo vetor econômico de difusão do maquinário avançado já utilizado em setores de outros países, difundidos como commodity para países em desenvolvimento. Além disso, as formas de aparecimento dessas máquinas não somente colocam uma condição de "neo-dependência", tanto cultural e econômica quanto tecnológica, mas reestabelece diretrizes de vinculação estruturais oriundas de um subdesenvolvimento que é residual de um desenvolvimento capitalista avançado (BRESSER-PEREIRA, 2010; OLIVEIRA, 2014): um espectro de atribuição e pensamento que continua assombrando o nosso continente. Isso está alinhado, como vimos até aqui, à exportação de modelos econômicos e práticas discursivas, e à tentação de recair numa tentativa de reprodução dos padrões de produção do centro global. Assim, permanecemos cambiantes entre uma versão da dependência associada, sua visão conformista e subordinada de que não nos restaria alternativa senão nos associarmos ao sistema dominante e aproveitarmos as frestas oferecidas em prol do desenvolvimento (BRESSER-PEREIRA, 2010, p. 37), e a versão nacional-dependente, que apesar de reconhecer o caráter dependente, visa que o desenvolvimento aconteceria sempre que fatores nacionais prevalecessem na definição de políticas e reformas (BRESSER-PEREIRA, 2010, p. 40). De maneira colateral, o que acaba por ocorrer é a perda de certa governabilidade, "já que, para atrair investimentos externos, os mesmos abrem mão de executar políticas econômicas e sociais importantes para o desenvolvimento nacional" (OLIVEIRA, 2014, p. 114).

O que tem se percebido, até o momento, é uma condição de desenvolvimento

ambígua, em que o desejo e os interesses estão voltados a absorver tecnologias de ponta, ao mesmo tempo em que permanecemos dependentes de adquirir ou mesmo reproduzir máquinas com projetos, por vezes, defasados ou simplificados, sem a capacidade de se coordenar uma modificação na matriz de produção tecnológica interna dos países, adaptando "o que está aí". Pois agora, temos um desafio extra: desenvolver a capacidade de produção manufatureira e o próprio setor da construção, estabelecendo pontes entre ambos, em direção a uma nova cultura digital. O benefício acaba sendo das corporações de negócios e indústrias transnacionais, que concentram e centralizam um grande domínio e controle tecnológico. Desse modo, os interesses entre os polos tendem a não coincidir, legando-nos um retorno às bases mercantis, exportando produtos primários, em detrimento de aprimorarmos a criação de políticas tecnológicas locais. Para isso, justamente, cabe de maneira fundamental às nações da periferia compreenderem o conceito, a dimensão das tecnologias digitais e a sua incorporação, para só assim serem capazes de coordenar mudanças projetadas a longo prazo, que não estejam suscetíveis a interferências indesejadas. No entanto, "seria um erro grave imaginar que as principais barreiras ao crescimento econômico dinâmico em nossos tempos fossem meramente técnicas e que poderiam ser superadas por meio de saltos tecnológicos que transformaram serviços estagnados em indústrias dinâmicas" (BENANAV, p. 40), já que "os países periféricos se mostram muito mais sensíveis aos problemas que emergem com a globalização" (OLIVEIRA, 2014, p. 117).

As propostas relacionadas à 4a revolução industrial são o mais recente exemplo desses novos discursos que causam reverberações, mesmo que indiretamente, nos setores construtivos e no fomento de formações técnicas relacionadas às disciplinas projetuais, adotando o que seria o suprassumo das tecnologias de controle da informação e da manufatura de artefatos. Essa questão praticamente se subsume ao quadro de quem produz as máquinas e os sistemas tecnológicos e quem depende deles para produzir os seus produtos. Por mais que alguns autores tentem historicizar esses discursos, enquadrando-os de maneira movediça em datações e vínculos, a ideia de 4ª revolução não alcança o mesmo nível e efeito das revoluções anteriores, em termos de força para alterar profundamente condições mais amplas e complexas, como as sociais e políticas. As disciplinas que normalmente não se enquadram em processos de manufatura industrial avançada – como a arquitetura e a construção – agora estão a reboque dessas novas ideias, na tentativa de se adequarem a um "realidade 4.0", sem saber exatamente como incorporá-la. A situação abre espaço para que, dessa função de adequação, surja, ao mesmo tempo, uma lacuna de experimentação, na qual muitos dos laboratórios – tanto no norte quanto no sul global – estão tentando se articular para investigar o que seria possível conceber alinhado à lógica 4.0. É coerente

pensar, também, acerca da disparidade da alocação das novas tecnologias nas distintas regiões em que, para além das vantagens claras geradas para a aceleração da produção capitalista avançada, "os próprios dispositivos de fabricação permanecem com uma utilidade muito estrita, muito caros e muito concentrados nos lugares da Terra que menos precisam deles" (GREENFIELD, 2017, p. 87).

Winner (2020) recupera o que aconteceu de maneira similar em relação aos computadores nos anos 80, em que se empregava a metáfora da revolução com o único propósito de "sugerir uma reviravolta drástica, que as pessoas deveriam receber como boas novas" (p. 101). Mas para além da ideia de ruptura, o autor menciona dois fatores cruciais a serem considerados quando apontamos nessa direção, já que "uma revolução deste tipo envolveria uma mudança significativa no locus do poder [...], pode-se também perguntar se esta revolução estará fortemente ou não comprometida, como as revoluções costumam estar, a um determinado conjunto de ideais sociais" (WINNER, 2020, p. 101). De modo homérico, parece que algumas mudanças em termos sociais são esperadas apenas como efeito colateral à aplicação das novas tecnologias. Em nosso contexto, esses pontos deveriam ser mais relevantes ainda, pensando em aplicações direcionadas para efetivar mudanças sociais, devido às necessidades materiais que possuímos, ao contrário dos países socioeconomicamente desenvolvidos, em que os projetos se difundem e contribuem indiretamente. As promessas de que mais informação libertaria o homem, hoje parece torná-lo mais dependente e determinado por esse quesito. Podemos nos perguntar se não ocorrerá o mesmo com as tecnologias de fabricação. Na arquitetura, o processo de produção da construção não será modificado pelas tecnologias da fabricação digital sem alterações fundamentais nas estruturas sociais e de mercado da prática de projeto, em que "a arquitetura carece, muitas vezes, das economias de escala, do capital massivo e dos subsídios do governo que otimizam essas tecnologias nas disciplinas adjacentes, não importa o quanto comparamos retoricamente nossa indústria com outras" (MOE, 2010, p. 164).

Já reconhecemos, como exemplo, o papel das estratégias de guerra e de financiamentos de estado promovidos pelo governo dos EUA, no MIT, como fonte de origem e desenvolvimento do maquinário CNC, e que é base para as tecnologias que utilizamos hoje em dia (LLACH, 2015). Podemos considerá-lo como um espólio que não resultou nas vantagens esperadas durante o período, mas que renasceu em décadas recentes sob outras demandas em nossos setores. Além desse período inicial para o tema, é crucial reconhecer que outras iniciativas e investimentos em pesquisa e

desenvolvimento efetuadas por agências de Governo, Universidades e mesmo parcerias público-privadas, em relação à eletrônica, computação, equipamentos e sistemas de controle, levaram a criações e aprimoramentos posteriores que resultaram em inovações para o setor de manufatura digital, primeiramente na indústria. Uma diversidade de resultados para variadas áreas derivaram de pesquisas básicas e aplicadas realizadas por laboratórios como DARPA e AT&T Bell Labs (MAZZUCATO, 2014). Exemplos mais explícitos da derivação do investimento público surgiram com a tecnologia SLS, não somente inventada, desenvolvida e patenteada na University of Texas, quanto a empresa que comercializou a tecnologia, a DTM Co., foi fundada na instituição; e os projetos open-source RepRap, criados na University of Bath da Inglaterra, que se tornaram a base para muitos outros projetos de impressoras 3D abertos ou mesmo comerciais (SAVINI; SAVINI, 2015, p. 3). Ou, até mesmo, numa relação mais ampla entre políticas de pesquisa e transferência de conhecimento mediante investimento público, como na criação dos Fab Labs pela National Science Foundation, nos EUA, e dos National Centres of Competence in Research (NCCRs), na Suíça.

Em si mesmas, as tecnologias CNC não se modificaram de modo muito radical com o passar das décadas, continuando dependentes de servomotores que controlam os sistemas de deslocamento pelo espaço cartesiano, seguindo coordenadas por códigos de ativação sequencial e sem capacidade de feedback de adequação em tempo real, além das ferramentas finais pouco terem evoluído das fresadoras ou dispositivos de impressão. De acordo com Moe (2010), elas chegam a ser rudimentares, funcionando de maneira muito similar às furadeiras e cola quente ou soldas, ou seja, "as técnicas de ferramentas primárias dos aparelhos de fabricação digital são familiares, se não arcaicas" (MOE, 2010, p. 154). Quem sabe essas referências explicitem um pouco das dificuldades de execução de tarefas pelo maquinário, devido às limitações das ferramentas disponíveis, apesar de contarmos, conjuntamente, com avanços na robotização dos componentes das máquinas. Portanto, devemos aqui ter em mente a distinção entre a máquina e a ferramenta: a primeira confere flexibilidade e precisão, a segunda, o efeito no material e no processo.

Um olhar para o futuro integra pensar acerca dos sistemas tecnológicos, para evoluirmos em função de seus precedentes. Em relação às máquinas, houve avanços e aprimoramentos nas tecnologias direcionadas ao emprego em atividades complexas na indústria de transformação. Os sistemas robóticos, muito deles fomentados em seu desenvolvimento pelo setor industrial, ampliaram a habilidade de controle, produção e resposta em relação às capacidades de adaptação e manuseio de materiais, e também

à flexibilidade de execução. Além deles, muitos sistemas customizados de produção têm adaptado uma série de tecnologias de fabricação e controle, envolvendo desde manufatura aditiva, o arranjo dos elementos com precisão e, até mesmo, com sistemas híbridos de fusão e refinamento de peças mecânicas, como as que produzem elementos metálicos. Afora os setores industriais complexos, basicamente, os equipamentos de fabricação que foram elaborados mantiveram sistemas cartesianos simples com o uso de códigos de geração lineares. O que estamos acompanhando, é a ampliação da escala das máquinas à disposição e sua capacidade de trabalho com novos materiais, sejam criadas para comercialização e aquisição de profissionais especializados, sejam para apropriação e adaptação em ambientes de pesquisa, a base do seu projeto e modo de funcionamento ainda é rudimentar.

No quesito de ferramental, nota-se um avanço e experimentação consistentes, devido à flexibilidade da própria natureza da existência da ferramenta, a compreensão de seu uso com maior independência em relação à máquina, tornando-se uma extensão multiforme e extremamente adaptável, ampliando em muito as funções de fabricação para determinados contextos de aplicação. O próprio formato de arquivo mais comumente utilizado na impressão 3D, o STL, ainda é reminiscente da patente de Charles Hull, em conjunto com a técnica de fatiamento digital do arquivo para a impressão, com o patenteamento da Stereolithography, em 1986[2]. Mesmo os códigos de controle do maquinário, como o G-Code, também conhecido pela denominação RS-274, criado em 1958[3], para servir, inicialmente, máquinas de desenho plotter que trabalhavam estritamente nos eixos X e Y, continuam a ser utilizados em diversas tecnologias. A quebra de patentes tem se tornado, recentemente, um ponto-chave para a liberação de outras nações avançarem na produção, aperfeiçoamento e implementação de tecnologias que antes estavam emperradas pelo domínio de grandes empresas do ramo da manufatura. Além disso, há oportunidades no estabelecimento de sistemas coordenados para a produção de peças e equipamentos eletrônicos que não dependam do que está disponível para importação.

O papel das novas tecnologias de automação está se se deslocando das áreas de manufatura em que seus usos já estão melhor estabelecidos, para áreas como a da arquitetura e da construção, não exclusivamente para aumentar a sua produtividade, mas para que as empresas produtoras de maquinário possam expandir os seus mercados a fim de promover um crescimento nas vendas do seu catálogo de máquinas,

2 The Complete History of 3D Printing: From 1980 to 2021 <https://3dsourced.com/guides/history-of-3d-printing/>

3 The History of G-code <https://youtu.be/0V3TVKGjI0Q>

por vezes, cedendo maquinário para que sejam adaptados às demandas ou futuras possibilidades de produção. Mais uma vez, corre-se o risco de uma visão economicista se sobrepor às necessidades mais urgentes de uma sociedade, focando na questão de como superar as resistências ao desenvolvimento industrial em linhas adicionais de produção: já que as últimas décadas apresentam crescimento econômico lento, com queda nas taxas de crescimento da produtividade, "as empresas renunciam a grandes investimentos na expansão de suas capacidades produtivas; muitos novos gadgets em exibição em feiras de negócios, portanto, não conseguem encontrar seu caminho para o chão de fábrica." (BENANAV, 2020, p. 31).

Até mesmo os Fab Labs, apresentados como propostas revolucionárias em seu momento, são um modelo exportado pelo MIT que carrega as influências diretas do local de criação (referência institucional), estratégia de atividades (referência de produção), e a sugestão de máquinas para aquisição (referência comercial). Esse conjunto já fornece uma ideia de funcionamento preconcebido que, se por um lado, oferece um direcionamento inicial, ao longo do tempo, necessita ser constantemente reinventado para não permanecer como um espaço homogeneizado – já que não é, simplesmente, um espaço educacional. Essa tarefa é, em parte, alimentada pela função da rede e dos eventos promovidos. Os Fab Labs acabaram por concentrar muita atenção para si desde a década passada, devido à grande difusão de sua marca e, inclusive, tornando-se o principal sinônimo correlato de "espaços maker", como um modelo de referência para laboratórios com práticas similares. Percebeu-se na pesquisa as suas potencialidades como um espaço de aprendizagem multidisciplinar, aberto e de acesso facilitado para a participação, permitindo que sejam articulados conhecimentos científicos e de design a respeito de novas tecnologias em diferentes vertentes, consolidado-se de maneira descentralizada. A diferença está em que devemos considerar isso como princípios que não necessariamente se desdobrarão em termos de efetividade, ou seja, muitos desses espaços acabam acessados por tipos de públicos pouco diversificados e encontram dificuldades em avançar nas estratégias de projetos.

Durante os últimos anos, estudos associados aos Fab Labs abordaram variados aspectos, que incluem práticas do fazer, atividades educacionais, serviços, produção de protótipos, pesquisa e negócios. Na visão de Troxler (2016), os "Fab Labs" são a fonte de ressurgimento de um movimento maker, que envolve o compartilhamento de conhecimentos, a criação de valores comuns e a inspiração para que as comunidades locais se integrem ao processo. Na área da educação, os laboratórios têm a capacidade de prover um novo tipo de alfabetização, habilidades e capacidades intelectuais, por meio

de fluência computacional e de fabricação (BLIKSTEIN; KRANNICH, 2013). Os espaços para fabricação podem também ser base para o fornecimento de competências para a inovação e até a oportunidade de oferecer recursos para o empreendedor individual (MORTARA; PARISOT, 2016). Sem dúvida, o primeiro ponto é o mais profícuo porque se estende sem limitações a diversas áreas de atuação e interesse, servindo como um motor de incentivo e divulgação, mas não necessariamente dependeria unicamente dos Fab Labs, já que vimos como houve todo um envolvimento comercial nesse vínculo. A oportunidade de enquadrar os Fab Labs já em nível escolar parece ser muito adequado, devido à sua dinâmica instrucional e de aproximação com as tecnologias para fomentar interesses futuros em trabalhos mais aprofundados e técnicos, que exigem tempo e formação. Em relação ao último ponto, há um sentido de suporte essencial para prototipar ideias de projetos alheios aos laboratórios, mas se a base de seu funcionamento tiver que se tornar um "empreendimento" para ser sustentável economicamente, distancia-se do modelo inicial e corre o risco de se transformar em um espaço unicamente de oferecimento de serviços a terceiros.

Os discursos positivos e predileções disruptivas podem estar professando um certo significado de tecnologia que, infelizmente, é capaz de florescer distante de uma compreensão mais crítica e democrática das mesmas, ao postular acerca da mesma como uma questão de controle individual e acesso ao mais promissor conjunto de ferramentas e máquinas disponíveis (NASCIMENTO, 2014, p. 2). O compartilhamento de maquinário permite que se possa refletir acerca de seus valores de uso em diversas etapas e por uma gama de atores envolvidos, mas apesar de na teoria qualquer um poder criar quase qualquer coisa, na realidade, as pessoas geralmente necessitam ser auxiliadas por técnicos e designers, já que os dispositivos e ferramentas de software não são de fácil uso ou estão para profissionais (WALTER-HERRMANN; BÜCHING, 2013, p. 163). Dificulta ainda o fato de muitos desses espaços terem seus acessos limitados ou restritos por estarem em universidades ou instituições de pesquisa privadas, já que "apesar das melhores intenções de seus operadores, muitos desses espaços ainda intimidam as pessoas que mais se beneficiariam de usá-los, sua própria linguagem, marca e enquadramento confrontando mais do que alguns possíveis usuários com uma curva de desafio psíquico insuperável" (GREENFIELD, 2017, p. 88).

Há uma série de Fab Labs na Europa que conseguiram investir em estratégias descentradas e compartilhadas com outros setores da sociedade (como o Fablab Amsterdam, o Fab Lab Berlin e o Fab Lab Barcelona), já em nosso contexto, o mais recorrente é o oferecimento de atividades de ensino e suporte para prototipagem por

meio de serviços sob demanda, com grande produção direcionada ao consumo próprio. Isso limita pensar acerca de um ciclo de produção ampliado nesses espaços, que possa diversificar processos e gerar maior quantidade de artefatos quando necessário. Entre o produzir e o consumir, em nossa região, percebeu-se pouca efetividade do trabalho dos Fab Labs em estabelecer alterações na relação consumidor-produtor (UNTERFRAUNER, et al., 2017), por meio de estratégias de produção local, descentralizada e sob demanda, fomentando cadeias de produção de matérias-primas e logística, integração e colaboração em projetos entre usuários. Até porque isso dependeria de fatores que extrapolam a sua concepção inicial, já que "Gershenfeld sempre foi claro sobre as restrições do modelo, posicionando os Fab Labs como um 'meio de invenção', em vez de uma forma de realizar produção em escala, mas funciona perfeitamente como uma prova de conceito" (GREENFIELD, 2017, p. 89).

É interessante acompanhar como determinados Fab Labs privados foram descontinuados ao longo dos anos em nosso continente. Apesar do frenesi de suas potencialidades e da constituição da rede, alguns deles não conseguiram sequer reunir a diversidade de tecnologias para oferecer uma gama completa de opções de manufatura, ou mesmo outros com dificuldades para manter o espaço funcionando. Alguns exemplos são o Fab Lab Argentina, que encerrou suas atividades por volta de 2016, posteriormente, o Fab Lab Cumbayá no Equador, e o MakerSpace Edifício Anita, no Brasil. Um fator essencial identificado para esses acontecimentos foi a dificuldade em garantir certa lucratividade nas ações que pudesse gerar um processo de manutenção economicamente sustentável. Além desses casos, outros Fab Labs lograram mudanças em suas gestões e mesmo na coordenação de suas dinâmicas. Mesmo frente a uma série de incertezas que tendem a surgir devido à dependência de uma condição econômica e cultural próspera, a marca Fab Lab tornou-se uma referência que sintetiza, no imaginário do público, o movimento maker, makerspaces, e laboratórios de fabricação digital, devido ao cruzamento de suas características que, por muitas vezes, se sobrepõem.

O que acabamos por presenciar na dinâmica da aplicação das tecnologias digitais para a arquitetura, que é transferida para o nosso contexto, tanto materialmente quanto culturalmente, é o que denominamos uma "evolução oscilatória e subordinada", considerando que, à medida que as atividades de produção tornam-se mais complexas, mais distante situa-se a nossa realidade de elaborar tecnologias próprias, e mais suscetíveis permanecemos a adquirir as tecnologias capazes de satisfazer os desejos e necessidades de produção, já

que elas se tornam produto primário de importação. Como sintetiza Bonsiepe (2012, p. 65), a falta de desenvolvimento em geral, ou subdesenvolvimento, foi encarada por muitos como resultado de um atraso histórico ou uma mera defasagem temporal, e não como resultado da própria estrutura e ordem (ou desordem) econômica mundial.

É curioso imaginar como, num futuro distante, as fabricações digitais serão percebidas pelo público e seus estudiosos de projeto de arquitetura, se eles seriam capazes de identificar nos artefatos a capacidade tecnológica que as produziu. Como apresentamos inicialmente, há décadas atrás, a ideia de arquiteturas geradas por uma "tecno-euforia" incorporavam as tecnologias na sua constituição projetual, diferente de atualmente, nos processos projetuais. O caso é de ponderar, assim como pontua Greenfield (2017), de que modo isso remodelará o nosso ambiente e as mudanças políticas, que lugar desejamos que as tecnologias ocupem em nossas economias, nossas sociedades e nossas vidas, dependendo do que sabemos sobre como cada uma delas funciona e como podem vir a ser incorporadas em algo poderoso, objetivo e auto-direcionado (GREENFIELD, 2017, p. 166). E essas preocupações transcorrem, inexoravelmente, através das condições de trabalho e sua posição central nessa sistemática.

As condições da produção técnica e do trabalho superespecializado

Vislumbrar um futuro de automação tecnológica e possível eliminação dos postos de trabalho instiga a se pensar acerca de atitudes similares às efetuadas pelo ludismo, no seu simbolismo de boicotar as máquinas das fábricas inglesas, no início do século XIX, como meio de protesto em relação à diminuição dos empregos, às mudanças nos vínculos tradicionais de trabalho e de produção[4]. De maneira diversa, como muitos dos movimentos autonomistas europeus da segunda metade do século XX e suas posições contra qualquer tipo de decisão centralizada, o "operaismo", surgido dos grupos proletários nas fábricas italianas, ao reivindicar a redução da função do trabalho na vida das pessoas para que as próprias vidas não se reduzissem à essa atividade, facilmente adequaria tecnologias de automação para que a produção não oprimisse corpos e almas (VIRNO, 2004).

4 Mais informações em: <http://libcom.org/history/machine-breakers-eric-hobsbawm>

Em nossa condição atual, é a presente e iminente automação do trabalho que ainda provoca reações dúbias, dependendo do que consideramos como pontos relevantes, pode nos encaminhar a um posicionamento que seja, de certo modo, mais ludista ou mais autonomista. Essas dinâmicas influenciam a formação dos estudantes e o futuro das práticas profissionais em que, com a meta de se trabalhar menos, emerge, paradoxalmente, a demanda por um maior esforço e dedicação intelectual na obtenção de conhecimentos especializados: "por um lado, as novas tecnologias são apresentadas como uma oportunidade de expandir a capacidade do designer de resolver problemas técnicos, de entregar planos precisos e de exaurir todos os ângulos imaginativos possíveis" (BERNSTEIN; DEAMER, 2010, p. 11). O tão sonhado estabelecimento de sistemas prontamente automatizados para libertarmos o nosso ócio criativo, e que, com isso, as pessoas persigam livremente seus interesses, no entanto, não surge à toa, pois

> o retorno do discurso da automação tem sido um sintoma de nossa era, como no passado: surgiu quando a lacuna entre a oferta e a demanda de empregos se tornou tão grande, deixando tantos indivíduos lutando para encontrar sobras de trabalho, que as pessoas começam a questionar a viabilidade de uma sociedade regulada pelo mercado (BENANAV, 2020, p. 16).

Ao longo da história do desenvolvimento das máquinas de controle numérico, em paralelo, ocorria uma história do trabalho e da produção em que o progresso técnico legou uma mentalidade na qual se apostava, cada vez mais, na máquina como solução para qualquer problema (MOE, 2010, p. 162). Não muito distante desse tipo de observação, já se encontravam os apontamentos de Flusser, de que a atividade de produzir vai sendo exercida cada vez mais por aparelhos (FLUSSER, 2011, p. 14), ou seja, um sistema complexo com símbolos e códigos pré-inscritos que dificilmente conseguimos penetrar totalmente, assim, ao nos concentramos em explorar suas potencialidades, perdemo-nos nele, e nos encontramos na duplicidade de que "tal atividade vai dominando, programando e controlando todo trabalho no sentido tradicional do termo" (FLUSSER, 2011, p. 14). Para que esse quadro fosse efetivado, os arquitetos e designers passaram a ser mais exigidos em termos de um engajamento com as novas tecnologias, "não como tecnocratas automatizados resolvendo problemas isolados, mas como participantes conscientes em nossas práticas técnicas e na montagem sistêmica" (MOE, 2010, p. 165) e, assim, com o intuito de que avanços sociais não sejam reduzidos a meros avanços tecnológicos. Nesse ponto, adentramos no âmbito do debate de valores, em relação ao que os agentes envolvidos no processo consideram para que os benefícios da aplicação tecnológica sejam centrados em

tópicos relevantes e de impacto para o seu contexto. Kiel Moe sintetiza o quadro ao enunciar que

> padronizar e automatizar técnicas de controle numérico não prescreve um futuro automático e de padronização. Uma série de decisões e hábitos sociais determinam o curso dessas técnicas. Isso chama a atenção para o papel da tecnologia na arquitetura – neste caso, tecnologias de fabricação digital – não como uma prática tecnicamente determinada, mas sim uma que evolui ao longo do tempo e é determinada por necessidades e desenvolvimentos sociais e culturais. [...] Com cada onda sucessiva de novas tecnologias, os arquitetos parecem perder mais terreno do que ganham (MOE, 2010, p. 165).

Com mais e mais exigências de aprendizado no campo técnico para execução das tarefas, realmente nos sentimos distantes das referências históricas e pensamentos utópicos que compreendiam a capacidade do maquinário de liberar as ações humanas e reduzir os esforços de trabalho – ou como o próprio "operaismo" e sua recusa em considerar o trabalho como um fator definidor da vida humana (VIRNO, 2004, p. 7). Deparamo-nos com uma forma de relação com o trabalho que está mais e mais presente, sendo possível articulá-la, principalmente, com relação às tecnologias digitais. Essa interpretação se baseia na revisão de Paolo Virno sobre o trecho do Grundrisse de Karl Marx, que atualiza a noção de "intelecto geral" e estende seu vínculo com a concepção de capital fixo, ou seja, instrumentos de trabalho, como as máquinas. O que era interpretado numa visão social e política, torna-se também assimilável na dimensão do trabalho e da produção contemporânea. A atividade intelectual, ou a "inteligência abstrata e os signos imateriais", segundo Virno (2004), "tornaram-se a principal força produtiva da economia 'pós-fordista' em que vivemos e afetam profundamente as estruturas e mentalidades contemporâneas" (p. 7) e, desse modo, "examina a crescente mobilidade e versatilidade da nova força de trabalho, cujo tempo de trabalho agora se estende virtualmente para outras dimensões da vida" (p. 7). Dessa maneira, a própria produção social é cada vez mais baseada na linguagem e num conhecimento que é abstrato e científico.

A questão do intelecto não se reduz ao controle das máquinas, mas envolve competências linguístico-cognitivas que são inseparáveis do trabalho vivo e, assim, parte dos chamados "meios de produção" consiste em técnicas e procedimentos comunicativos (VIRNO, 2004, p. 61), como a programação. Logo, o surgimento do "intelecto geral" depende de processos de interação entre diversos sujeitos, incluindo conhecimentos formais e informais, imaginação, tendências éticas, e "jogos de linguagem", ou seja, "pensamentos e discursos funcionam em si mesmos como

‘máquinas’ produtivas no trabalho contemporâneo e não precisam assumir um corpo mecânico ou uma alma eletrônica” (VIRNO, 2001). Seguindo esses preceitos, o próprio entendimento acerca de “modos de produção” é ressignificado. Ele não representa apenas uma configuração econômica particular, mas incluindo uma composição de formas de vida, que agrupa elementos sociais, antropológicos e éticos que, como pano de fundo, encontra-se numa situação de crise da divisão da experiência humana em trabalho, ação e intelecto, gerando “um modo de ser em que há uma justaposição, ou, pelo menos, uma hibridização, entre esferas que, até muito recentemente, [...] pareciam claramente distintas e separadas (VIRNO, 2004, p. 49).

O que está em jogo aqui é o processo de trabalho, que absorve grande parte do foco e do tempo livre que dedicamos às atividades culturais e de lazer, e extrai vantagens da mudança de situação, ao mesmo tempo que, por meio dela, acaba por nos privar de todas as capacidades emancipatórias e, assim, “o que é aprendido, realizado e consumido fora do trabalho é então utilizado na produção de mercadorias, torna-se parte do valor de uso da força de trabalho e é computado como recurso lucrativo” (VIRNO, 2001). Os conhecimentos instituídos por meio das condições sociais contemporâneas não podem ser mensurados, mas “constituem a premissa para possibilidades heterogêneas operativas. Os códigos e paradigmas tecnocientíficos se apresentam como uma ‘força produtiva imediata’, como princípios construtivos” (VIRNO, 2004, p. 87). Consequentemente, a capacidade de transformar esses conhecimentos em códigos e processos definidos tecnológica e cientificamente, configuram um modo técnico de formalizar, praticar e desenvolver aplicações que podem ser absorvidas por corporações.

Revisitando os apontamentos de Marx no Grundrisse, na seção denominada “fragmentos da máquina”, é possível recuperar a relação que expunha sobre o controle mecanizado do maquinário para pensarmos os processos de manufatura digital. A atribuição de valor por meio da escolha de se efetuar a produção mediada por maquinário automatizado acaba sendo dupla: uma é a forma relativa ao produto, ao absorver a parcela da transferência de conhecimento intelectual e habilidades técnicas especializadas da força produtiva como um modo de (re)introduzir o fator criativo e singular na produção generalizada de commodities; a outra é uma forma autorreferencial, o valor objetificado de uso da máquina corrobora uma transferência de valor estratificado, não visto unicamente como um instrumento, mas que toma posse das habilidades e força de trabalho no lugar do trabalhador, tornando-se a si próprio um virtuoso (MARX, 1993, p. 693). As relações de “trabalho vivido” acabam

não somente subsumidas pelo "trabalho objetificado", como anteriormente, mas as tecnologias digitais absorvem e simulam o primeiro – como as atividades exercidas manualmente no canteiro –, que tendem a se cristalizar em um valor de atribuição recíproco: produto e máquina. Esse tipo de "refuncionalização" é o que representa "a articulação dos fluxos econômicos, tecnológicos e sociais com a produção de subjetividade de tal forma que a economia política é idêntica à 'economia subjetiva'" (LAZZARATO, 2014, p. 8-10), expondo uma série de paradoxos em que o sentido de iniciativa e demanda para a ação acaba relegando à figura do sujeito com a sensação de estar a dever algo, numa contínua tentativa de auto-otimização.

Se nos primórdios da concepção das tecnologias controladas numericamente e dos sistemas CAM se partia da crença de que, para alcançar a uniformidade e repetição das peças, o processo de produção deveria reduzir ou até eliminar as variáveis de interferência humana no material, pois "havia uma ambição aberta para eliminar o erro e as demandas de um técnico humano e substituí-los por máquinas computadorizadas" (MOE, 2010, p. 161), em períodos recentes, tem se explorado as possibilidades de participação e colaboração com as tecnologias. Essa visão se baseia na relação de experimentos analógico-digitais, incorporação de sistemas ciber-físicos, cobots, e outros equipamentos que utilizam sensores para fornecer respostas e adaptação em tempo real. Em parte, seria uma atualização da colaboração entre homem e máquina prevista pela cibernética. Isso ocorre para promover uma maior aceitação das tecnologias em campos onde a automação completa é mais difícil de ser realizada ou para que práticas criativas sejam exploradas de maneira mais ativa na construção decisória. Nesse quesito, surgem concepções totalizantes ou híbridas da automação, já que a sua implementação acontece de maneira completa em alguns sistemas de produção, ou complementarmente, com atualizações ou, até mesmo, substituindo algumas funções muito específicas em outros. De qualquer forma, acaba por exigir uma mão de obra com um nível de qualificação técnica superior e estrita, afastando a participação efetiva de não-especialistas. Atualizando a ideia de Negroponte (1972), quem sabe se já tivéssemos uma tecnologia capaz de promover a simbiose entre máquina e arquiteto, em que a linguagem de ambos evoluísse e, assim, "um projetista, ao endereçar uma máquina, não deve ser forçado a recorrer a códigos orientados à máquina" (p. 9).

Nas áreas do design, arquitetura e construção e seus usos da FD, o que tem ocorrido é uma mudança significativa na função e no vínculo entre o papel do designer/arquiteto e do profissional responsável pelo controle do processo de manufatura.

A noção de "master builder", bastante difundido por volta dos anos de 1990 por Kolarevic e outros autores, apresentava uma visão primária a esse respeito. Apesar de incorporar certo conhecimento sobre a manufatura, o papel que dizia respeito ao designer/arquiteto permanecia o de criar e aprimorar o modelo digital, sendo capaz de extrair dele informações acuradas e adequadas a serem enviadas para uma fábrica, na qual um outro profissional ou conjunto deles estaria qualificado a executá-las em uma máquina, a fim de gerar os protótipos ou peças construtivas com aplicações orientadas à tectônica. Esse era o quadro denominado "file-to-factory". Em anos recentes, a dinâmica entre a figura do arquiteto/designer que projeta e modela passou a ser quase intrínseca a do profissional que gera e extrai informações para a manufatura, num processo interativo no qual o aprendizado de processo com as máquinas, materiais e seus efeitos, realimenta as estratégias de projeto. Assim, a demanda por um aprendizado multidisciplinar, que abranja as várias etapas do processo, da criação ao controle da fabricação, solicita um outro nível de profissional, que incorpora várias funções em uma só pessoa. Esse é o quadro denominado de "design-to-production". Como sinaliza Carpo (2011, p. 113), a ênfase nos anos de 1990 estava na integração vertical, linear e mono direcional entre o design digital e a fabricação, e passou, em anos recentes, a ser uma integração horizontal, simétrica e de estrutura informativa bidirecional.

Nesse ponto, é importante recuperar e repensar algumas exposições feitas por Celani (et al, 2015) acerca do futuro do emprego do arquiteto e de suas afinidades com as tecnologias digitais, principalmente, por meio da ideia de automação adentrando processos de design e de construção. Evidenciando que há uma série histórica de avanços na automação de tarefas cognitivas e não-rotineiras em nosso campo, ainda surgem indicativos de que teríamos uma baixa margem de implementação desses procedimentos. Como percebido em nossa pesquisa, e corroborando em parte o que está indicado no artigo (CELANI; et al, 2015, p. 196), mesmo com o desenvolvimento de métodos formais na área que garantiriam uma visão mais positiva em relação à automação da profissão, não há uma tendência de substituição do arquiteto e de suas tarefas por meio da automação, mas um deslocamento, ampliação e amplificação de uma série delas, pois há a necessidade de um acompanhamento técnico humano especializado, mesmo nas funções de automação híbrida.

A implementação da automação não necessariamente garante aumento de produtividade considerável, pois a automação dos processos não determina a automação dos empregos, mas implica que há uma ampliação nas possibilidades de realização dessas "rotinas não-habituais" (CELANI; et al, 2015, p. 12) do profissional

e da gama de empreendimentos materiais, que cresce e está diretamente ligada ao fator de investimento em P&D. Segundo Benanav, independentemente se o "fator automação" promove maior produtividade, o nível de produção tem diminuído e tem havido uma demanda persistentemente baixa por mão de obra (BENANAV, 2020, p. 13). Com a tendência à diminuição das taxas de crescimento da produção industrial abaixo das taxas de crescimento da produtividade, correspondentes em cada país, as quedas quantitativas nos indicadores econômicos resultaram, também, em quedas qualitativas como efeito (BENANAV, 2020, p. 19).

Promover ideias como a de produtividade, gargalos tecnológicos, relação entre melhores empregos e altos salários (CELANI; et al, 2015, p. 199-200) já não são mais tópicos suficientes para darmos conta da condição digital atual, porque, com a absorção das tecnologias de fabricação digital, uma lógica mais complexa se estabelece. Pensar nos gargalos a serem superados apresenta uma observação geral e abstrata, mas não responde às questões estruturais acerca de como aconteceria essa superação, dificuldade que o próprio artigo aponta, frente aos distintos quadros e contextos da situação, poder de investimento, atualização e desenvolvimento de conhecimentos dos escritórios. No ponto em que se interpela pelos processos de pré-fabricação, é associada à tarefa da automação a concepção de eliminar parcialmente a variabilidade das tarefas (CELANI; et al, 2015, p. 204), tendendo a ser uma visão simplista da automação, já que é justamente isso que, na exploração de uso das tecnologias de fabricação, tem se buscado ampliar, como, por exemplo, com a ideia de customização. O que se verificou na pesquisa, principalmente em iniciativas que procuram estabelecer projetos de ponta, corrobora como atual o quesito de forte complementaridade entre as tecnologias digitais, trabalho e criatividade (CELANI; et al, 2015, p. 205). As subtarefas do arquiteto estão se expandindo, englobando funções de controle e manufatura, como já apresentado anteriormente. Já as aplicações, principalmente no âmbito internacional, tem sido centradas em processos de projetos cada vez mais exclusivos, tangenciando a produção de resultados ótimos de produtos, mais acessíveis em termos tecnológicos, customizados e adaptados às demandas de projeto.

Reconhecemos durante a pesquisa, assim como aponta Celani (et al, 2015, p. 209-210), que para lidarmos com a automação, é preciso incorporar o conhecimento tecnológico na educação com pesquisas direcionadas aos seus gargalos, a relevância pragmática e efetiva de uma mudança mais radical nos cursos de diversos níveis, ligados às áreas de design, arquitetura e construção para a assimilação, domínio e capacidade de aplicação das tecnologias digitais. Estabelecer essa mudança orientada aos gargalos,

compreendendo-os como fatores materiais ou técnicos que geram limitações, atrasos ou ineficiências, é uma parte indispensável, mas, se como exposto pelos autores, o intuito seja o de encaminhar uma dinâmica socialmente construída, acaba sendo uma visão que supera parcialmente a possibilidade de cairmos na armadilha de permanecermos atrelados a constantes procedimentos sobredeterminados de atualização dos requerimentos para o uso das tecnologias. Ou seja, com a evolução e criação cada vez mais rápida de novas tecnologias, corremos o risco de estarmos constantemente "correndo atrás da máquina" para nos instruirmos e nos atualizarmos frente a crescente oferta de novas ferramentas, software, dispositivos e equipamentos. Como expressarei mais adiante, além de dominarmos as questões técnicas, é extremamente importante determinarmos a quais projetos as tecnologias devem servir – e se elas são mesmo as mais adequadas – e como, a partir de uma elucidação e resolução de problemas situados, projetos estruturados desenvolvidos a longo prazo e orientados a missões relevantes para o contexto.

A outra face se se pensar na introdução desses conhecimentos nos cursos surge com a possibilidade de transformação em um tipo de ensino técnico que, principalmente em instituições de pesquisa, possam convertê-las em uma espécie de novo e altamente qualificado "centro de treinamento profissionalizante", diante das novas demandas dentro da "lógica 4.0". Podemos captar, como exemplo, parte da reportagem da The Economist (2012), que indicava que

> na América [sic], as empresas reduziram o treinamento de forma tão selvagem que 'os aprendizes podem muito bem estar acabados', avalia Suzanne Berger, uma das líderes de um novo projeto de pesquisa do MIT, Production in the Innovation Economy, que está analisando como as empresas competem. Muitas empresas acham que não vale a pena treinar as pessoas se elas provavelmente vão trabalhar para outra pessoa. A Sra. Berger e seus colegas acham que uma alternativa promissora aos estágios é a colaboração entre faculdades comunitárias e empresas locais para desenvolver programas de treinamento. Às vezes, as empresas doam equipamentos de fabricação para as faculdades. (The Economist, 2012)

Se realmente incorporássemos esse espírito, restaria pouco espaço para a capacidade crítica de se articular internamente às instituições propósitos ou escolhas de adequação em relação às demandas externas, e acabaríamos subsumidos a um caráter que implicaria pouca autonomia decisória num contexto geral. Assim, é fundamental conformar espaços que privilegiem uma racionalidade técnico-científica, fomentando a elaboração e o desenvolvimento de produtos, processos e sistemas

contra-hegemônicos e de inovação social, em vez de espaços que estabeleçam uma racionalidade formal técnico-produtiva, que se adéquem às relações de produção e consumo já vigentes. Ao mesmo tempo, a visão de Bonsiepe indica a importância da inovação tecnológica ser realizada na periferia, pois "o equívoco na formação de recursos humanos, sem capacitá-los ao desenvolvimento tecnológico, explicaria a ausência de uma cultura industrial e tecnológica própria, perpetuando o atraso e a dependência" (BONSIEPE, 2012, p. 86).

Estabelecer laboratórios em universidades ou centros de pesquisa, com atores que tornam-se renomados por suas práticas e domínio com relação à fabricação digital, converte-se, também, em um chamariz para atrair jovens estudantes que vislumbram a oportunidade de se transformarem em profissionais bem treinados e que desfrutem em seus currículos das experiências fomentadas nesses locais, com a sorte de obter posições de destaque no mercado de trabalho internacional. Outra mudança em nível global é o uso das tecnologias de fabricação digital não mais para a produção baseada meramente em manufatura, mas para uma produção vinculada a serviços de desenvolvimento de produtos e assessorias estratégicas, conectadas com diversos setores. Com isso, como notamos na pesquisa, "as tecnologias da 'Indústria 4.0' e da 'fábrica inteligente' podem aumentar as vantagens do agrupamento industrial nas proximidades de serviços relacionados" (BENANAV, 2020, p. 31). Mais do que isso, amplia-se os escopo dos pares para com os quais é possível compartilhar esse tipo de conhecimento, e também a formação de profissionais com proficiência técnica para difundir o campo e facilitar a aceitação nos espaços de trabalho, tornado-se uma realidade tangível.

Nessa conjuntura, subsiste a constituição de um modo de trabalho diretamente conformado pelas questões computacionais e de fabricação digital. Explicitamos o caso como uma formação de mão de obra que desenvolve e aprimora um conhecimento técnico rigoroso e multitarefa, altamente habilidoso em controle e otimização de recursos, que envolve um intelecto ampliado para auxiliar no roteiro e na instrução de atividades cognitivas e materiais não-rotineiras em máquinas. O denominamos, mais do que um trabalho altamente qualificado, como um trabalho dinâmico e superespecializado. Não se trata de uma atividade estritamente cognitiva porque há uma ampliação das tarefas "manuais", reinstanciadas pelas capacidades de suporte digital de fabricação mediadas pela funcionalidade operacional, incorporando as lógicas dos aparelhos em sua constante demanda por atualização.

Para estendermos esse ponto ao nosso contexto, é pertinente revisar as considerações de Bonsiepe (2012), relativas à sua experiência com design industrial em nosso continente, ao mesmo tempo que torna-se elucidativo adaptá-las para a aplicação das novas tecnologias de fabricação digital. A começar por sua indicação clara acerca do papel do design como centralizador de novas práticas convergentes com as tecnologias que, para tornar-se uma atividade útil e significativa, "é necessário que haja uma conjugação de esforços de diversos atores e instituições, incluindo governo, ensino, pesquisa e setor produtivo" (BONSIEPE, 2012, p. 15). Ao enfocar o caráter operacional dos artefatos incorporados em determinadas dinâmicas culturais e sociais, o autor questiona, de modo fundamental, se "o design desenvolvido localmente se presta a reforçar a autonomia?" (BONSIEPE, 2012, p. 23), tendo em mente uma "política de fortalecimento da identidade" não limitada apenas a aspectos estético-formais, mas que se manifesta também na natureza dos problemas que surgem em determinado contexto. As suas reflexões englobam o problema da produção, do qual, indica, deve-se atentar que "os processos de fabricação e os produtos desses processos se encontram em uma relação dialética, isto é, de condicionamento mútuo" (BONSIEPE, 2012, p. 48). Essas são algumas das dificuldades de se estabelecer, de fato, em nosso território, um esforço de colaboração com distintos atores externos ao corpo técnico dos laboratórios, ou de não especialistas.

A esses procedimentos, cabe conectá-los com os sistemas científicos, com clareza acerca da matriz de valores de uso e as necessidades que devem ser satisfeitas, considerando as estruturas já existentes em cada local, por meio de uma formação prática que possa ser sistematizada com a criação de centros experimentais voltados à solução de problemas, em vez de conteúdos por disciplinas (BONSIEPE, 2012, p. 78), uma visão que pode ser associada à proposta de formação de laboratórios que utilizam as tecnologias de FD. O autor estende a proposta ao prescrever que, com a necessidade de inovar localmente, pode-se pensar em fábricas ou oficinas capazes de inserir o design em outros setores, já que elas "poderiam ser ligadas a um setor industrial ou a um arranjo produtivo local, em forma de associações ou cooperativas. Poderiam atuar por setores [...] ou poderiam ser fábricas não especializadas de projetos que, segundo as circunstâncias, poderiam ter caráter local ou regional" (BONSIEPE, 2012, p. 78, p. 50-51). Essa base estratégica seria um exemplo, atribuindo ao arquiteto maior capacidade de proposição e controle na criação de elementos de diversas escalas para a composição de projetos.

Percebemos que as tecnologias de FD fornecem meios técnicos que oportunizam

a ampliação da criatividade pessoal que é capaz de se desdobrar em materialização. Com o imaginário profissional podendo ser colocado a prova constantemente, retornamos à cena a possibilidade de desenvolver um saber prático e realizar as propostas por meio de novos modos de fazer, seja desenvolvendo protótipos, seja efetivamente pré-fabricando componentes ou fabricando-os no canteiro. O conhecimento gerado, porém, encontra-se numa dimensão quase simbiótica com as tecnologias avançadas e interdependente delas, frente a uma nova racionalidade técnico-funcional. Considerando todos esses benefícios, devemos nos atentar também a um propensa sobrevalorização do "fazer coisas", em decorrência de outros tipos de atividades, ou mesmo evitar da ideação maker, ao se tornar passível de uma distração aos processos mais robustos e sistêmicos de produção (CHACHRA, 2015). Nas palavras de Greeenfield (2017, p. 94), esse seria um contexto no qual as coisas que usamos emergem de uma condição de "fazer, consertar e remendar", mais do que de uma produção sistematizada e em escala.

Explorar o uso das novas tecnologias amplia a capacidade de emprego dos recursos humanos e suas habilidades, ao mesmo tempo que flexibiliza certas condições de trabalho. O que verificamos durante a investigação foi a alocação dessas ocupações acontecendo, majoritariamente, em espaços de pesquisa e desenvolvimento, ou em serviços que, no mínimo, ainda mantenham algum tipo de vínculo com as instituições de pesquisa, nos quais os períodos de contrato são temporários, sujeitos a reavaliação e extensão. Sendo assim, as oportunidades para adquirir as habilidades técnicas continuam desiguais, pela própria exigência de uma infraestrutura de ensino mais robusta que permita a aproximação e o aprofundamento de conhecimentos, ou mesmo requerendo processos mediados de orientação em pós-graduações. As relações de trabalho fora desses eixos acontecem de uma maneira autônoma, já que em escritórios de projetos e serviços, espaços maker e fab labs privados, há um desafio maior em captar demandas, que geralmente são muito breves, e, assim, para torná-los economicamente sustentáveis. Esse processo de adaptação, como vimos, acaba exigindo novos modos de organização que solicita a constante oferta de cursos com resultados rápidos ou planos de atendimento muito genéricos, dependentes do interesse individual, num processo, muitas vezes, de sujeição a disposições externas às almejadas pelos laboratórios e sedimentados por um público pouco plural.

Como apontam Fonseca de Campos e Dias (2018), mesmo com o estímulo dos princípios de abertura, democratização, e compartilhamento de informações, os Fab Labs e o movimento maker podem facilmente se associar a concepções desvirtuadas das propostas originárias, ao serem submetidos a uma combinação entre lógica

empreendedora e empoderadora sem uma estrutura de apoio condizente, que acaba imbuindo a ideia de que certo altruísmo nos negócios agregará, necessariamente, uma relação de valor pessoal elevada e resiliência. Desse modo, acaba-se estabelecendo uma situação fragmentada e individualizada, suprimindo as mínimas possibilidades para construções coletivas na sociedade, que se distanciam da postulação de alternativas emancipatórias, em direção à uma agenda neoliberal (FONSECA DE CAMPOS; DIAS, 2018, p. 39-40), ou mesmo a propostas conservadoras que não alterem o status quo (WINNER, 2020). Há uma perda muito precipitada da questão coletiva pela própria dispersão dos profissionais que não permanecem por um longo período em suas funções, e não conseguem dar continuidade aos vínculos com a comunidade.

Segundo Dardot e Laval, as novas técnicas de "empresariamento pessoal" atingem um ponto de alienação, mesmo alegando abolir qualquer senso de alienação que, ao se identificar ao discurso neoliberal, não deixa de absorver o desejo de outrem em direcionar suas vidas (DARDOT; LAVAL, 2014, p. 217). Soderberg (2013) reforça a preocupação sobre a constituição das plataformas de trabalho abertas que poderiam, em alguns casos, conduzir os trabalhadores à autoexploração, e acerca da ideação do uso das tecnologias para a fabricação de produtos. Os pontos mencionados dever ser vistos sob a ótica da segmentação contínua e de comparações competitivas em que as forças de trabalho experimentam um processo de precarização que deve ser entendido como um aguçamento específico de uma incerteza estrutural generalizada, que se desenvolve não apenas a partir da desregulamentação política (HÜRTGEN, 2021).

Como vimos até aqui, em nosso contexto, há um horizonte que nos mostra uma evolução dependente, distribuição dos laboratórios distanciados, e as condições de trabalho diretamente ligadas ao estatuto de reconhecimento das funções das novas tecnologias. Ao mesmo tempo, há um caminho aberto de oportunidades de aplicação das tecnologias para a resolução de problemas a ser trilhado. Pode parecer um pouco prematuro nutrir qualquer esperança na noção de que a fabricação digital possa transformar a economia política da vida cotidiana, mas se ela não pode ser justificada com base na economia, deve ser justificada com base na ideologia (GREENFIELD, 2017, p. 98-99). Desse modo, o questionamento que devemos endereçar remete a qual ideologia pretendemos endossar em nosso território, se uma que tende a contemplar as dinâmicas do exterior ou uma que pretenda constituir narrativas próprias.

Invertendo polos: do local para o global

As condições materiais estabelecidas não são universais, e isso surge de maneira mais radical quando consideramos o nível tecnológico produzido e empregado nos distintos contextos do globo. Segundo Winner (2020, p. 61), a atribuição de uma tecnologia apropriada remonta à década de 1970, quando alguns críticos de países desenvolvidos, em relação às novas tecnologias, começaram a se importar acerca da recepção e do impacto de algumas delas em países de terceiro mundo, suas culturas e contextos. Para além de simplesmente importar um ou mais sistemas tecnológicos, é necessário adaptar as suas possibilidades de aplicação, contextualizar os seus serviços e considerar uma miríade de efeitos na sociedade. Além disso, a reclusão de patentes e a supressão de informações essenciais para o avanço das tecnologias, acaba beneficiando companhias e indústrias que produzam maquinário avançado, em "práticas destinadas a garantir um monopólio remunerado [...] a fim de preservar a comodificação das coisas (GREENFIELD, 2017, p. 97-98). A chegada de uma nova tecnologia causa interesse e, após o período inicial de deslumbramento, passamos a compreendê-la de maneira intensificada, para então, situados nos contextos periféricos, questionarmos e refletirmos as especificidades de adequação para as distintas realidades em nossa região.

Gui Bonsiepe (1983) indicou a importância de abordar o tema da apropriação tecnológica, para compreendermos que, sem a sua produção local por setores capacitados, é gerada uma condição de assimetria e dependência entre os países periféricos e os centrais. Ao não se estabelecer uma conjuntura favorável à inovação em cada sociedade, a tecnologia torna-se mercadoria que limita o processo de transferência crítica e de desenvolvimento econômico nesse campo. Como apontou Bonsiepe, essa condição "não é uma garantia para que os grupos mais necessitados melhorem suas condições de vida", e que, ao mesmo tempo, deve-se evitar um tipo de esnobismo às avessas, no qual a tentativa de evitar a dependência dos centros compreende que a salvação e a pureza estão no exótico e tropical da periferia (BONSIEPE, 1983, p. 3-4). A posição de controle é exercida porque "os países industrializados sabem que a tecnologia que eles vendem é uma excelente mercadoria, um poderoso instrumento de dominação que impede um processo de liberação na periferia, ou ao menos as tentativas de maior autonomia" (BONSIEPE, 1983, p. 60). O autor chama a atenção para o fato de que "questões tecnológicas são questões políticas", pois é um meio que define os caminhos da industrialização, da inovação e da distribuição de seus resultados (BONSIEPE, 1983, p. 14), sendo assim, seria mais vantajoso criar uma estrutura favorável

à inovação dentro de cada sociedade (BONSIEPE, 1983, p. 16).

Olhar dessa forma para a recepção das tecnologias é, fundamentalmente, visar uma perspectiva social e política, ao incitar a reflexão sobre como os processos de projeto e produção com as novas tecnologias geram uma estrutura de mediação que representa os sujeitos envolvidos nesses processos, através da expressão material e formal (LOMBARDERO; DE CANALES, 2016, p. 66). Isso significa que o processo de fabricação incorpora imperfeições, limitações, incertezas, e deve assumir sua impossibilidade totalizadora, ou seja, não se reduzir ao processo operativo baseado no cálculo paramétrico e abrir-se às qualidades não computáveis (LOMBARDERO; DE CANALES, 2016, p. 68). Expandindo a questão, significa também constatar a incompletude do digital, unindo o tecnológico com o analógico e o artesanal, tratando de "reconhecer aspectos da tradição local" (LOMBARDERO; DE CANALES, 2016, p. 68). As referências para se reconhecer a tradição local passa pela expressão das possibilidades construtivas já estabelecidas em cada região, algo que parte de uma análise do que está constituído e permite reinterpretações pelos meios digitais. A via política, aqui, considera conflitos ativos da expressão individual, por meio de modelos de participação colaborativas que considerem confrontações, "uma referente às próprias ideias do que se deve ou deveria ser construído, e outra referente ao próprio processo construtivo" (LOMBARDERO; DE CANALES, 2016, p. 65). Assim, também cabe a esse processo situar novamente o potencial das ferramentas digitais, da esfera individual para a coletiva, de tal forma que questione o status quo social, econômico e político (LOMBARDERO; DE CANALES, 2016, p. 62 e 64-5).

Dagnino (2009) expande certos aspectos por meio do tema da adequação sociotécnica, segundo o qual o dispositivo tecnológico é apropriado e adaptado aos interesses políticos de grupos sociais relevantes diferentes dos que o originaram (2009, p. 123), evitando "a ideia de que se possa simplesmente transferir tecnologias pré-concebidas" (DAGNINO, 2009, p. 63). Em vez de copiar saberes e técnicas, a ideia de "reaplicação" é colocada, quando o conhecimento e a tecnologia existentes são ajustados às particularidades de cada contexto, em que a noção de tecnologia se estabelece como resultado da ação de um ator social e decisão do coletivo. Além disso, a utilização dos recursos deveria ser direcionada com o objetivo de maximizar o bem-estar da sociedade e do meio ambiente. Para reorientar as políticas de ciência e tecnologia e constituir uma nova visão sobre o assunto, que inclua a tecnologia social, é necessária "a conscientização da comunidade de pesquisa em relação à necessidade de produzir conhecimento para a inclusão social e o empoderamento de atores sociais

que buscam uma nova lógica para a relação ciência-tecnologia-sociedade" (DAGNINO, 2009, p. 143).

Baseado na visão de efetuar uma mudança de horizonte, cabe pensar sobre a condição de criação de conhecimentos locais acerca das técnicas e tecnologias de fabricação digital. Tal desventura envolveria, primeiramente, um processo epistemológico a ser realizado por meio da avaliação pormenorizada de problemas existentes e dificuldades emergentes, das características já estabelecidas e das forças latentes em um contexto circunscrito e muito bem especificado, num esforço sociológico de investigação. Segundo, o acerto das escalas de aprendizado e ensino, trabalho e produção, em termos de processos verticais e horizontais, extensivos e intensivos, mas também, da produção de artefatos adequados às necessidades mais urgentes elencadas no meio, não determinados de maneira genérica ou pelo interesse inferencial do sujeito que pesquisa, para que promovam avanços qualitativos de modo amplo na condição social corrente. Terceiro, a compreensão da relevância do conjunto material, técnico e simbólico como meios de direcionar os projetos, tendo claro o conhecimento acerca de materiais úteis e disponíveis, a capacidade de produzi-los e aprimorá-los por conta, absorver conhecimentos técnicos tradicionais e estabelecidos, ressignificando-os e experimentando a partir deles em suas representações interdisciplinares vinculadas aos profissionais, oferecendo o suporte criativo do maquinário digital. Numa síntese que se ancora no apontamento de Tlostanova (2017), em que esse tipo de conjunto denotaria a

> reflexão e realização criativa e dinâmica das necessidades, desejos e anseios esquecidos e descartados das pessoas, que estariam inevitavelmente ligados às cosmologias, éticas e sistemas de conhecimento locais vistos não como o passado morto e musealizado, ou como uma distopia fundamentalista conservadora, mas como um presente vivo e que respira e uma promessa para o futuro. (TLOSTANOVA, 2017, p. 55)

Quarto, o comprometimento em aperfeiçoar processos, sistemas e artefatos estabelecidos em determinado contexto, que provoque reverberações ou impactos em distintos setores, isso diz respeito às máquinas e também aos sistemas construtivos. Desse modo, evitam-se projetos em que se inicie dispondo de uma ideia prévia do resultado, realizando um procedimento experimental e que se retroalimenta, não com o foco no estético-formal, e sim, evidenciando um procedimento de criação e desenvolvimento técnico-produto direcionado para a resolução de problemas. Mas isso diz respeito a focar as investigações no campo das possibilidades concretas e comprometidas com o meio, não em especulações meramente abstratas. Ou como

reforça Bonsiepe (2012), aos designers caberia a responsabilidade de "realizar projetos de produtos geradores de emprego, fabricados com materiais locais e que respeitem as tradições culturais locais" (p. 68). Por último, ampliar a dimensão de saberes ao serem estabelecidas conexões e colaborações com distintos atores e distintas disciplinas, considerando que a participação não é o bastante quando se inclui o outro para se apropriar de sua cultura e elementos, mas que mude a lógica e seja capaz, também, de transformar o outro (TLOSTANOVA, 2017, p. 60).

Frente ao cenário do sul global, ao qual estamos habituados com a situação de escassez tecnológica e material, o fato de se pensar o design deve nos conduzir para além de processos e objetos, e designar o nosso próprio ambiente de trabalho e investigação, além de constituir as relações e os sistemas capazes de mediar as nossas práticas com outras metodologias, programas e setores. Precisamos encarar a atribuição de valor aos usos e aplicações da FD como uma "questão objetiva" (WINNER, 2020, p. 162). Envolver práticas mediadas pela FD pode ser considerada uma dinâmica que evita o "reforço" de tendências conservadoras, ou da manutenção de um modus operandi sedimentado no ensino e na pesquisa, já que os impele ao campo da ação e da produção, do teórico ao material, da tentativa e do erro, executando artefatos disponíveis para testes, avaliação, desenvolvimento e compartilhamento. A própria introdução dessa práxis pode ocorrer de maneira mais pervasiva em disciplinas, ao trabalhar, mesmo que em parte, por meio de propostas de projetos com diferentes complexidades e escalas, acessando estratégias, técnicas e tecnologias, e gerando uma variedade de propostas a serem exibidas para ampliar a cultura de produção exploratória em suas distintas funcionalidades, algo que vai sempre envolver algum tipo de risco. Devemos estar cientes de que lidamos com um campo de conhecimento que é muito vasto, ao convergir computação mais fabricação, exigindo muito do aprendizado pessoal e profissional. Desse modo, tornamo-nos, em parte, "alienados" pela dificuldade ou até incapacidade de executar certa completude das tarefas, e nos contentamos em desenvolver atividades mais pontuais, limitando a concepção de propostas críticas que englobem um projeto contínuo.

A noção de descentralização deve ser clarificada, pois pode envolver desde localizações, instituições, modelos econômicos, culturais e de implantação de políticas tecnológicas. Assim, representa uma mudança de perspectiva tanto geográfica quanto cultural, em que não se considera os laboratórios do exterior como centros de referência superiores em relação ao nosso contexto, mas manifestando as características e potencialidades das emergências e aplicações efetuadas pelos laboratórios no

contexto sul-americano como novos centros de ressonância criativa. Adicionalmente, é o questionamento institucional dos modelos de composição dos laboratórios como exemplos a serem seguidos, desmistificando a sua aura e demarcação no imaginário, como o do "Fab Lab MIT". Entendemos, também, que os laboratórios de fabricação digital podem se tornar centros de investigação e desenvolvimento de processos e produtos em um nível pré-industrial, incorporando atividades específicas que não estão dependentes unicamente do setor industrial, mas de algum modo relacionados a eles. Por último, num sentido de redes, em que mesmo com a diversidade de tipos, não há limitações a priori para que cada um deles estabeleça relações muito específicas de investigação e de produção local, criando novas localidades. A descentralização geográfica dos laboratórios em nossa região pode ser um obstáculo para uma maior sinergia em termos de trabalho colaborativo entre eles.

A centralização dos sistemas sociotécnicos de FD acontece no nível de produção das tecnologias, condicionado à uma situação de domínio hierárquico, tal como está, quase expurgando a possibilidade de implementação de uma tecnologia social. Nesse sentido, como Winner (2020) condensa o problema, em que "o padrão, entretanto, certamente não era o de adaptar a tecnologia para atender às necessidades humanas. Em vez disso, a prática era renovar as necessidades humanas para corresponder ao que a ciência e a engenharia modernas disponibilizaram" (p. 170). Como verificamos durante a pesquisa, os próprios laboratórios são constituídos de maneira centralizada, seja pela sua infraestrutura e espaço, seja pelo quesito da decisão das funções, que é determinada pelos coordenadores e profissionais envolvidos. A perspectiva que vislumbramos é a de utilizar esses espaços não como subsidiários da relação com empresas, mas, como indica Bonsiepe (2012, p. 56), orientar-se pela relação produto/produtor, para além da relação produto/usuário. A essa intenção, cabe expandir as possibilidades de processos construtivos e de um catálogo de produtos que sejam adequados às mais diversas necessidades averiguadas, para componentes, mobiliário, elementos construtivos, estruturas e suportes, moldes, peças de encaixe, entre tantos outros. Que assim, as iniciativas exploradas nos projetos demonstrem que há uma capacidade de expansão do que está disponível, melhorar qualitativamente e ampliar as soluções tecnológicas.

Mais uma vez, ao ajustarmos o pensamento de Bonsiepe (2012), acerca de uma política de design industrial, à implementação das tecnologias de FD, deve-se considerar as estruturas de produção existentes, orientando-se para a elaboração de objetos próprios, assumindo um pluralismo tecnológico com a prática na forma

tradicional e para conteúdos alternativos (p. 50). Nesse caso, as Universidades tem um potencial muito importante ao direcionarem suas capacidades físicas e intelectuais, organizando cursos superiores ligados :a uma política tecnológica relacionada a um programa sociocultural autônomo e com currículos coerentes com certas vocações regionais (BONSIEPE, 2012, p. 76), fazendo isso ao reconhecer que "devem incluir a fabricação de protótipos e o projeto de ferramental para a produção" (BONSIEPE, 2012, p. 70). E não devemos estar restritos a esses requisitos, pois acabamos adequando também os materiais, já que boa parte do que utilizamos é de qualidade limitada ou feitos para fins específicos que necessitam receber pós-processamento.

Atentamos para o fato de que tudo isso acontece sob a égide da inovação e suas diversas faces e, sendo assim, devemos ter em mente qual perfil de inovação se mostra mais adequado a certa proposta, tempo e local. O próprio termo se tornou um "jargão da moda", bastante difundido nas mais distintas áreas e, portanto, como expõe Greenfield (2017), "já não falamos mais em progresso, mas sim em 'inovação'" (p. 272). Em nosso caso, esse direcionamento representa, de acordo com Bonsiepe (2012), incorrermos na importação do design do centro "tanto em forma material como em forma de transferência cultural" (p. 64). Em relação a esse quesito, Mazzucato (2018b) introduz uma abordagem interessante no que diz respeito a proposta de políticas "orientadas para missões", compreendendo que, para além dos projetos que compõem esses objetivos específicos, eles estão direcionados a vislumbrar situações capazes de promover uma mudança ampla de paradigma na situação corrente, já que visam abordar desafios que requerem compromisso de longo prazo, que sejam tanto sociais quanto tecnológicos (MAZZUCATO, 2018b, p. 804)

Apesar de a abordagem ter sido o centro do grande programa de investimento em pesquisa e inovação europeu "Horizon 2020", enquanto fundamento estratégico, sintetiza um conjunto de propostas que podem ser conciliadas com diversos contextos[5]. Os pontos-chave de uma proposta orientada a missões são que elas devem ser escolhidas de maneira estratégica, devem ser bem definidas, devem resultar em investimentos em diferentes setores e envolver diferentes tipos de atores, criando "uma agenda pública de longo prazo para políticas de inovação, atender a uma demanda ou necessidade da sociedade e aproveitar o alto potencial do sistema de ciência e tecnologia do país para desenvolver inovações" (MAZZUCATO, 2018b, p. 805).

5 Apesar disso, o tipo de abordagem não é estranho a nossa realidade, já que, em 2016, Mazzucato e Penna formularam um relatório nesse sentido para o Ministério da Ciência e Tecnologia, intitulado "The Brazilian Innovation System: A Mission-Oriented Policy Proposal".

O seu desenvolvimento acontece focado em solucionar desafios sociais importantes, determinando "sistemas e ecossistemas de inovação (setoriais, regionais e nacionais) exigem a presença de vínculos dinâmicos entre os diferentes atores e instituições (empresas, instituições financeiras, pesquisa/educação, fundos do setor público e instituições intermediárias)" (MAZZUCATO, 2018b, p. 807). Para que essas propostas sejam implementadas, a abordagem necessita de um diagnóstico preciso de um "sistema de inovação tecnológico, setorial ou nacional que uma política de inovação deseja transformar" (MAZZUCATO, 2018b, p. 804). Assim, precisamos ter uma avaliação clara do que sistemas como a FD podem transformar.

Avaliamos que um caminho relevante do uso das tecnologias de FD seja o desenvolvimento de soluções construtivas e de suporte para processos de produção que denotem avanços técnicos no canteiro, na pré-fabricação e em instalações complementares, que possar surgir de estratégias com componentes leves, variações modulares e composições híbridas. Que os processos resultem em artefatos acessíveis em termos de preços e informações, que possam ter um alcance quase "popular", ampliando catálogos de opções, permitindo recombinações a partir de e com fatores culturais locais. Isso afetaria diretamente os modos de ensino, que teriam que integrar, de maneira mais intensiva e radical, um sentido de mudança nas práticas e aprendizagens.

Devemos pensar em como adaptar a proposta de missões para escalas menores, a fim de serem passíveis de realização. Simplesmente implementar uma nova condição tecnológica sem contextualizar seu uso a projetos e missões específicas, é um dos fatores que outorga um legado de instabilidade e mera aquisição formal do maquinário, tornando-se uma cópia artificial de modelos do exterior e podendo transformar a proposta de laboratórios em meros commodities. Winner (2020) comenta que a realização de um projeto significativo torna-o "um farol para o mundo, um modelo de demonstração para inspirar a emulação" (p. 79). Esse tipo de pensamento relacionado à apropriação tecnológica pode fomentar pequenas mudanças que enfatizem o fazer e o trabalho colaborativo em redes, como também, a fascinação por essas dinâmicas pode limitar "qualquer análise aprofundada das instituições que controlam a direção do desenvolvimento tecnológico e econômico" (WINNER, 2020, p. 80). Ou seja, cabe entender e enfrentar a situação de como essas tecnologias tornaram-se o que são. Além dessa relação, a recepção de ideias alternativas ao mainstream tecnológico depende de políticas nacionais e seu destino cambiante (WINNER, 2020, p. 81). Estamos aqui, muitas vezes, entremeados numa visão de soluções particulares e imediatas, ao contrário de

centralizar esforços em propostas mais fundamentais, amplas e duradouras.

Mazzucato (2014) invoca a definição que já está bastante em voga em relação à formação de "sistemas" ou "ecossistemas" de inovação, vinculados ao papel dos investimentos oriundos de instituições públicas ou privadas, sobre quem deve dar um passo a frente em direção a alocação de recursos e em quais tipos de projetos. Assim, ela advoga em dois sentidos, um deles é articular parcerias que são mais simbióticas e menos parasitárias, e que os formuladores das políticas não apenas financiem certos setores, mas também exijam que empresas nesses setores aumentem suas próprias participações e compromissos com a inovação (MAZZUCATO, 2014, p. 46-47). Em parte, coloca-se numa posição de fomentar políticas públicas para certos setores não tão atrativos em termos lucrativos, mas que, ao mesmo tempo, não recaia numa medida simples de "tapar um buraco" em nome de empresas que não estejam interessadas em correr certos riscos. Ao apontar que o interesse das nações volta-se mais e mais para financiar setores reais da economia, a aposta deve ser pela construção de parcerias e vínculos "que não levem a problemas semelhantes aos que a financeirização da economia gerou: socialização do risco, privatização das recompensas" (MAZZUCATO, 2014, p. 49).

O desenvolvimento de políticas públicas serve tanto para o avanço tecnológico, em direção à uma diversidade e complexidade econômica, quanto para o fomento de mudanças na abordagem dos currículos para absorver e implementar processos tecnológicos horizontais. De maneira geral, a adoção e implementação dessas estratégias, vinculadas às tecnologias digitais avançadas, implicaria ao setor público e à comunidade acadêmica, certas prerrogativas (LIAO; et al., 2018): o suporte direcionado a atividades e não exclusivamente a setores, a promoção de atividades constantemente renovadas, ligadas a agências que possam monitorar e avaliá-las a fim de difundi-las na sociedade, além do que já foi apontado, em relação à necessidade de pesquisa, inovação, aprimoramento técnico no ensino e modernização da infraestrutura. Em nosso contexto, há uma descontinuidade recorrente nos processos de implementação tecnológica digital, que se deve à uma série de aspectos, desde os mais gerais aos mais específicos. No primeiro aspecto, existem as oscilações de programas governamentais e as crises econômicas, que comprometem investimentos a longo prazo e em fatores de inovação promovidos pelos setores de manufatura avançada, um grande foco na produção e transformação de recursos do setor primário voltados para a exportação, permitindo a entrada de fluxo de capital rapidamente e a curto prazo. No segundo aspecto, a ordem de transferência tecnológica no sentido norte-sul devido à vasta

presença de multinacionais que empregam poucas estruturas formais de pesquisa que fomentem inovação profunda no meio digital, por vezes, com algumas parcerias e programas de incentivo com políticas públicas.

Para compreender de maneira mais específica a situação encontrada em nosso contexto de sul global, formulamos, na tabela abaixo, um conjunto de tópicos para avaliação, baseados na discussão efetuada por Menichinelli (2017).

Tabela 10 – Categorias de análise para a avaliação do material empírico obtido

	Tipo	Descrição
01	Relação dos laboratórios com os sistemas locais	De que maneira os laboratórios articulam o seu funcionamento com distintos tipos de sistemas próximos?
02	Impactos no contexto (econômico, social, político)	As atividades dos laboratórios com as tecnologias de FD têm impactado em quais esferas e setores?
03	Escala da infraestrutura e relações de trabalho	Os laboratórios trabalham em quais escalas de produção e qual o espaço, tecnologias e ferramentas são utilizados? Qual a dinâmica das relações de atividades e trabalho profissional?
04	Relação entre impacto local e global	Como o impacto desenvolvido localmente tem o potencial de se difundir de maneira mais ampla, ou, até mesmo, global?
05	Estratégias e inovação	Os laboratórios desenvolvem estratégias que motivam algum tipo de inovação: social, técnica, tecnológica, material, de processo, ou de produto?
06	Participação e colaboração	A participação envolve especialistas e não especialistas? Há colaboração no nível do design, da produção e da montagem, e da distribuição?
07	Financiamento e gerenciamento	De que modo os laboratórios são financiados e gerenciam as suas atividades?
08	Corpo profissional	Qual o tipo de formação, origem e trajetória dos principais membros das equipes?
09	Nível de aplicação da fabricação digital	Complexidade e efetividade do uso da fabricação digital para a geração de artefatos. Quais as técnicas utilizadas?
10	Objetivos	Quais são os objetivos dos laboratórios ao escolherem as tecnologias de fabricação digital na aplicação para a arquitetura, o design e a construção?
11	Resultados	Os resultados obtidos com a fabricação digital são satisfatórios frente aos objetivos estipulados? Quais as formas e materiais?
12	Autonomia territorial	Os laboratórios desenvolvem uma produção com certo nível de "autonomia territorial" frente às referências e ao modo como as tecnologias assimiladas?

Fonte: Autor

1) Relação dos laboratórios com os sistemas locais

Primeiramente, a relação se estabelece pelo papel de divulgadores das novas tecnologias, demonstrando quais são as possibilidades adequadas para se prototipar e fabricar algo diretamente por meio do controle digital. Segundo, o valor instrucional para estudantes e pesquisadores, além de interessados de áreas correlatas, possibilitando uma aproximação inicial, formação técnica profissional e de instrumentos de investigação. Terceiro, o de potencializar vínculos e processos existentes, como

os modos de fazer tradicionais ou dinâmicas de trabalho já estabelecidas em determinados locais, desdobrando técnicas, estratégias e materiais, agregando valor por meio de novas possibilidades criativas. O quarto é o oferecimento de serviços de assessoria, relativos aos usos de maquinário, desenvolvimento de projetos baseados nas tecnologias computacionais e de fabricação, além da organização do espaço, e serviços de produção a um custo mais baixo do que o oferecido pelo setor industrial. O quinto é o fomento de novas estratégias e processos de design de objetos em distintas escalas, inputando a lógica computacional e de fabricação desde a produção artesanal até contatos com a produção industrial. O sexto é a existência de propostas ligadas aos temas de conservação e de patrimônio, desde a representação à recuperação de artefatos históricos e partes da edificação. O sétimo é o apoio às atividades de instituições culturais, educacionais e civis, com a elaboração de estruturas e instalações para exposições, mostras e feiras.

2) Impactos no contexto (econômico, social, político)

Os laboratórios têm impactado de uma forma gradual, iniciando de maneira um pouco lenta, considerando todas as dificuldades e desafios de mudanças culturais relatadas nas entrevistas e questionários. Isso tem ocorrido de modo tópico no setor da construção, em grande parte, devido aos entraves do próprio setor em buscar mudanças, tendo sido muito profícua no setor de design de objetos, mais presente e constante na área do ensino e investigação. Em termos econômicos, contribui para se pensar propostas alternativas de sistemas construtivos, seja por meio de elementos customizados, moldes ou artefatos utilitários para o canteiro, que podem oferecer variabilidade e a viabilidade de diminuir custos de produção. Desde as fachadas do Frontis 3D, os sistemas wikihouse e de casas pré-fabricados por FAB ARQ PMO, Lamo 3D, LM+P e TPED, dos serviços de manufatura como Dante Tisi, Garagem Fab Lab, Usina Fab Lab, CNC Studio, Binary Craft, JIT FAB LAB, Bacteria LAB, entre outros. Além disso, há o impulso do setor de design de objetos artísticos e de mobiliário, seus processos e materiais, como nos produtos desenvolvidos por TU Taller, Estudio Guto Requena e gt2p. Une-se a essa realidade, a atualização da formulação de projetos arquitetônicos, em propostas de AABB, Studio d.lux, Subdv, Protobox, Chidostudio, Pata de Gallo Colectivo, entre outros.

Os avanços sociais estão ocorrendo por meio de alguns fab labs ou correlatos, instituições governamentais e não-governamentais, por meio de atuações estruturadas

em suas unidades e ações extensionistas, como o Fab Lab Livre SP, o Fabrica, o Exploratório, o La KazLab, ou até mesmo instituições de ensino, como o Fab Lab UNAL, Fab Lab Universitario CIDI, o Fab Lab SP, entre outros. Além disso, na área de ensino, é relevante o desdobramento de métodos que retomam atividades práticas e materiais mediados por meio de estratégias vinculadas ao design, pelo Laboratorio de Morfología, Fablab U. de Chile, Design.Lab UAI, Fab Lab Santiago, PoaLab, Fab Lab Recife, NEXT, entre outros. No período recente, pouco surgiu em relação à ideia de que encaminhar diretrizes para uma "indústria 4.0" seja uma solução, já que isso exigiria um salto de etapas de implementação de políticas tecnológicas nas áreas estudadas. Por mais que esse tipo de política de agregação de valor na produção tenha aparecido em vários países do nosso continente, é uma visão mais ampla que cabe ao setor industrial, havendo recebido mais atenção para o setor da construção, formalmente, no Chile, e com tentativas de inserção no Perú e na Colômbia. O desenvolvimento de novos materiais associados ao uso das tecnologias digitais pode ter um futuro impacto mais significativo. Em países como a Argentina, existem políticas de apoio e incentivo ao setor de produtos e tecnologia de maquinário, iniciadas com base na área de fabricação digital. Podemos indicar que um dos maiores feitos políticos acontece de maneira descentralizada, fomentada pelas "políticas disciplinares" introduzidas pelos laboratórios em práticas de ensino e investigação em universidades, sobretudo, públicas.

3) Escala da infraestrutura e relações de trabalho

A produção, em geral, permanece na fabricação de artefatos de pequena e média escala. Por mais que boa parte dos laboratórios possua um número razoável e variado de maquinário, a sua capacidade tecnológica é limitada para a fabricação de elementos duráveis e de uso final, resultando em protótipos ou na sua adaptação em sistemas que os utilizem. Assim, se o objetivo for projetos de escala e complexidade consideráveis, recorrem, frequentemente, à produção terceirizada em indústrias, ou em colaboração com setores de serviço específicos. Como vimos, pouquíssimos deles trabalham de maneira associada diretamente com a indústria. A manufatura aditiva é aplicada, basicamente, pelo uso de impressoras 3d desktop, num cenário em que, praticamente, não se utilizam equipamentos com qualidade industrial. Desse modo, os processos de manufatura robustos utilizam fresadoras CNC ou correlatos com corte a plasma ou jato d'água. Máquinas customizadas são criadas de acordo com necessidades específicas em termos formais e de adaptação de novos materiais, e avançam com a incorporação, ainda pontual, de sistemas robóticos.

As relações de trabalho são fortemente baseadas em, ou subsidiárias de um histórico de formação acadêmica, seja com líderes pesquisadores que são coordenadores de laboratórios, ou que participam como colaboradores. Essa formação também contribuiu na abertura de diversos fab labs e na atualização das atividades de diversos escritórios. A perspectiva dos profissionais em nosso contexto conta com designers industriais, arquitetos e alguns engenheiros de diversas áreas. Nessa trajetória, surgiram alguns intercâmbios entre profissionais, seja entre laboratórios próximos ou convidados externos. Encontram-se diferentes concepções de espaços e seus usos: laboratórios itinerantes, laboratórios de auxílio a investigações, maquetaria digital, espaço de prototipagem, laboratório de projetos arquitetônicos, associações com espaços de produção industrial, e a adoção e adequação do modelo Fab Lab. Boa parte deles iniciou em espaços adaptados ou que foram se consolidando ao longo do tempo – por meio do aproveitamento de salas ou espaços com equipamentos disponíveis em instituições –, são poucos com oportunidade de constituírem uma organização espacial e de infraestrutura designadas previamente por projetos.

4) Relação entre impacto local e global

O grande potencial de impacto e difusão acontece, atualmente, pela proposição de ideias e objetos que envolvam bases conceituais e artísticas – como objetos de design e instalações utilizadas em exposições –, por meio da incorporação de processos que reformulem elementos artesanais e naturais – o que tem sido denominado neo-artesania, no trabalho conjunto com profissionais locais e suas técnicas artesanais de produção, e de referências vernaculares e uso de materiais –, além da obtenção e geração de saberes/conhecimentos que são muito específicos da condição regional e podem ser transformados por meio das tecnologias digitais – como estratégias para trabalho em canteiro e sistemas construtivos pré-fabricados. Essas dinâmicas estão incluindo, aos poucos, maquinário avançado ou a criação de propostas próprias de máquinas que cumpram as tarefas exigidas em cada projeto. Sendo assim, há uma crescente capacidade de síntese para a aplicação de técnicas determinadas localmente com novos materiais oriundos das diversas regiões e biomas do continente, intermediados pelos meios computacionais e de fabricação.

Boa parte de um impacto gerado localmente, que pode ser propagado de modo amplo, diz respeito à capacidade de reinterpretar as bases tecnológicas existentes e

conceber maquinário ou ferramentas complementares a partir de uma interpretação mais aberta e criativa (artística e conceitual) do que elas representam, ou com suas capacidades adaptadas às necessidades do fazer em condições de escassez. Em decorrência disso, também é relevante a compreensão do caráter político oriundo do reconhecimento e da formação de estratégias de aplicação das tecnologias digitais que vislumbram o quesito social como um fator central de atenção, não apenas como subsidiário dos avanços dos setores de manufatura. Essa ocorrência assimila procedimentos científicos que se desdobram no ensino de habilidades especializadas por meio da prática de projetos situados no local, iniciando com a criação de protótipos e depois estimulando para que os estudantes construam elementos arquitetônicos em escala 1:1

5) Estratégias e inovação

As estratégias de inovação se articulam de forma híbrida entre as suas distintas manifestações. Existem estratégias ligadas ao ensino, divulgação e instrução tecnológica, como a criação de redes e atividades móveis, por exemplo, com o Fab lab Livre SP, o Aconcagua FabLab e o PRONTO 3D. Por meio da inserção de práticas morfológicas, o estudo e aprofundamento do conhecimento acerca dos elementos da natureza em cada contexto – não se limitando a uma bioinspiração –, evoluímos da manipulação de formas complexas para a abordagem de temas aplicados, exemplificado pelo Laboratorio de Morfología, Atelier Marko Brajovic e MorfoLab. A composição de novos materiais que podem ser manipulados por meio das tecnologias digitais, gerando protótipos de componentes, como no Fab Lab UTPL, Fablab U. de Chile, Fab Lab Unipiloto, entre outros. A criação de artefatos e a potencialização de processos tradicionais colaborativamente com artesãos por meio de propostas de neo-artesanias, como no GT2P, Fab Lab UNI, Tu Taller Design e TaMaCo.

A adaptação de projetos para abrigos e moradias, com elementos pré-fabricados que podem ser inseridos desde em contextos de vulnerabilidade até como sistemas construtivos para locais mais remotos, efetivados por InovaHouse 3D, Lamo 3d, entre outros. A revisão de proposições arquitetônicas existentes gerando conhecimento técnico renovado, como nos sistemas e pavilhões do Fab Lab Universitario CIDI e do LabFabMVD. O design de objetos por métodos articulados com as necessidades dos distintos contextos, acrescidos de estratégias teóricas, como no FabHaus UC e no NEXT. Além deles, a existência dos diversos centros de prototipagem para treinamento técnico

e simulação de atividades a nível industrial. Outro fator, em nível embrionário, é a criação de peças para máquinas e mesmo equipamentos próprios que satisfaçam o que a dinâmica de apropriação das tecnologias importadas ainda não satisfaz. É crescente a atração do público leigo externo aos laboratórios para a implantação de iniciativas de inovação social, integrando realidades, por muitas vezes, alheias às instituições. Poucos laboratórios desenvolvem e expõem projetos seguindo um modelo de inovação aberta, sendo um potencial futuro para evitar dependências e fomentar desdobramentos de pesquisas, o que pode acontecer através da organização de repositório e interface de divulgação em websites.

6) Participação e colaboração

Especificamente, o tópico da participação tem sido um elemento difícil de se lidar por parte dos laboratórios, mas percebido com grande potencial e oportunidade. Devido às exigências técnicas de controle do maquinário, as práticas permanecem centradas, fortemente, em especialistas com formação acadêmica de nível superior. Muitos estudantes de instituições e interessados participam de atividades e oficinas, mas também, com algum vínculo acadêmico ou às áreas correlatas à arquitetura, ao design e a algumas engenharias. Os laboratórios que incorporam colaborações nos procedimentos de concepção dos artefatos são aqueles que trabalham com neo-artesania. Os laboratórios que buscam colaborações em fases de implementação e montagem são os que trabalham no nível do canteiro, em instalações artísticas, ou com o setor industrial. A relação de benefícios mútuos acontece em alguns programas que instauram propostas de inovação social, trabalhando diretamente com comunidades consolidadas.

7) Financiamento e gerenciamento

Mesmo algumas universidades hispanófonas que são subsidiadas com fundos públicos buscam complementar a sua receita com cobranças pelos serviços ou estabelecer parcerias. Laboratórios com maior investimento tecnológico receberam financiamento de projetos a partir de fundações e conselhos de pesquisa estaduais e nacionais. Os escritórios de design que já realizavam projetos arquitetônicos e de objetos, incorporaram as tecnologias como uma forma de prototipar ideias, ampliar o escopo de técnicas de produção e, até mesmo, oferecer serviços, assim, agregando valor

e podendo incrementar ganhos, mas que não necessariamente sejam consideráveis. O principal problema verificado é o da sustentabilidade dos laboratórios, ou seja, como os laboratórios podem manter ao longo do tempo após passar o período inicial e de consolidação, o que reverbera, principalmente, nos Fab Labs privados fora das instituições de ensino.

8) Corpo profissional

Os profissionais coordenadores dos laboratórios são, no Brasil, em sua maioria, arquitetos, com alguns membros advindos das engenharias e do design. No Chile, muitos são designers industriais e de produto, quadro complementado por arquitetos e engenheiros das mais diversas formações. Na Argentina, assim como na Colômbia, são arquitetos, seguido de designers de produto. Há uma paridade ou equilíbrio nos tipos de profissionais encontrados nos laboratórios no Perú e no Equador. Outro ponto percebido é que o restante do corpo técnico raramente tem uma formação especializada para lidar com as tecnologias digitais, e assim, instruem-se com as experiências ou de modo autodidata, por meio de um aprendizado in loco. A formação de uma boa parte dos coordenadores aconteceu em países europeus, com forte concentração em instituições da Espanha, e nos EUA, além de cursos relativos ao Fab Academy e à AA pelos programas Visiting School. Ademais, muitos dos Fab Labs foram conduzindo à criação de outros Fab Labs, por aprendizados e oportunidades geradas em laboratórios já estabelecidos.

9) Nível de aplicação da fabricação digital

O nível de aplicação das tecnologias, em geral, é de média e baixa complexidade. A fresadora CNC é a máquina com maior escala de produção disponível, e as impressoras 3d utilizadas são limitadas em seu volume de produção. A recente escolha pela integração de sistemas robóticos em poucos laboratórios têm permitido certa liberdade na execução de tarefas e no uso de ferramentas, ainda em estágio de experimentos em pequenos projetos. Um ponto nevrálgico para esse avanço são os tipos de materiais, que permitem pouca variedade com o uso das tecnologias não industriais. As principais técnicas utilizadas são o corte de peças planas para encaixe ou algum tipo de montagem, a isso, segue-se o uso de técnicas de adição por meio de manufatura aditiva com materiais plásticos, e então, dobra, desbaste e moldagem.

10) Objetivos

Os objetivos têm sido ampliar a gama de equipamentos e ferramentas analógicas ou mecanizadas disponíveis em departamentos de ensino e pesquisa, introduzirem equipamentos que forneçam novas habilidades em sua lógica de controle, e ao permitirem gerar elementos de representação ou artefatos construtivos complexos que, sem as mesmas, seriam de difícil execução. Os Fab Labs utilizam as tecnologias como sua força-motriz, seu fundamento de funcionamento e propaganda, ao atrairem interessados e curiosos em acompanhar, aprender e produzir processos com técnicas de prototipagem a partir da modelagem de projetos individuais ou construídos coletivamente em oficinas. Os escritórios de design buscam agregar valor e ampliar o catálogo de projetos, artefatos, serviços e soluções.

11) Resultados

Os resultados, em grande parte, são fruto de um processo que é híbrido entre o digital e o analógico, seja pela sua escala, suas partes ou pela montagem. Em anos mais recentes surgiram mais projetos na escala 1:1. Em geral, observamos três estágios de aplicações experimentais das tecnologias de fabricação digital: 1) objetos de prototipagem, compreensão e desenvolvimento de habilidades, 2) componentes para a construção e em escala real, investigações de curto e médio prazo, 3) pesquisas de longo prazo, soluções técnicas e problemas sociais, promovendo transferências de tecnologia. Grande parte dos laboratórios de fabricação digital, associados às instituições acadêmicas, desenvolvem projetos e atividades de acordo com as características da primeira e da segunda etapa. Os Fab Labs desenvolvem projetos e atividades de acordo com as características da primeira etapa, e os escritórios de design transitam entre as duas primeiras etapas. A terceira etapa está latente de suceder em alguns laboratórios que, até então, têm tangenciado alguns dos objetivos.

12) Autonomia territorial

As informações apresentadas demonstram que a estruturação dos laboratórios na América do Sul aconteceu de maneira muito heterogênea, por influências de agentes que obtiveram um conhecimento e formação não especificamente relacionado às

aplicações das tecnologias de fabricação digital. Contudo, um vínculo prévio com as tecnologias computacionais em suas tarefas contribuiu de forma vital no interesse em propor aproximações com novas tecnologias de fabricação. O acesso ao maquinário mais robusto ocorreu aos profissionais que obtiveram fomento para pesquisa ou trabalharam em colaboração com centros de investigação, ao contrário, o acesso a um maquinário mais simplificado dependeu de aquisições pessoais, do uso de projetos abertos ou de baixo custo, com suas devidas limitações materiais, mecânicas e de escala de manufatura. Em poucos casos ocorreu o uso de maquinário industrial, pois estavam fora da academia, que foi solicitado na indústria como meio para a realização de algum projeto já determinado, que não incluiu um processo contínuo de investigação e aprimoramento. Desse modo, reconheceu-se que grande parte das iniciativas de uso das tecnologias digitais permanecem isoladas em seus âmbitos, com pouca reverberação em termos de conexão com outros atores ou setores. Por exemplo, os escritórios de design acabam por empregar soluções via processos digitais por iniciativa própria, a fim de demonstrar o seu potencial, mas a atividade inicia e encerra no projeto, dificilmente são requisitados para realizar suporte e consultoria a outros escritórios e empreendimentos.

As narrativas relacionadas às tecnologias de fabricação digital emergiram, em nosso contexto, em grande parte, como demandas técnicas de reconhecimento das novas tecnologias, que estavam sendo apropriadas em diferentes temporalidades, e devido à compreensão e deslumbramento dos modelos existentes de laboratórios no exterior. Foram implementadas como um incremento das maquetarias – para uma maquetaria digital –, novas possibilidades de materializar rapidamente projetos, principalmente ligados aos processos computacionais controlados digitalmente, e automatizar alguns processos de produção. Dentre o material examinado, os discursos analíticos são preponderantes e determinados por uma condição fragmentada de produção, que é baseada em algumas atividades ou estudos de caso de projetos para a construção em escalas circunscritas. Os discursos pouco manifestam-se num sentido propositivo de estilos ou direcionamento mais incisivos e abrangentes sobre as contribuições e estratégias de criação inseridos nos sistemas locais. Além desses casos, há a difusão de narrativas replicando as oportunidades trazidas pelo modelo Fab Lab e suas potencialidades de implantação enquanto oferecem uma dinâmica de produção pessoal baseada em um "novo paradigma digital". A instalação dos laboratórios na região se constituiu com apenas alguns deles assumindo uma identidade particular de produção baseada nos preceitos das tecnologias de fabricação digital.

A produção vinculada às tecnologias de fabricação digital que atraiu a atenção de um público externo ao meio surgiu, por vezes, de escritórios de design, ou de ações já consolidadas em instituições de ensino, antes mesmo do uso do maquinário de fabricação digital – por grupos de pesquisa, por exemplo, em que os usos das tecnologias complementaram propostas específicas dentro de um quadro mais amplo de investigações. Apesar de grande parte dessas narrativas estarem evidenciadas por agentes ligados às instituições de ensino e pesquisa, é de se notar que muitos disparadores da aplicação das tecnologias digitais emergiram de maneira dinâmica na constituição de artefatos e processos fora desses espaços. Por exemplo, como em alguns Fab Labs, mas de maneira mais preponderante por atividades propostas por profissionais, com suas oficinas e instalações, e o papel que eventos como os AA Visiting School, realizados na América do Sul, obtiveram nesse sentido – seguindo o que foi apontado por Pablo Herrera em entrevista (HERRERA, 2020) –, ao apresentarem abordagens computacionais e de fabricação que eram bastante distintas e independentes das promovidas até a primeira década dos anos 2000 por certos atores da região.

Em alguns momentos, as narrativas de aparecimento dos laboratórios na região se confundem com o surgimento dos Fab Labs como protagonistas, ou seja, por oferecerem as novas tecnologias ao acesso do público, instaurando um ambiente de abertura dos espaços, tornaram-se mais reconhecidas publicamente do que os laboratórios em instituições de ensino e pesquisa, mesmo tendo sido instalados na segunda fase em nossa região. Contudo, como constatamos, um fator preponderante para a abertura desse cenário ocorreu, já no início dos anos 2000, por meio de iniciativas particulares providenciadas por certos agentes para a aquisição do maquinário em instituições e a utilização de máquinas em outros setores, fundamentando o caminho para que os empreendimentos globais como os Fab Labs se implementassem de forma facilitada em nossa região. Outra base de constituição foi a passagem de interesse, por parte dos coordenadores dos grupos de pesquisa e dos laboratórios institucionais, das estratégias de uso das ferramentas computacionais para a das ferramentas fabricacionais. Encontra-se na descrição de muitas escolas que adotaram a marca Fab Lab, indicações veladas à oportunidade dos alunos estarem experienciando dinâmicas muito similares às de um curso do MIT, já que haveria essa associação natural em termos de atividades e o espaço de referência.

A partir da revisão bibliográfica, sistemática, pesquisa de campo e da amostra de artefatos, percebe-se que as aplicações das tecnologias de FD estão extremamente

focadas em atividades de ensino – sejam oficinas de curta duração ou até mesmo cursos e disciplinas –, gerando tipos de artefatos como modelos e maquetes, e objetos de design. Nas Instituições de ensino superior, é preponderante a participação e a importância de pesquisadores pós-graduandos para a execução das atividades práticas e o aperfeiçoamento formativo dos estudantes. A permanência desses pesquisadores apresenta-se como uma contribuição efetiva e necessária, devido ao tempo outorgado para que desdobrem as suas investigações, ao mesmo tempo que o período limitado dos mestrandos e doutorandos extingue o trabalho ao final do período. Nos Fab Labs, concentram-se os cursos formativos e a abertura para a utilização pessoal do maquinário pelos frequentadores, a não ser nos instalados em instituições de ensino, que acabam adequando o seu funcionamento às demandas dos cursos de graduação e pós-graduação. No geral, surgem poucas relações mais efetivas com escritórios de arquitetura e com a indústria, no sentido de se atentar para o uso do maquinário avançado na geração de projetos assistidos por trabalho técnico especializado.

A aproximação dos laboratórios na América do Sul com fatores locais não procede de forma tão clara para os agentes envolvidos, como denotado nos questionários. Percebe-se que esse recurso emerge, principalmente, pelo meio material, mesmo que através da utilização de elementos simples produzidos na região, e pelo meio simbólico, referenciando bases culturais prévios de manufatura. De fato, essa consideração manifesta-se de modo mais atento em relação aos laboratórios que procuram criar elementos morfológicos ou vinculados a princípios artesanais e de objetos de design. Além desses, os vínculos surgem em relação à intencionalidade das propostas de projeto, ou seja, para os que estão voltados à atender uma certa demanda ou solucionar um problema de projeto para determinada comunidade. Em raros casos, os vínculos locais aparecem por meio do envolvimento de atores da comunidade na fase de conceitualização, prototipagem e execução de projetos.

O design como método e estratégia prática para o desenvolvimento de tarefas está cada vez mais presente em termos de geração e materialização de artefatos, fomentado pela maior proximidade e contato com as máquinas de fabricação em cursos nas universidades ou mesmo nos espaços abertos dos Fab Labs, além das realizações do movimento maker divulgadas nos meios digitais. Percebe-se que esse fato tem facilitado um deslocamento ou até uma expansão da posição do designer ou do arquiteto, não apenas como um ator limitado a articular um projeto em seu estado representacional, mas se deslocando para uma posição em que, ao menos, parte de suas ideias possam ser materializadas por ele próprio. Embora esse fator aponte

para uma progressão nos modos de fazer, as suas aplicações ainda variam bastante enquanto finalidade, com poucos exemplos alcançando uma capacidade de produção na escala 1:1, que contemplem, nesse processo, a experimentação técnica, material e a inserção desses elementos em projetos reais.

Considerando o uso efetivo da FD ou mesmo de outros modos de fazer, o que emerge de maneira notável é a intenção dos atores envolvidos no meio em explorar maneiras de alterar as técnicas de construção tradicionais. Em grande parte das entrevistas, a perspectiva que emerge é a de que a difusão das tecnologias de fabricação ainda depende muito de uma mudança cultural dos agentes envolvidos – sejam professores, pesquisadores, profissionais ou público leigo –, o que se espera que ocorra à medida que as tecnologias tornem-se mais acessíveis, em termos de custos de aquisição e de obtenção de conhecimento técnico, além da mudança geracional ou mesmo a necessidade de um tipo de popularização dos usos. A relação dos laboratórios com outros setores produtivos, principalmente a indústria, indica estar, ainda, em um estágio muito apartado, não por falta de visão acerca de suas potencialidades, mas por perceberem a existência de barreiras, tanto nas instituições, quanto nas próprias empresas. As associações de trabalho por parte dos laboratórios acontecem de modo mais profícuo com instituições culturais e de ensino, além da prestação de serviços.

A produção dos laboratórios, de maneira geral, está orientada à aplicação das tecnologias para a fabricação de protótipos e modelos arquitetônicos, peças de mobiliário e objetos de design, Com a escala dos projetos materializando-se em objetos pequenos e medianos, com poucas articulações na escala da edificação. As distintas dinâmicas de funcionamento dos laboratórios influenciam nos modos de concepção e de fazer os artefatos, em que alguns encontram-se em espaços privados e direcionam a sua produção ao mercado e às exposições de design, além de estabelecer estratégias colaborativas a partir de demandas de parcerias externas. Os distintos espaços abertos ao público, disponibilizados pelos laboratórios, promovem atividades direcionadas à participação de estudantes em áreas correlatas e interessados, propostas de residências, oficinas e instalações, além dos institucionais, regulados pelo ensino, pesquisa e extensão, com o potencial de integração conjunta a outros setores da sociedade. A configuração de boa parte dos laboratórios está baseada em organizações nucleadas, amparadas na proposta da rede global Fab Lab, dos quais alguns estão expandindo a sua atuação por meio de unidades móveis.

O tema da economia circular aparece de maneira rarefeita em algumas propostas, principalmente de materiais e biomateriais, que sucedem tangencialmente a algumas atividades de poucos laboratórios. Esse é um tópico no qual os laboratórios poderiam estar mais envolvidos, devido ao volume de material descartado que apenas em parte é reciclado. Além disso, conectá-lo às conhecidas estratégias de consertos e reconstrução de objetos e aparatos, muitas vezes denominado de "gambiarra"[6]. A articulação híbrida entre o analógico e o digital destaca-se em muitos projetos, devido à restrição dos materiais possíveis de serem utilizados no maquinário disponível, e pelo domínio técnico necessário para fazê-lo. Ao mesmo tempo, torna-se um potencial para a criação de resultados formais e combinações materiais não-usuais. As técnicas mais utilizadas são o seccionamento para encaixe, seguido do uso de técnicas aditivas, além de técnicas de dobradura e montagem. Em termos formais, as geometrias retilíneas e planas são mais recorrentes, pois o acesso ao tipo de maquinário que as produz facilita o processo de fabricação e montagem em maior escala, como as fresadoras CNC. Os materiais utilizados são rígidos mas com resistência limitada, como madeira, plástico e peças flexíveis fabricadas industrialmente.

A escolha do maquinário foi seguindo critérios de custo, facilidade de manipulação e aprendizado, não baseada em necessidades urgentes de aplicação. Impressoras 3D e cortadoras a laser são preferidas a equipamentos robustos e industriais, pautados por tecnologias disponibilizadas por empresas internacionais, dos EUA, Europa e China. É possível encontrar máquinas sendo criadas em nossa região, com funções e aplicações específicas, mas poucas, e ainda em âmbito experimental, necessitando aprimoramento tecnológico para serem implementadas. O uso de robôs na automação de processos de fabricação ainda é uma realidade distanciada, que está em estágio de assimilação técnica em poucas instituições por meio de projetos focados nesse sistema. À medida que se amplia a inserção das tecnologias em nosso contexto, o domínio técnico do profissional passa a ser cada vez mais exigido em um nível de superespecialização, o que dificulta um salto no nível de fabricação.

Baseado na análise dos projetos escolhidos, é possível designar especificidades e limitações do uso da fabricação digital em nosso continente. A adaptação de referências técnicas e de projetos do panorama global ocorre, geralmente, com baixo grau de complexidade propositiva. O enfrentamento da escassez e da limitação dos meios

6 Em relação a essa postulação técnica, é interessante consultar a reportagem <https://outraspalavras.net/tecnologiaemdisputa/as-mil-faces-da-tecnica-e-a-gambiarra-popular/>, e o trabalho do artista Ernesto Oroza <https://www.technologicaldisobedience.com/>.

e materiais induz à criação de estratégias particulares para servir necessidades mais urgentes e respostas aos requisitos eventuais dos projetos. A combinação de técnicas e materiais mediante investigações formalizadas realizam-se, quase que exclusivamente, em instituições de ensino. O potencial de revisão das práticas artesanais articula-se com a manutenção da identidade de comunidades, com o intuito de recuperar simbolismos, e também de fomentar uma indústria criativa. A valorização de fatores ambientais tem contribuído como condicionantes situados para a geração de artefatos funcionais. A participação de agentes com distintos saberes e experiências, externos aos laboratórios, acontece apenas de forma pontual em alguns projetos. Em suma, a fabricação digital vem oferecendo ferramentas para explorar mais artefatos conceituais e artísticos.

Com a ausência de um panorama claro e amplamente discutido sobre as contribuições da fabricação digital em nosso contexto, a tendência, em um primeiro momento, foi de espelhamento de propostas do exterior, principalmente com o intuito de aprendizado e assimilação das técnicas digitais. A atribuição de sentido que conferiu envergadura à incorporação das tecnologias de fabricação digital na América do Sul derivou das possibilidades de inovação veiculadas em países desenvolvidos, mas ainda não verificadas aqui em escala, seja de processos e produtos customizados que seriam de grande complexidade, ou com custo e tempo de produção reduzidos. Logo, há avanços na execução de protótipos e experimentos de projetos, ainda que percebe-se certa fetichização do potencial de uso das máquinas. Além desses aspectos, a formação de redes de conhecimento acontece de maneira cambiante, pouco abrangente e limitada a algumas iniciativas em determinadas regiões. Outro fator que causa inconstâncias são as mudanças de políticas públicas e os recorrentes cortes em investimentos em pesquisa e desenvolvimento de tecnologias com base local. Baseados no amplo conjunto de casos e pontos especificados durante a pesquisa, é possível indicar diretrizes de trabalho para a continuidade e evolução dos processos de FD em nosso continente.

5. CONCLUSÃO

Avaliações e proposições

Ao longo da pesquisa, a observação das diversas estratégias e artefatos relevantes nos distintos contextos foi tornando convidativa a ideia de modificá-la para que transitasse de uma instância teórica e historiográfica para a dimensão de prática projetual – o que foi conduzido, paralelamente, com alguns experimentos de fabricação que contribuíram para reflexões na tese. Ao mesmo tempo, reafirmou a importância de consolidar as primeiras indagações sobre o tema, porque o que nos instigava era justamente compreender as condições de campo relacionadas às aplicações tecnológicas em nossa região e contexto, suas potencialidades e lacunas. Dessa maneira, poderíamos estar capacitados a, juntamente aos participantes da pesquisa e a outros interessados no assunto, avaliar modos de inserção dessas práticas. Todo esse processo nos conduziu à percepção de que, ao contrário de contextos industriais avançados, nos quais os esforços estão muito mais focadas na questão técnica do "como fazer", a investigação teórica e empírica da situação vigente em nosso contexto se torna extremamente relevante pois necessitamos questionar e revisar constantemente nossas posições acerca do "por que fazer" e "para quem fazer". Logo, com a finalidade de transcender o que apenas observamos nas distintas referências e autores do norte global, precisamos conduzir reflexões acerca de um fazer próprio, mas que, ao mesmo tempo, não prescinda de estarmos atentos às propostas de projetos, pesquisas e experimentos desenvolvidas mundialmente.

Respondendo a hipótese da pesquisa, o nível de maturidade na aplicação das tecnologias alcançado em nosso contexto não está atrelado à escolha pela utilização ou não utilização das tecnologias avançadas – como robótica, manufatura aditiva industrial, sistemas CNC de alta capacidade de produção, e o que mais estaria vinculado a uma "lógica 4.0" –. Em seu processo de implementação, demandas mais imediatas e

um período lento e concentrado de instrumentalização e adaptação aos quadros de práticas vigentes levou a uma situação específica de assimilação tecnológica, que não deve ser percebida através de uma lente de evolução linear. Os próprios processos e o emprego do maquinário promoveram o desenvolvimento técnico de projetos e propostas de investigação, mas num sentido pontual em que pouco se desdobrou de modo cumulativo e sustentado para a continuidade e difusão das aplicações, além das propostas estarem orientadas a resultados imediatos. Soma-se a isso, o fato dos projetos se desenvolverem, sobremaneira, de modo isolado e nos espaços circunscritos de cada laboratório, incluindo as escassas demandas externas que oportunizariam o uso amplo das tecnologias. De maneira fundamental, também contribuiu a falta de programas e políticas de inovação direcionadas para a manufatura digital em escalas localizadas ou regionalizadas, e a dificuldade na obtenção de financiamentos mais duradouros, que pudessem captar projetos, expostos com objetivos claros para além da implantação das tecnologias. Complementarmente, existem poucos projetos orientados a missões, objetivos e soluções de problemas promovidos a longo prazo, que incorporem a experimentação a fim de se obter o desenvolvimento de propostas construtivas situadas e via colaborações com outros setores.

As tecnologias de fabricação digital são implementadas em contextos da América do Sul nos quais a atuação do design, da arquitetura e da construção enfrenta a concorrência de desafios mais urgentes para se estabelecerem, desde a convencional produção no canteiro ao segmento industrial, e a adequação às instituições e suas culturas de trabalho sedimentadas, até o desafio de expandir a limitada escala de produção dos elementos para os projetos. Isso diz respeito a necessidade de uma mudança de visão acerca da utilização das tecnologias de FD para fins de impactos efetivos e avanços tecnológicos nos setores, em que seja preciso a criação de métodos de projeto específicos que possam ser instaurados e permanecerem como base para a criação de processos e artefatos. Adicionalmente, fomentar a implantação de projetos que promovam uma cadeia de conhecimentos cumulativos que possam ser desenvolvidos por meio de pesquisa básica e aplicada e, posteriormente, difundidos. A viabilidade de extrapolar limitações da infraestrutura instalada em cada laboratório, expandindo o acesso ao maquinário e à produção, pode ser efetivamente colocado em prática ao se estabelecer vínculos em rede com outros laboratórios e colaborações diretas com setores industriais identificados nas proximidades, como marcenaria, construção, metalmecânico, de transformação, entre outros.

O tópico da automação em nosso contexto evoca uma série de questionamentos

sobre a sua urgência, viabilidade ou pertinência, devido a ser parte de um ciclo com uma nova roupagem, mas já recorrente no horizonte internacional de industrialização avançada, como vimos em relação ao chamamento para a instauração de uma indústria 4.0. Ainda é difícil especular sobre o ganho de produtividade ou sobre o alcance que seria obtido através da substituição completa das tarefas analógicas pela máquina automatizada em nosso cenário da arquitetura e construção, com o risco de um salto brusco em vez de mudanças e arranjos evolutivos adequados na infraestrutura de produção. Ao mesmo tempo, essa é uma condição muito complexa de se avaliar, já que há ganhos e mudanças qualitativas em certas dinâmicas mas que também acarretam uma série de obstáculos técnicos, principalmente se pensarmos nos desafios e obstáculos de implementação dessas matrizes no setor da construção: empreendimentos complexos devido a serem baseados no local e à grande quantidade de processos e participantes inter-relacionados; incertezas em relação a falta de especificações dos processos; cadeia de fornecimento fragmentada e constituída por pequenas e médias empresas; pensamento de curto prazo; cultura resistente a mudanças (OESTERREICH; TEUTEBERG, 2016).

Entre recuos e avanços, o desafio é encontrar enquadramentos das funções tecnológicas que não se resumam a vantagens de produção unicamente dedicadas ao escopo quantitativo. Ou seja, aplicações adaptáveis e que extraiam muito mais um potencial criativo do que da capacidade estrita da execução da máquina. Durante o percurso da revisão historiográfica, foi interessante notar como a matriz tecnológica abordada na disciplina da arquitetura – e sua relação com projeto e construção – se alterou de uma visão mais holística, em projetos considerados "high-tech", por volta dos anos de 1970 e 1980, e suas proposições relacionadas a um engajamento com o todo – consciência ambiental, sistemas de suporte, edificações autônomas, megaestruturas e devaneios cibernéticos (WEBB, 2005; MURPHY, 2016) –, para a aplicação das tecnologias na execução de partes da construção, ou seja, na fabricação de elementos que constituem uma cadeia de componentes.

Percebemos como o uso do termo "revolução" não somente se tornou recorrente, mas também de fácil apropriação e capaz até de banalizar o sentido de mudanças sociais mais amplas e profundas no espectro global. Ao invés disso, ele está sendo utilizado como chamariz de processos que visam alterações econômicas profundas por meio de seus modos de produção material e imaterial na esfera do digital. Assim, pelo discurso, privilegia a concentração de escolhas pelos caminhos das matrizes tecnológicas em poucas empresas capazes de fornecer máquinas e consultorias para

a implementação dos modos operacionais ditados e propagandeados a partir do norte global, mas com a intenção de que seja globalmente absorvido, determinando certas "condições geopolíticas de conhecimento" (TLOSTANOVA, 2017). As tecnologias disponíveis em nosso continente diferem muito das utilizadas no contexto do norte global. Aqui, geralmente, temos acesso ao kit básico de cortadoras CNC de mesa que trabalham em 3 eixos, com grande parte do maquinário sendo produzido a partir de projetos abertos disponíveis na internet, principalmente impressoras 3d, equipamentos com limitada capacidade e complexidade de produção por não atingirem um nível de tecnologia industrial.

Nesses termos, inicialmente, o modelo Fab Lab apresentou um paradigma muito efetivo pois fomentou a aproximação às novas tecnologias de fabricação, integrando táticas simples para se alcançar resultados concretos para a produção de ideias ou mesmo solução de problemas. Contudo, pensar que espaços e tecnologias acessíveis para o reconhecimento técnico e uso por um público seja sinônimo de democracia ou mesmo de revolução é reduzir e simplificar os conceitos, ou até mesmo fazer do seu uso uma estratégia de majoração dos efeitos de marketing do projeto. Isso porque, se forem colocados em prática, devem ser capazes de materializar um sentido de representatividade e participação ligados ao contexto e território no qual um Fab Lab se insere. A redução à ideia de produção personalizada acaba sendo um limitante ao modelo, porque os anseios e desejos individuais sobrepujam o interesse pelo desenvolvimento de propostas que solucionem ou ofereçam experimentos para o ecossistema local. A própria indicação de uma combinação de máquinas para serem adquiridas e o esforço para compatibilizar as tarefas de desenvolvimento dos artefatos baseado nesse conjunto, limita o que pode ser feito.

Como vislumbrado, os Fab Labs se mostraram como espaços de recepção de estudantes de diversas áreas das instituições de ensino aos quais aqueles se vinculam, e recebem um público diversificado quando fora das instituições, mas ainda circunscrito a certas áreas de interesse – que envolvem, basicamente, design, arquitetura, artes e engenharias. O que foi observado com base na bibliografia e verificado nos estudos de campo é a sua efetividade limitada quando convergindo para atividades pessoais ou de formação no nível superior. Eles demonstraram ser espaços coerentes ao desenvolvimento de "novas" habilidades e para desdobrar campos de interesse para o público geral. Desse modo, percebe-se ser mais indicada a implantação desses modelos, tais como são difundidos, em colégios técnicos, escolas de ensino fundamental e em outros centros culturais, para que o interesse voltado às práticas

"maker" já seja fomentado e experimentado em ciclos de ensino prévios ao superior. Além disso, devemos ter o cuidado de evitar apreender uma faceta que incorpora as práticas "maker" como geradora de resultados meramente decorativos e que, ao final, tornem-se uma distração das mudanças sistêmicas ou estruturais requeridas em contextos e comunidades nos quais essas atividades estão se inserindo por meio de um discurso frutífero.

O que pretendemos mostrar no decorrer da tese é que o que se conformou ao longo das últimas décadas foi não somente uma divulgação das novas tecnologias em si mesmas, mas também de uma série de narrativas que envolvem a sua aplicação em nossa área. Sendo assim, esse evento desdobrou-se em uma determinação cultural, técnica e econômica que se enquadra na conceitualização de formações discursivas, ao considerar manifestações amplas que determinaram um campo de estudos, conhecimentos acerca das aplicações e experimentações, a incorporação de dinâmicas de outros setores produtivos numa tentativa de equiparação de certas "virtudes", além da materialização dessas práticas em projetos que se tornaram referências no cenário contemporâneo e provocaram um encantamento pelo uso pioneiro das tecnologias digitais. Ou seja, essas questões tornaram-se formativas a ponto de implicarem alterações no que consideramos relevante ser absorvido como tecnologias para as práticas de projeto. É essa expansão do cenário do design, da arquitetura e da construção que cria interesses e expectativas, e que nos estimula na iminência de investirmos esforços no seu entendimento e assimilação. As formações discursivas acabaram por potencializar as possibilidades de aplicação das tecnologias de fabricação de maneiras mais diversas, objetivas, e circunscritas a tarefas especializadas, criando fundamentos teóricos e avançando a ideia abstrata de tectônica digital e, assim, criando bases mais concretas para a aceitação dessas dinâmicas na arquitetura contemporânea.

Em relação ao nosso cenário local, essas formações discursivas têm fomentado uma disseminação ampla de informações e convencido muitos profissionais e pesquisadores de sua potencial efetividade. Projetos de artefatos baseados em problemas contextualizados, desenvolvidos por um longo prazo de retroalimentação e análise, sugerem ser mais efetivos para o setor da arquitetura e da construção. Inicialmente, porque isso direciona o processo de investigação experimental, mesmo que previamente não se tenha em mente o resultado final. De todo modo, nesse procedimento, é necessária uma etapa inicial de compreensão dos fatores técnicos a serem abordados e da elaboração e ensaios para o emprego adequado das tecnologias de fabricação, em virtude da forma como podem buscar suporte para a prototipagem

e a materialização do projeto. Além disso, os processos de participação e colaboração entre profissionais e não-especialistas, a fim de agregar conhecimentos plurais e multidisciplinares, são um fator-chave para ampliar o espectro de criação e de resultados coerentes com certas necessidades e aspirações. Após as etapas de conceitualização, projeto e prototipagem, os elementos passam a ser analisados em seu comportamento material ou conexão com outros sistemas por meio de ensaios que conduzam a futuros aprimoramentos, até resultarem em protótipos finais que possam ser implementados para avaliação em campo e a longo prazo.

No percurso da investigação, foi fundamental perceber a importância das redes de colaboração e políticas de investimento em pesquisa e desenvolvimento, para a manutenção e o avanço compartilhado na implementação das estratégias e realizações. Em termos de redes, elas ainda são poucas, mas presentes na tentativa de integrar atores da região. A identificação com as tecnologias avançadas de fabricação digital exercem uma função agregadora de diversos temas "novos" para a arquitetura e a construção, de alguma maneira, ampliando o seu repertório, num movimento do global para o local. Contudo, essas assimilações devem ser adequadas às condições econômicas e políticas, especificidades sociais e culturais de cada região. Em todo caso, também urge a necessidade de se pensar estratégias relacionadas às transferências tecnológicas e colaborações entre setores de maneira simbiótica e comprometida com avanços sociais, assim, evitando saltos técnicos que deixem lacunas entre a aquisição e a aplicação dos distintos tipos e versões de maquinário disponíveis. Além disso, pontos consideráveis a serem colocados em prática a partir da FD vinculam-se à capacidade da produção acontecer de maneira distribuída, a sustentabilidade econômica das atividades e do uso de material, além do arranjo de novos processos produtivos.

É urgente a determinação de "produções situadas", que representem a tomada de decisão baseada numa avaliação das diversas condições e das problemáticas identificadas no contexto das quais emergem. Desenvolver projetos espelhando referências já estabelecidas são úteis para atividades instrucionais e aprimoramento técnico, mas é necessário ir além desses procedimentos e determinar certa identidade na produção. Não se trata apenas de considerarmos a questão da falta de uma cultura arquitetônica digital mais ampla como uma dificuldade latente, ou da absorção dessas inovações tecnológicas na área da construção como uma mera escolha, mas que desloca-se pela necessidade de uma compreensão clara e objetiva acerca das reais possibilidades de investigação básica e aplicação das tecnologias digitais em cada contexto de atuação. Para isso, deve-se considerar não apenas características amplas, como complexidade,

customização, redução de custos ao se fazer algo nao-estandardizado,# como uma dificuldade latente e sim quais os benefícios pedagógicos, sociais, técnicos, funcionais, simbólicos e de impacto a longo prazo podem ser alcançados. Compreender essa condição adaptada ao nosso meio é crucial para nos retirarmos de uma dupla condição: de atraso em relação a recepção das tecnologias, e de uma visão distanciada de como é possível induzir avanços práticos.

Apesar do interesse e da perspectiva de implantação de sistemas tecnológicos avançados já em andamento em diversos setores e regiões da América do Sul, pensar na implementação da indústria 4.0 na área da arquitetura e da construção ainda parece ser uma realidade muito distante, já que há uma série de outras lacunas nas cadeias e setores construtivos e de manufatura a serem supridos. Cabe ser mais efetivo focar em compreender as reais possibilidades de aplicação, estratégias de uso e limitações do maquinário digital, o que inclui a apropriação das tecnologias robóticas, para assim assimilá-los em etapas adequadas da evolução de cada setor e contexto. Nesse sentido, o desafio envolve uma gama de tarefas conjuntas como a exploração de novos materiais, reutilização e circularidade, processos analógico-digitais e procedimentos voltados à inovação social. Isso evita saltarmos estágios de consolidação das mesmas e permite articular o conhecimento acumulado com versões tradicionais ou já estabelecidas nos modos de trabalho e produção na arquitetura e na construção. Isso porque o modelo de indústria 4.0 não se resume a alterações pontuais nas tecnologias, mas exige a incorporação de um conjunto de elementos determinantes e, concomitantemente, ajustes para a sua implantação em uma cadeia mais ampla de produção.

Há uma situação excêntrica na absorção das tecnologias de fabricação digital na América do Sul, pois elas são assimiladas em contextos nos quais o percurso entre a ideia e a capacidade de execução completa acontece de maneira pouco recorrente, estagnando em modelos e protótipos, pela dificuldade de coordenação de todo o projeto ou, mais ainda, de se inserir inovação na cadeia de produção do setor. Desse modo, controlar e aprimorar partes do projeto para se manufaturar elementos por meio da FD acaba se encaixando nessa condição de acesso e controle parcial do maquinário, convergindo limitações tecnológicas com limitações de campo em oportunidades de alocação de propostas. Nesse sentido, o espaço acadêmico torna-se um local privilegiado e de segurança para investigações e experimentos mais avançados que não encontram um encaminhamento direto no mundo exterior. Sendo assim, podem desenvolver processos e artefatos resultando em maior liberdade e flexibilidade de propostas. Cabe, então, buscar meios-termos, em que os laboratórios sejam

"incubadoras" de investigação e desenvolvimento de artefatos, técnicas e tecnologias, estabelecendo redes de colaboração com ou a partir de outros laboratórios, que possam ser disponibilizadas, adequadas e adaptadas a solucionarem problemas ou contribuírem efetivamente com mudanças e avanços no meio, integrando-se como parte de um ecossistema regional. Os termos como esses procedimentos funcionarão em cada região depende do estabelecimento de políticas públicas de pesquisa, desenvolvimento e inovação que os direcionem para a contribuição da sociedade e determinem taxas de retorno quando encaminhadas a setores privados.

Nas instituições de ensino, cada vez mais, os cursos integram estratégias de design computacional, BIM e técnicas de fabricação digital, mas devem ir muito além da fase instrucional. Não basta ensinar truques pontuais sobre como realizar algumas tarefas ou gerar resultados formais sem um significado situado, aplicações adequadas em projetos e materializações relevantes. As práticas utilizando as ferramentas digitais, técnicas e tecnologias de fabricação digital fomentam um trabalho conjunto, transpassando a sua mera interpretação como meios de representação, confluindo disciplinas, atividades, práticas e investigações nas Universidades. Como já discutido, o acesso às tecnologias de fabricação digital não garante a democratização do conhecimento e a criatividade produzidos por meio do uso dos aparatos técnicos. Além disso, esse processo de aquisição de tecnologias e estratégias levaria a um paradoxo de atribuição, na medida que se difundem e tornam-se mais comuns, extingue-se o seu fator especial, da capacidade de produzir elementos particulares ou de agregar valor para o projeto.

Em relação aos potenciais futuros, os laboratórios voltados a experimentação com biofabricação apresentam um aporte importante para focar justamente num ponto que é de lacuna na nossa região: o desenvolvimento de novos materiais. Essa capacidade se encontra nas estratégias de reciclagem de materiais e economia circular, e ao se apropriar da grande diversidade natural existente em nosso continente. Já existem alguns laboratórios formalizados, iniciados por volta de 2018, como o Biofab.uc (Laboratorio de Biofabricación FADEU UC do Chile), o D.LAB USFQ (DesignLab da Universidad San Francisco de Quito) e o Labva (Laboratorio de Biomateriales y Biofabricación de Valdivia), além do próprio Fab Lab U. de Chile, que estão investindo nisso. Outro ponto é a utilização das tecnologias como oportunidade de avançar nos métodos de investigação conceitual, a fim de ultrapassar as fronteiras entre arte e ciência. Ademais, já encontramos exemplos na América do Sul da criação de máquinas com funcionalidades e aplicações específicas, que podem ser expandidas. Considerando

que a pesquisa empírica observou os avanços na região até o ano de 2018, no momento da finalização da escrita da tese, percebe-se a ampliação do interesse pelos sistemas robóticos em temas de investigação e na sua aplicação na indústria da construção. Muitos deles estão sendo inseridos por meio de colaboração entre instituições, como a Universidad de Bio-Bio e a UFTSM, no Chile, ou mesmo na PUC-Rio, no Brasil. Absorvendo a complexidade e a diversidade de considerações apontadas durante a pesquisa, é hora de indicar direcionamentos que possam ser adequados às estratégias, atividades e práticas do nosso contexto.

Para uma interpretação geral da aplicação da fabricação digital em nosso contexto

Muito mais do que uma teoria que tenta estruturar o conjunto de afirmações acerca do comportamento de sistemas de funcionamento tão complexos que estão absorvendo as tecnologias, no caso, os denominados laboratórios de FD, enunciamos uma interpretação geral acerca do campo de possibilidades práticas, que inclui estratégias direcionadas às atividades investigativas. Essa abordagem tem o intuito de criar caminhos para a efetivação de dinâmicas de criação, que possam ser absorvidas e compartilhadas por qualquer tipo de laboratório, promovendo uma evolução constante de métodos e resultados, sem que essas indicações sejam consideradas normativas. A interpretação parte da noção de hibridez cultural (GARCÍA CANCLINI, 2015), em que processos socioculturais, em suas práticas discretas, combinam-se para formar novas estruturas, objetos e práticas, a proposta pretende conectar conhecimentos técnicos específicos com práticas ordinárias e referências situadas: "hoje concebemos a América Latina como uma articulação mais complexa de tradições e modernidades (diversas, desiguais), um continente heterogêneo formado por países onde, em cada um, coexistem múltiplas lógicas de desenvolvimento" (GARCÍA CANCLINI, 2015, p. 28).

Com essas diretrizes em mente, o que propomos não se condiciona unicamente a pensar modos de apropriação das tecnologias, mas uma mudança de atitude em relação ao uso das mesmas, no que diz respeito a como características e necessidades advindas de mapeamentos de informações, análises sociológicas, estudos de materiais e dinâmicas de adequação ao contexto podem "adentrar" conhecimentos técnicos constituídos e, assim, conduzir processos emergentes. A essa prática, designamos como "porosidades tecnológicas", uma abordagem que pretende fomentar a criação de processos, protótipos ou artefatos, a partir de determinadas diretrizes de pensamento.

Primeiramente, considera as limitações do maquinário disponível e de outros meios analógicos e digitais como parte de um potencial criativo a ser explorado, destinado a soluções acessíveis para problemas locais e experimentos projetuais para diversas finalidades. Também, envolve a confluência entre alta e baixa tecnologia, por meio da absorção e aprimoramento de técnicas já existentes, seja no campo da manufatura, da construção ou da prática artesanal. Além disso, as tecnologias não são compreendidas apenas como as máquinas, mas na geração de artefatos híbridos analógico-digitais, incorporando elementos e dispositivos já presentes no cotidiano, sendo esse tipo de apropriação que a proposta tensiona, efetivado nos seus devidos processos de condução como estratégias que podem ser tanto especulativas quanto utilitárias.

Essa visão impulsiona a absorção de conhecimentos e criações advindos, inclusive, de fora das disciplinas da arquitetura, do design e da construção. Sejam geometrias, conceitos, elementos industrializados de distintas escalas, aparelhos mecânicos ou eletrônicos, peças, materiais, a revisão de conformações artesanais consolidadas, a utilização de elementos naturais ou geográficos, concepções partindo da situação econômica, cultural, político-social e ambiental local. Baseado nessas premissas, formulamos um esquema que elucida as diretrizes e fornece direcionamentos para atividades e investigações.

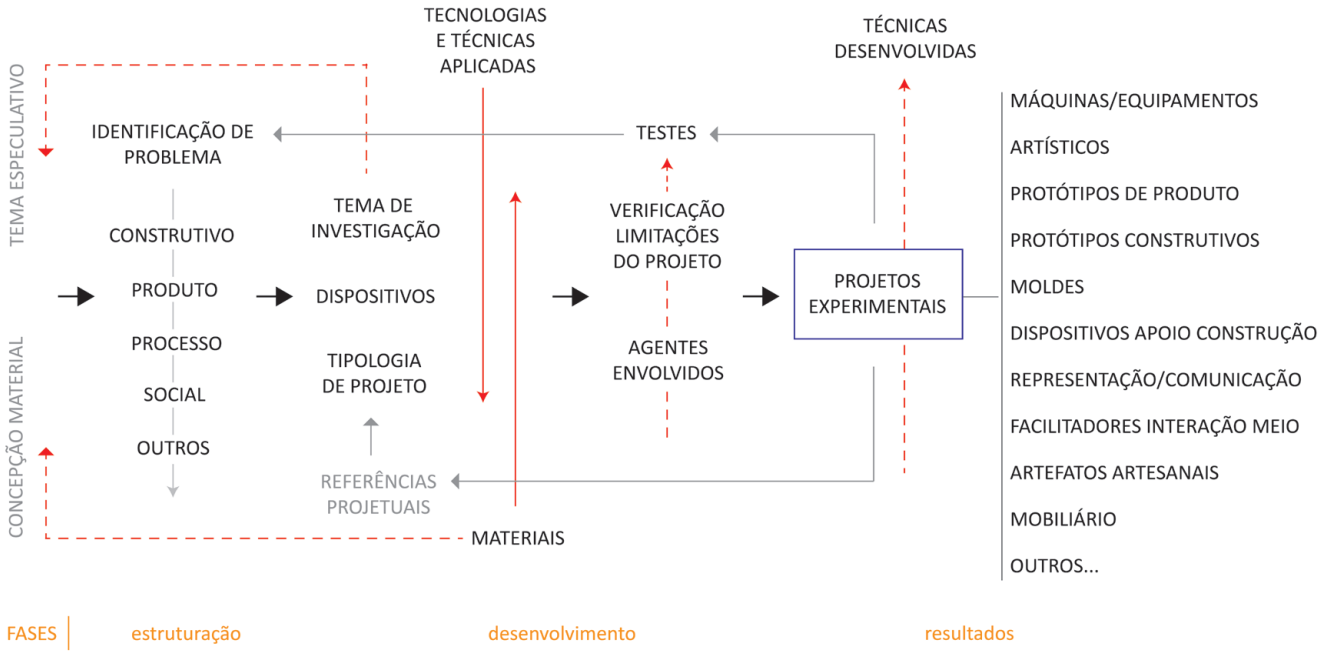


Figura 69 – Esquema de produção direcionada com o suporte da FD

Fonte: Autor

Esse esquema designa constantes realimentações e transversalidades. No momento da estruturação da prática, é possível iniciar de um modo aberto e experimental, a partir da escolha de um ou mais materiais – trabalhando as suas propriedades e combinações – ou de um tema especulativo abstrato – a partir de geometrias ou algum tipo de elemento pré-configurado. Pode-se iniciar diretamente pela identificação de alguma problemática que se pretenda solucionar, oriunda de questões que emergem dos setores de produção de objetos, da adequação ou melhoria de processos estabelecidos em distintas cadeias, das necessidades de grupos ou indivíduos em situação de vulnerabilidade, dentre outros. A esse primeiro momento, é válido adequar temas de investigação que configurem uma forma ao problema, dispositivos que se pretenda adaptar ou criar, ou utilizar tipologias de projeto como base para guiar estudos, todos podendo se servir de referências já produzidas.

A seguir, são escolhidas as tecnologias, técnicas e materiais capazes de serem adequados ao desenvolvimento da proposta, variando a partir do reconhecimento das opções ao alcance do laboratório, que podem ser assimilados ou desenvolvidos de acordo com as necessidades que surgirem. Após a verificação das limitações acerca do que foi proposto até então no projeto, há a opção de integrar agentes para a colaboração na sua continuidade – que podem também estar inseridos em etapas anteriores –, sendo especialistas ou não-especialistas e, assim, realizar protótipos e testes necessários. Logo, são alcançados resultados em fase experimental, dos quais é possível também extrair aprendizados técnicos que podem ser refinados e aplicados em outros construtos. Cada um deles liga-se a determinadas operações: modelos, protótipos especulativos, artefatos de média escala, instalações artístico-conceituais, moldes para construção, componentes construtivos, sistemas de demonstração em escala real e sistemas de construção em escala real, entre outras possibilidades, reinserindo-se no sistema como uma referência ou apto para avanços, demonstração e efetivação como produto final.

Os resultados dependem da infraestrutura e dos espaços físicos, estratégias de trabalho, das relações entre laboratórios acadêmicos, laboratórios independentes, escritórios profissionais, ou outras conformações que colaborem com instituições, sociedade civil, indústria e serviços, que possamos instituir práticas situadas observando necessidades emergentes e atividades compartilhadas. Desse modo, que estes possam ser orientados a certos tipos de missão um pouco mais audaciosa para promover alguma mudança nas diversas áreas, setores e na sociedade, organizados por meio de redes de interesse. Na medida do possível, que os projetos e processos sejam mantidos

na modalidade open-source em repositórios e divulgados mediante publicações em reportagens e artigos, para que, assim, um conhecimento seja capaz de ser estruturado e desdobrado, gerando variações, complementações e certa inteligência coletiva de projeto.

Nesse sentido, podem ser concebidos dispositivos utilitários para a sociedade, elementos leves para estruturas e fechamentos, novas técnicas para a construção, customização de objetos e mobiliário, moldes para elementos complexos, infraestrutura adaptável para o canteiro, máquinas com propostas de funcionamento originais, entre uma infinidade de outras opções. A série de exemplos que foram apresentados nos capítulos em que mapeamos os distintos contextos, escolhidos tanto no norte quanto no sul global, contribuem na visualização dessas possibilidades de desdobramentos. Mas o principal intuito dessa compilação de referências é o de divulgar que o uso das tecnologias de FD permite uma expansão da inventividade e do imaginário de projetos.

As fronteiras e o encantamento com as tecnologias digitais

Com o resultado apresentado no texto da tese, pretendemos nos desvincilhar do mero encantamento com as novas tecnologias, compreendendo seus limites e sua função como suporte criativo. Conjuntamente, tal condução permitiu interpretar de maneira aprofundada acontecimentos que demarcaram o surgimento e evolução do tema no norte global, e sistematizar boa parte da grande diversidade de fenômenos de aplicação da fabricação digital existente em nosso contexto do sul global. Dessa maneira, constatamos que a presença de uma racionalidade técnico-científica, que se expande por meio da instalação de diversos laboratórios com as tecnologias de FD, ao mesmo tempo, oportuniza a emergência de racionalidades contra-hegemônicas. Ao reconhecer que a crescente demanda por novas habilidades especializadas, por vezes, acaba sendo excessiva, não devemos permitir que desviem as nossas práticas de uma curiosidade e interesse constantes em promover adequações sociotécnicas.

Ao final dessa longa trajetória, que começou extraoficialmente antes do período inicial do doutoramento, sistematizamos uma quantidade de laboratórios e produções muito acima das nossas expectativas. Esse conteúdo exigiu constantes depurações, análises e um esforço de síntese, além do desafio para se estabelecer um formato de organização das informações ainda em estado de aprimoramento. As questões de

método exigiram aprendizado e dedicação a parte para a sua aplicação efetiva, já que estavam sujeitadas à contribuição voluntária dos diversos atores relacionados ao tema. A revisão bibliográfica foi articulada de uma maneira original devido à interpretação das informações situadas mediante a apreciação da ideia das formações discursivas e sua reconstrução por meio de uma arqueologia de saberes. A obtenção do material de campo acerca dos contextos do norte e do sul global foi substancial em seu conjunto para que dele emergissem reflexões e apontamentos significativos a serem debatidos e considerados para desenvolvimentos futuros. Nesse sentido, estudos de caso com as entrevistas e visitas técnicas foram fundamentais para se perceber com distinção indagações e respostas pertinentes à proposta da investigação.

A dimensão politica da pesquisa acontece pelos direcionamentos oferecidos nas seções finais, tanto por meio do debate e das considerações, quanto da exposição do próprio material, que se espera contribuir para colaborações entre laboratórios e formação de redes de trabalho. Considerando as dificuldades na obtenção de uma série de dados durante o percurso, é também significativo que o trabalho da tese seja refletido em e promova a ampliação de identificadores e a base de dados regionais para a análise de temas correlatos. Terminada essa etapa de síntese, esperamos que futuros desdobramentos apoiados na pesquisa aconteçam com o desenvolvimento de propostas práticas de fabricação, a ampliação de estudos de caso para a indústria e os escritórios de design, estudos etnográficos relacionados aos fab labs, e a expansão de considerações teóricas ligando os temas da FD aos distintos contextos do nosso continente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A third industrial revolution. **The Economist**, Londres, abr., 2012.

ABRAMS, Janet; HALL, Peter (Eds.). **Else/where: mapping**. New cartographies of networks and territories. Minneapolis: University of Minnesota, 2006.

AISH, Robert; BREDELLA, Nathalie. The Evolution of Architectural Computing: From Building Modelling to Design Computation. **arq**: Architectural Research Quarterly, V. 21, n.1, Mar. 2017, p. 65–73. doi: 10.1017/S1359135517000185.

AKSAMIJA, Ajla. **Integrating Innovation in Architecture**: Design, Methods and Technology for Progressive Practice and Research (AD Smart). Chichester: John Wiley & Sons, 2016.

ALESSANDRINI, Michele; CELOTTI, Pietro; GRAMILLANO, Andrea; LILLA, Marco. **The future of industry in Europe – European Committee of the Regions** [report]. European Union, 2017. Acessado em: <https://cor.europa.eu/en/engage/studies/Documents/The%20future%20of%20industry%20in%20Europe/future-of-industry.pdf>.

ALEXANDER, Zeynep Çelik; MAY, John (Eds.). **Design Technics**: Archaeologies of Architectural Practice. Minneapolis: University of Minnesota Press, 2020.

ALVES, Gilfranco Medeiros. **Entrevista 1**. [04 out. 2018]. Entrevistador: Rodrigo Scheeren. Videoconferência: São Carlos - Campo Grande, 2018. 1 arquivo .m4a (1 h. 03 min.) Entrevista concedida virtualmente. Não publicada.

AMUI, Bruno. **Entrevista 1**. [03 mai. 2018]. Entrevistador: Rodrigo Scheeren. Brasília, 2018. 1 arquivo .m4a (47 min.) Entrevista concedida presencialmente no Fab Lab Brasília. Não publicada.

ANDERSON, Chris. **Makers**: the new industrial revolution. New York: Crown Business, 2012.

ANDREONI, Antonio; GREGORY, Mike. Why and how does manufacturing still

matter: Old rationales, new realities. **Revue d'Economie Industrielle**, n. 144, 2013, p. 21–57. doi: 10.4000/rei.5668

ANDRES, Jürgen; BOCK, Thomas; GEBHART, Friedrich. First results of the development of the masonry robot system ROCCO. In: **Proceedings of the 11th ISARC** (International Symposium on Automation and Robotics in Construction), mai. 1994, p. 87-93.

AUGUSTÍ-JUAN, Isolda; HABERT, Guillaume. Environmental design guidelines for digital fabrication. **Journal of Cleaner Production**, V. 142, 2017, p. 2780-2791.

AUSTERN, Guy; CAPELUTO, Isaac G.; GROBMAN Yasha J.. Rationalization Methods in Computer Aided Fabrication: A Critical Review. **Automation in Construction**, n. 90, 2018, p. 281–293.

BALAGUER, Carlos; ABDERRAHIM, Mohamed; NAVARRO, Jose Maria; BOUDJABEUR, Samir; AROMAA, Pekka; KAHKONEN, Kalle; SLAVENBURG, Silvester; SEWARD, Derek; BOCK, Thomas; WING, Robert; ATKIN, Brian. FutureHome: An integrated construction automation approach. **IEEE Robotics & Automation Magazine**, v. 9, N. 1, 2002, p. 55–66. doi: 10.1109/100.993155

BANHAM, Reyner. **Theory and Design in the First Machine Age**. New York: Praeger Publishers, 1967.

BELLO, Cecilia. **Entrevista 1**. [18 ago. 2020]. Entrevistador: Rodrigo Scheeren. Videoconferência: São Carlos - Buenos Aires, 2020. 1 arquivo .m4a (29 min.) Entrevista concedida virtualmente. Não publicada.

BENANAV, Aaron. **Automation and the Future of Work**. New York: Verso, 2020. [versão kindle]

BEORKREM, Christopher. **Material Strategies in Digital Fabrication**. New York: Routledge, 2013.

BERNAL, Marcelo. **Entrevista 1**. [21 ago. 2020]. Entrevistador: Rodrigo Scheeren. Videoconferência: São Carlos - Atlanta, 2020. 1 arquivo .mp4 (1 h. 28 min.) Entrevista concedida virtualmente. Não publicada.

BERNAL, Marcelo; TAYLOR, Paul. Conocimientos locales. In: XI Congresso da Sociedade Iberoamericana de Gráfica Digital, 2007, Cidade do México. **Anais do XI Congresso da Sociedade Iberoamericana de Gráfica Digital**. Cidade do México, México, 2007, p. 285-289.

BERNSTEIN, Phillip; DEAMER, Peggy (Ed.). **Building (in) the Future**: Recasting Labor in Architecture. New York: Princeton Architectural Press, 2010.

BÉZIER, Pierre. Example of an existing system in the motor industry: the Unisurf system. **Proceedings of the Royal Society of London**, n. 321, 1971, p. 207–218. doi: 10.1098/rspa.1971.0027

BIER, Henriette; LIU CHENG, Alexander; MOSTAFAVI, Sina; ANTON, Ana; BODEA, Serban. Robotic Building as Integration of Design-to-Robotic-Production and -Operation. In: Bier, Henriette (Ed.). **Robotic Building**. Cham: Springer Nature, 2018, p. 97-120. doi: 10.1007/978-3-319-70866-9_5.

BLIKSTEIN, Paulo. Digital fabrication and "making" in education: the democratization of invention. In.: WALTER-HERRMANN, Julia; BÜCHING, Corinne (Ed.). **FabLab**: Of Machines, Makers, and Inventors. Wetzlar: Transcript-Verlag, 2013, p. 203-222.

BLIKSTEIN, Paulo; KRANNICH, Dennis. The makers' movement and fablabs in education: Experiences, technologies, and research. **ACM International Conference Proceeding Series**, 2013, p. 613–616. doi: 10.1145/2485760.2485884

BOCK, Thomas. Construction robotics. **Autonomous Robots**, 22(3), 2007, p. 201–209. doi: 10.1007/s10514-006-9008-5

BOGUE, Robert. Europe fights back with advanced manufacturing and assembly technologies. **Assembly Automation**, Vol. 32 No. 4, 2012, p. 312-317. doi: 10.1108/01445151211262366

BÖHME, Luis Felipe González; ZAPATA, Francisco Javier Quitral, ANSALDO, Sandro Maino, SALDÍAS, Marcela Hurtado. Reconstrucción robotizada del patrimonio arquitectónico chileno en madera. **Proceedings of the 21th Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics**. Concepción, nov. 2017, p. 267-272.

BONSIEPE, Gui. **A tecnologia da tecnologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1983.

BONSIEPE, Gui. **Design como prática de projeto**. São Paulo: Edgard Blücher, 2012.

BONTA, Juan Pablo. **Sistemas de significación em arquitectura**: un estudio de la arquitectura y su interpretación. Barcelona: Gustavo Gili, 1977.

BONWETSCH, Tobias; BÄRTSCHI, Ralph; KOBEL, Daniel; KOHLER, Matthias; GRAMAZIO, Fabio. Digitally Fabricating Tilted Holes. In: **eCAADe 2007 Conference Proceedings**, 2007, p. 793–800.

BONWETSCH, Tobias; KOBEL, Daniel; KOHLER, Matthias; GRAMAZIO, Fabio. The Informed Wall: Applying Additive Digital Fabrication Techniques on Architecture. In: **ACADIA 2006 International Conference**, 2006, p. 489–95.

BRESSER-PEREIRA, Luiz Carlos. As três interpretações da dependência. **Perspectivas**, São Paulo, v. 38, p. 17-48, jul./dez. 2010.

BRUSCATO, Underléa Miotto; GARCÍA ALVARADO, Rodrigo. Muro – pixel: exploración digital de un sistema constructivo de placas entrelazadas. **Proceedings of the 14th Congress of the Iberoamerican Society of Digital Graphics**, Bogotá, Colombia, 2010, p. 205-208.

BRYNJOLFSSON, Erik; MCAFEE, Andrew. **The Second Machine Age**: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies. Nova Iorque: W. W. Norton & Company, 2014.

BUCHLI, Jonas (et al.). Digital in situ fabrication – Challenges and opportunities for robotic in situ fabrication in architecture, construction, and beyond. **Cement and Concrete Research**, V. 112, oct. 2018, p. 66-75.

BURKE, Peter. **O que é história cultural?** 2ª ed. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2008.

BURRY, Mark. Rapid prototyping, CAD/CAM and human factors. **Automation in Construction**, V. 11, n. 3, 2002, p. 313-333. doi: 10.1016/S0926-5805(00)00107-2

BURRY, Mark. **Scripting cultures:** Architectural design and programming. Chichester: Wiley & Sons, 2011.

BURRY, Mark; BURRY, Jane. **Prototyping for architects**. London: Thames & Hudson, 2016.

BURRY, Mark; BURRY, Jane; FAULÍ, Jordi. Sagrada Família Rosassa: Global Computer-Aided Dialogue between Designer and Craftsperson (Overcoming Differences in Age, Time and Distance). **ACADIA**: Reinventing the Discourse, 2001, p.76–85.

BUSWELL, Richard A.; LEAL DE SILVA, W.R.; JONES, S.Z.; DIRRENBERGER, J.. 3D printing using concrete extrusion: a roadmap for research. **Cement and Concrete Research**. V. 112, Oct. 2018, p. 37-49.

CAETANO, Inês; LEITÃO, António. Architecture meets computation: an overview of the evolution of computational design approaches in architecture. **Architectural Science Review**, V. 62, n. ?, 2019, p. 1–10. doi:10.1080/00038628.2019.1680524

CANEPARO, Luca. **Digital Fabrication in Architecture, Engineering and Construction**. Dordrecht: Springer, 2014.

CANTOR, Camilo. **Entrevista 1**. [26 nov. 2019]. Entrevistador: Rodrigo Scheeren. Medellín, 2019. 1 arquivo .m4a (33 min.) Entrevista concedida presencialmente no Exploratorio. Não publicada.

CARPO, Mario. Excessive Resolution From Digital Streamlining to Computational Complexity. **Architectural Design**, V. 86, n. 6, 2016, p. 78-83.

CARPO, Mario. Revolutions: Some New Technologies in Search of an Author. **Log**, N. 15, 2009, p. 49-54.

CARPO, Mario. **The Alphabet and the Algorithm**. Cambridge: MIT Press, 2011.

CARPO, Mario. **The Digital Turn in Architecture 1992–2012**. Chichester: John Wiley & Sons, 2013.

CARPO, Mario. **The Second Digital Turn**: Design Beyond Intelligence. Cambridge: MIT Press, 2017.

CELANI, Gabriela. A importância da pesquisa na formação de docentes: o caso da "informática aplicada à arquitetura e urbanismo". **Cadernos de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo**, v. 7, n. 1, 2007, p. 1-10.

CELANI, Gabriela. Digital Fabrication Laboratories: Pedagogy and Impacts on Architectural Education. **Nexus Network Journal**, v. 14, 2012, 469-482.

CELANI, Gabriela. **Entrevista 1**. [19 set. 2018]. Entrevistador: Rodrigo Scheeren. Campinas, 2018. 1 arquivo .m4a (1 h. 14 min.) Entrevista concedida presencialmente na Unicamp. Não publicada.

CELANI, Gabriela. Os Workshops do SIGraDi 09 e a fabricação digital no Brasil. Drops, São Paulo, ano 10, n. 030.06, **Vitruvius**, jan. 2010. Disponível em: <https://vitruvius.com.br/revistas/read/drops/10.030/2114>. Acessado em: 15/06/2021.

CELANI, Gabriela. Shortcut to the Fourth Industrial Revolution: The Case of Latin America. **International Journal of Architectural Computing**, July 2020, p. 1-15. doi: 10.1177/1478077120942193.

CELANI, Gabriela. Teaching CAD programming to architecture students. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 3, n. 2, 2008, p. 1-23.

CELANI, Gabriela; PUPO, Regiane. Introducing Digital Fabrication Laboratories in Architecture Schools. In: **ASCAAD – 5th International Conference Proceedings of the Arab Society for Computer Aided Architectural Design**, 2010, p. 65–74.

CELANI, Gabriela; SEDREZ, Maycon; LENZ, Daniel; MACEDO, Alessandra. The Future of the Architect's Employment: To Which Extent Can Architectural Design Be Computerised? In.: Celani, G.; Sperling, D. M.; Franco, J. M. S. (Org.). **Computer-Aided Architectural Design Futures**. The Next City - New Technologies and the Future of the Built Environment 16th International Conference, CAAD Futures 2015, São Paulo, Brazil,

July 8-10, 2015. Selected Papers. Heidelberg: Springer, 2015, v. 1, p. 195-212.

CHACHRA, Debbie. Why I Am Not a Maker. **The Atlantic** [online]. 2015. Disponível em: <http://www.theatlantic.com/technology/archive/2015/01/why-i-am-not-a-maker/384767>. Acessado em: 29/04/2021.

CHIARELLA, Mauro. **Entrevista 1**. [20 ago. 2020]. Entrevistador: Rodrigo Scheeren. Videoconferência: São Carlos - Santa Fé, 2020. 1 arquivo .mp4 (1 h. 16 min.) Entrevista concedida virtualmente. Não publicada.

CHUA, Chee Kai; LEONG, Kah Fai; LIM, Chu Sing. **Rapid prototyping**: principles and applications. Singapore: World Scientific, 2003.

COATES, Paul, FRAZER, John H., FRAZER, Julia M., SCOTT, A. Low cost microprocessor based draughting systems. In.: PIPES, Alan. **CAD82**. 5th International Conference and Exhibition on Computers in Design Engineering, Sussex, 1982, p. 525-535. doi: 10.1016/B978-0-86103-058-3.50061-0

CORSER, Robert (Ed.). **Fabricating Architecture**: Selected Readings in Digital Design and Manufacturing. New York: Princeton Architectural Press, 2010.

DAGNINO, Renato (Org.). **Tecnologia social**: ferramenta para construir outra sociedade. Campinas: IG/UNICAMP, 2009.

DARDOT, Pierre; LAVAL, Christian. **The New Way Of The World**: On Neoliberal Society. New York: Verso, 2014.

DAVILA DELGADO, Juan Manuel; OYEDELE, Lukumon; AJAYI, Anuoluwapo; AKANBI, Lukman; AKINADE, Olugbenga; BILAL, Muhammad; OWOLABI, Hakeem. Robotics and Automated Systems in Construction: Understanding Industry-Specific Challenges for Adoption. **Journal of Building Engineering**, V. 26, 2019, p. 1-11. doi: 10.1016/j.jobe.2019.100868

De KESTELIER, Xavier; PETERS, Brady. **Architectural Design – Computation Works:** The Building of Algorithmic Thought. V. 83, n. 2, Mar/Abr, 2013.

De SCHUTTER, Geert; LESAGE, Karel; MECHTCHERINE, Viktor; NERELLA, Venkatesh Naidu; HABERT, Guillaume; AGUSTI-JUAN, Isolda. Vision of 3D printing with concrete — Technical, economic and environmental potentials. **Cement and Concrete Research**, V. 112, Oct. 2018, p. 25-36.

DEL VALLE, David. **Entrevista 1**. [26 nov. 2019]. Entrevistador: Rodrigo Scheeren. Medellín, 2019. 1 arquivo .m4a (1 h. 02 min.) Entrevista concedida presencialmente na UNAL. Não publicada.

DOUGHERTY, Dale. **The Maker Movement**. Innovations: Technology, Governance, Globalization, V. 7, n.3, 2012, p. 11-14.

DUNN, Nick. **Digital Fabrication in Architecture**. London: Laurence King Publishing, 2012.

DYE, Wanda. Mass Customization in Architecture: Heterogeneity in the Making. In: **92nd ACSA ANNUAL MEETING**, 2004, p. 215–229.

EASTMAN, Charles. New Methods of Architecture and Building. In.: **Proceedings of the 23rd Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture**, 2004, p. 20-27.

EVERSMANN, Philipp. Digital Fabrication in Education – Strategies and Concepts for Large-Scale Projects. In.: **Proceedings of the 35th eCAADe Conference**, Rome, Italy, 2017, p. 333-342.

EYCHENNE, Fabian; NEVES, Heloisa. **Fab Lab**: a vanguarda da nova revolução industrial. São Paulo: Editorial Fab Lab Brasil, 2013.

FARIA, Gabriela Gonzales. **Entrevista 1**. [02 dez. 2019]. Entrevistador: Rodrigo Scheeren. Bogotá, 2019. 1 arquivo .m4a (36 min.) Entrevista concedida presencialmente na Unipiloto. Não publicada.

FERRO, Sérgio. **Arquitetura e trabalho livre**. São Paulo: Cosac Naify, 2006.

FONSECA DE CAMPOS, Paulo Eduardo. **Entrevista 1.** [02 set. 2020]. Entrevistador: Rodrigo Scheeren. Videoconferência: São Carlos - São Paulo, 2020. 1 arquivo .m4a (2 h. 09 min.) Entrevista concedida virtualmente. Não publicada.

FONSECA DE CAMPOS, Paulo Eduardo; DIAS, Henrique José dos Santos. A insustentável neutralidade da tecnologia: o dilema do Movimento Maker e dos Fab Labs. **Liinc em Revista**, v.14, n.1, maio 2018, p. 33-46. doi: 10.18617/liinc.v14i1.4152

FORD, Simon; DESPEISSE, Mélanie. Additive manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages and challenges. **Journal of Cleaner Production**, V. 137, 2016, p. 1573-1587.

FOUCAULT, Michel. **A arqueologia do saber**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 1987.

FLUSSER, Vilém. **Filosofia da Caixa-Preta**: ensaios para uma Futura Filosofia da Fotografia. São Paulo: Annablume, 2011.

FLUSSER, Vilém. **The shape of things**: a philosophy of design. London: Reaktion Books, 1999.

GAMBAO, Ernesto; BARRIENTOS, Antonio; SALTAREN, Roque J.; BALAGUER, Carlos; ARACIL, Rafael. A Robotic System for Block Assembly in Construction. In: **IARP – International Advanced Robotics Programme 2nd International Workshop on Service and Personal Robots**, Genova, Itália, Set. 1997.

GARBER, Richard; JABI, Wassim. Control and Collaboration: Digital Fabrication Strategies in Academia and Practice. **International Journal of Architectural Computing**, V. 4, n. 2, 2006, p. 121–143.

GARCÍA ALVARADO, Rodrigo. **Entrevista 1**. [13 ago. 2020]. Entrevistador: Rodrigo Scheeren. Videoconferência: São Carlos - Concepción, 2020. 1 arquivo .mp4 (43 min.) Entrevista concedida virtualmente. Não publicada.

GARCÍA ALVARADO, Rodrigo. Modelos Constructivos por Fabricación Digital. In: **XIII Congresso da Sociedade Iberoamericana de Gráfica Digital**, São Paulo, Brasil, 2009, p. 421-423.

GARCÍA ALVARADO, Rodrigo; LAGOS, Rodrigo; SALCEDO, Pedro; RAMOS, Mario; LABARCA, Claudio; BRUSCATO, Underlea. Emociones precisas: fabricación digital en la enseñanza de la arquitectura. **arquiteturarevista**, V. 5, n° 2, jul/dez 2009, p. 122-136.

GARCÍA CANCLINI, Néstor. **Culturas híbridas**: estratégias para entrar e sair da modernidade. São Paulo: EDUSP, 2015.

GEHRY, Frank; LLOYD, Meaghan; SHELDEN, Dennis. Empowering Design: Gehry Partners, Gehry Technologies and Architect-Led Industry Change. **Architectural Design,** V. 90, n. 2, 2020, p. 14–23. doi: 10.1002/ad.2542.

GERSHENFELD, Neil. **FAB**: The Coming Revolution on Your Desktop – From Personal Computers to Personal Fabrication. Basic Books, 2005.

GERSHENFELD, Neil. How to make almost anything: the digital fabrication revolution. **Foreign Affairs**, V. 91, n. 43, nov./dez. 2012, p. 43-57.

GIEDION, Sigfried. **Mechanization Takes Command**: a contribution to anonymous history. New York: Oxford University Press, 1970.

GRAMAZIO, Fabio; KOHLER, Matthias. **Digital Materiality in Architecture**. Baden: Lars Müller publishers, 2008.

GRAMAZIO, Fabio; KOHLER, Matthias. **Made by Robots**: challenging architecture at a larger scale. Architectural Design, n. 229, Mai/Jun. 2014.

GREENFIELD, Adam. **Radical Technologies**: The Design of Everyday Life. New York: Verso, 2017.

GUTIÉRREZ, Juan P.. **Entrevista 1**. [27 nov. 2019]. Entrevistador: Rodrigo Scheeren. Medellín, 2019. 1 arquivo .m4a (38 min.) Entrevista concedida presencialmente na UNAL. Não publicada.

HAUBERG, Jørgen. Research by Design – a research strategy. **AE... Revista Lusófona de Arquitectura e Educação**, n. 5, 2011, p. 46–56.

HAUGE, Jostein; CHANG, Ha-Joon. The role of manufacturing versus services in economic development. In: **Transforming Industrial Policy for the Digital Age**: Production, Territories and Structural Change. Edward Elgar Publishing Ltd., 2019, p. 12–36. doi: 10.4337/9781788976152.00007

HARRISS, Harriet. Achieving meaningful impact on the fault line between academia and practice. **Architectural Design**, V. 89, n. 3, 2019, p. 18–25. doi: 10.1002/ad.2430

HAYS, Michael. Critical Architecture: Between Culture and Form. **Perspecta**, V. 21, 1984, p. 14-29.

HEBEL, Dirk E.; WISNIEWSKA, Marta H.; HEISEL, Felix. **Building from Waste**: Recovered Materials in Architecture and Construction. Basel: Birkhäuser, 2014.

HENRIQUES, Gonçalo Castro. **Entrevista 1**. [04 set. 2020]. Entrevistador: Rodrigo Scheeren. Videoconferência: São Carlos - Rio de Janeiro, 2020. 1 arquivo .m4a (1 h. 01 min.) Entrevista concedida virtualmente. Não publicada.

HENSEL, Michael; KILLI, Steinar; SØRENSEN, Søren. Performance-oriented design - An integrative approach to data-driven design including associative computational modeling, computational analysis, advanced computational visualization and rapid prototyping. In: **Challenges for Technology Innovation**: An Agenda for the Future - Proceedings of the International Conference on Sustainable Smart Manufacturing, 2017, p. 95–100. doi: 10.1201/9781315198101-22

HENSEL, Michael; MENGES, Achim; WEINSTOCK, Michael (Ed.). Emergence: Morphogenetic Design Strategies. **Architectural Design**, V. 74, n. 3, 2004.

HENSEL, Michael. **Performance-Oriented Architecture**: Rethinking Architectural Design and the Built Environment (AD Primers). Chichester: John Wiley & Sons, 2013.

HERRERA, Pablo C. **Entrevista 1**. [17 ago. 2020]. Entrevistador: Rodrigo Scheeren. Videoconferência: São Carlos - Lima, 2020. 1 arquivo .m4a (1 h. 59 min.) Entrevista concedida virtualmente. Não publicada.

HERRERA, Pablo; JUÁREZ, Benom. Perspectivas en los Laboratorios de Fabricación Digital en Latinoamérica. In.: **Anais do XVI Congresso da Sociedade Iberoamericana de Gráfica Digital**, Fortaleza, Brasil, 2012, p. 285-289.

HÜRTGEN, Stefanie. Precarization of Work and Employment in the Light of Competitive Europeanization and the Fragmented and Flexible Regime of European Production. **Capital and Class**, V. 45, n. 1, 2021, p. 71–91. doi: 10.1177/0309816819900123.

IWAMOTO, Lisa. Embodied Fabrication: Computer-Aided Spacemaking. **Proceedings of the 23rd Annual Conference of the Association for Computer-Aided Design in Architecture**. 2004, p. 270-281.

IWAMOTO, Lisa. **Digital Fabrications**: Architectural and Material Techniques. New York: Princeton, 2009.

JALKH, Heidi; PAPASARAGAS, Silvina. **Entrevista 1.** [31 out. 2019]. Entrevistador: Rodrigo Scheeren. Buenos Aires, 2019. 1 arquivo .m4a (56 min.) Entrevista concedida presencialmente na Fábrica Diseño e Innovación. Não publicada.

JONES, Rhys; HAUFE, Patrick; SELLS, Edward; IRAVANI, Pejman; OLLIVER, Vik; PALMER, Chris; BOWYER, Adrian. Reprap – The Replicating Rapid Prototyper. **Robotica**, V. 29, n.1, Jan. 2011, p. 177-191.

KHOSHNEVIS, Behrokh; HWANG, Dooil; YAO, Ke-Thia; YEH, Zhenghao. Mega-scale fabrication by Contour Crafting. I**nternational Journal of Industrial and Systems Engineering**, V. 1, n. 3, 2006, p. 301-320. doi: 10.1504/ijise.2006.009791

KIERAN, Stephen; TIMBERLAKE, James. **Refabricating Architecture**: How Manufacturing Methodologies are Poised to Transform Building Construction. Nova Iorque: New McGraw-Hill, 2004.

KLINGER, Kevin R.; KOLAREVIC, Branko. **Manufacturing material effects**: rethinking design and making in architecture. New York: Routledge, 2008.

KNIPPERS, Jan; SPECK, Thomas. Design and construction principles in nature and architecture. **Bioinspiration and Biomimetics**, V. 7, n. 1, 2012. doi: 10.1088/1748-3182/7/1/015002

KÖCKER, Gerd Meier zu; LÄMMER-GAMP, Thomas. **Summary Policy Briefing**: Lessons from six Model Demonstrator Regions – European Cluster Observatory [report]. European Comission, 2017. Acessado em: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/24981>.

KOLAREVIC, Branko. **Architecture in the Digital Age**: Design and Manufacturing. New York: Taylor & Francis, 2005.

KOLAREVIC, Branko. Digital Fabrication: Manufacturing Architecture in the Information Age. **ACADIA - Proceedings of the Twenty First Annual Conference of the Association for Computer-Aided Design in Architecture**, 2001, p. 268–278.

KOTNIK, Toni. Digital Architectural design as exploration of computable functions. **International Journal of Architectural Computing**, V. 08, n° 1, 2010, p. 1-15.

KUMAR, Krishan. **From Post-Industrial to Post-Modern Society**: New Theories of the Contemporary World. 2ª ed. Oxford: Wiley-Blackwel, 2005.

LABARCA, Claudio; LYON, Arturo. Diseño y manufactura digital: Horizontes en la práctica y enseñanza de la arquitectura. **ARQ** (Santiago), Santiago, n. 63, ago, 2006, p. 20-21.

LABARCA, Claudio; CULAGOVSKI, Rodrigo; LAGOS, María José. Nuevos territorios: el modelo digital como laboratorio de formas en la enseñanza de la arquitectura. **SiGraDi 2005 – Proceedings of the 9th Iberoamerican Congress of Digital Graphics**, Lima – Peru 21-24 november 2005, vol. 1, pp. 264-269. http://itc.scix.net/paper/SiGraDi2005_264

LARRAÍN, Tomas Vivanco. **Entrevista 1**. [30 out. 2017]. Entrevistador: Rodrigo Scheeren. Santiago, 2017. 1 arquivo .m4a (47 min.) Entrevista concedida presencialmente na PUC-Chile. Não publicada.

LAZZARATO, Maurizio. **Signs and Machines**: Capitalism and the Production of Subjectivity, 2014.

LEACH, Neil; TURNBULL, David; WILLIAMS, Chris (Eds). **Digital tectonics**. West Sussex: John Wiley and Sons, West Sussex, 2004.

LEE, Franklin; BEAURECUEIL, Anne Save de. **Entrevista 1**. [14 set. 2018]. Entrevistador: Rodrigo Scheeren. São Paulo, 2018. 1 arquivo .m4a (2 h. 08 min.) Entrevista concedida presencialmente no SUBDV. Não publicada.

LEPIK, Andres; FANKHÄNEL, Teresa (Eds.). **The Architecture Machine**: The Role of Computers in Architecture. Basel: Birkhäuser, 2020.

LLACH, Daniel Cardoso. **Builders of the Vision**: Software and the Imagination of Design. New York: Routledge, 2015.

LIAO, Yongxin; LOURES, Eduardo Rocha; DESCHAMPS, Fernando; BREZINSKI, Guilherme; VENÂNCIO, André. The impact of the fourth industrial revolution: a cross-country/region comparison. **Production**, São Paulo, V. 28, 2018. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132018000100401&lng=en&nrm=iso>. Acessado em: 05/12/2020. doi: 10.1590/0103-6513.20180061.

LIM, Sungwoo; LE, Thanh; WEBSTER, John; BUSWELL, Richard; AUSTIN, Simon; GIBB, Alistair; THORPE, Tony. Fabricating construction components using layer manufacturing technology. In: **Global Innovation in Construction Conference**, 2009, p.512-520.

Disponível em: <http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB15629.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2021.

LIU, Yu-Tung. **Defining Digital Architecture**. Basel: Birkhäuser, 2002.

LOMBARDERO, Nuria. Á., DE CANALES, Francisco. G. **Política y Fabricación Digital**: una discusión en curso. Sevilla: Vibok Works, 2016.

LOPES SILVA, Jorge Vicente (et al.). **Rapid Prototyping**: Concepts, Applications and Potential Utilization in Brazil. Campinas: ITI, 2000.

LOSACCO, José Romero (Ed.). **Pensar distinto, pensar de(s)colonial**. Caracas: Editorial El perro y la rana, 2020.

LUNE, Howard; BERG, Bruce L.. **Qualitative Research Methods for the Social Sciences**. Essex: Pearson, 2017.

MALÉ-ALEMANY, Marta; SOUSA, Jose Pedro. On Ornamentation: A Digital Perspective. In: **93rd ACSA Annual Meeting**, jan. 2005, p. 451-457. doi: 10.13140/RG.2.1.3231.7281

MANZINI, Ezio. **Design when everybody designs**: an introduction to design for social innovation. Cambridge: MIT Press, 2015.

MARK, Earl; MARTENS, Bob; OXMAN, Rivka. The Ideal Computer Curriculum. **Proceedings of eCAADe 19**, Helsinki, Finland, 2001, p. 168-175.

MARX, Karl. **Grundrisse**: Foundations of the Critique of Political Economy. London: Penguin Books, 1993.

MAZO, Ever Patiño. **Entrevista 1**. [27 nov. 2019]. Entrevistador: Rodrigo Scheeren. Medellín, 2019. 1 arquivo .m4a (46 min.) Entrevista concedida presencialmente na UPB. Não publicada.

MAZZUCATO, Mariana. **Mission-Oriented Research & Innovation in the European Union**: a problem-solving approach to fuel innovation-led growth. 2018. Acessado em: <https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/mazzucato_report_2018.pdf>.

MAZZUCATO, Mariana. Mission-Oriented Innovation Policies: Challenges and Opportunities. **Industrial and Corporate Change**, V. 27, n. 5, 2018b, p. 803–15. doi: 10.1093/icc/dty034.

MAZZUCATO, Mariana. **The entrepreneurial state**: debunking public vs. private sector myths. New York: Anthem Press, 2014.

MENGES, Achim. Material Computation: Higher Integration in Morphogenetic

Design [Introduction]. **Architectural Design**, V. 82, n. 2, 2012, p. 14-21.

MENGES, Achim. Computational Material Culture. **Architectural Design**, V. 86, n. 2, 2016, p. 76-83.

MENGES, Achim. Biomimetic design processes in architecture: morphogenetic and evolutionary computational design. **Bioinspiration & Biomimetics**, 7(1), 2012b, p. 1-9.

MENGES, Achim. Manufacturing diversity. **Architectural Design**, V. 76, n. 2, Mar./ Abr. 2006, p. 70–77.

MENGES, Achim. The New Cyber-Physical Making in Architecture: Computational Construction. **Architectural Design**, V. 85, n. 5, 2015, p. 28-33.

MENICHINELLI, Massimo. Notes for future research on the impact of the Fab Lab network. In.: BRICEÑO, Andrés, VIVANCO, Tomás (Ed.). **Research Book – Fabricating Society**: 13th International Fab Lab Conference and symposium. Santiago: S.E., 2017, p. 34-44.

MENNAN, Zeynep. The Question of Non Standard Form. **Metu**: Journal of the Faculty of Architecture, V. 25, n. 2, 2008, p. 171–83.

MESCHINI, Silvia; ITURRALDE, Kepa; LINNER, Thomas; BOCK, Thomas. Novel applications offered by integration of robotic tools in BIM-based design workflow for automation in construction processes. **Proceedings of the InCIB W119 – International Workshop on Advanced Construction and Building Technology for Society**, 2016.

MIGNOLO, Walter D. **Histórias locais, projetos globais**: colonialidade, saberes subalternos e pensamento liminar. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2003.

MIGNOLO, Walter D.; WALSH, Catherine E. **On decoloniality**: concepts, analytics, praxis. Durham: Duke University Press, 2018.

MITCHELL, William J.; MCCULLOUGH, Malcolm. **Digital Design Media**. New York: John Wiley and Sons, 2ª edição, 1995.

MITCHELL, William. A new agenda for Computer-Aided Design. In.: MENGES, Achim; AHLQUIST, Sean (Ed.). **Computational Design Thinking**, (AD Reader). Chichester: Wiley, 2011, p. 86-93.

MOE, Kiel. Automation takes command: the nonstandard, unautomatic history of standardization and automation in architecture. In.: CORSER, Robert (Ed.). **Fabricating Architecture**: Selected Readings in Digital Design and Manufacturing. New York: Princeton Architectural Press, 2010, p. 152-167.

MOE, Kiel. The non-standard, un-automatic prehistory of standardization and automation in architecture. In: Bing, J., Veikos, C. (Ed.). **95th ACSA Annual Meeting Proceedings**, 2007, p. 435–442.

MORTARA, Letizia; PARISOT, Nicolas Gontran. Through entrepreneurs' eyes: the Fab-spaces constellation. **International Journal of Production Research**, V. 54, n. 23, 2016, p. 7158–7180. doi: 10.1080/00207543.2016.1198505

MUÑOZ, Patricia. **Entrevista 1**. [30 out. 2019]. Entrevistador: Rodrigo Scheeren. Buenos Aires, 2019. 1 arquivo .m4a (27 min.) Entrevista concedida presencialmente na UBA. Não publicada.

MURPHY, Douglas. **Last Futures**: Nature, Technology and the End of Architecture. New York: Verso, 2016.

NABONI, Roberto; PAOLETTI, Ingrid. **Advanced Customization in architectural design and construction**. Dordrecht: Springer, 2015.

NARDELLI, Eduardo Sampaio. **Entrevista 1**. [13 set. 2018]. Entrevistador: Rodrigo Scheeren. São Paulo, 2018. 1 arquivo .m4a (1 h. 05 min.) Entrevista concedida presencialmente no Mackenzie. Não publicada.

NARDELLI, Eduardo Sampaio. Uma nova estratégia para os cursos de introdução à informática aplicada nas escolas de arquitetura. **Proceedings of the 5th Iberoamerican Congress of Digital Graphics**, Concepcion (Chile), 2001, p. 195-197.

NASCIMENTO, Susana. Critical Notions of Technology and the Promises of Empowerment in Shared Machine Shops. **Journal of Peer Production**, 2014, n. 5, p. 1-5.

NASCIMENTO, Susana; PÓLVORA, Alexandre. Maker Cultures and the Prospects for Technological Action. **Science and Engineering Ethics**, V. 24, n. 3, 2018, p. 927–946.

NASCIMENTO, Susana; PÓLVORA, Alexandre. Opening up Technologies to the Social: Between Interdisciplinarity and Citizen Participation. **Design Issues**, V. 29, n. 4, 2013, p. 31–40.

NEGROPONTE, Nicholas. **The Architecture Machine**: Toward a More Human Environment. Cambridge: MIT Press, 1972.

NOME, Carlos Alejandro; DE QUEIROZ NOME, Natália. **Entrevista 1**. [24 jun. 2020]. Entrevistador: Rodrigo Scheeren. Videoconferência: São Carlos - João Pessoa, 2020. 1 arquivo .mp4 (2 h. 06 min.) Entrevista concedida virtualmente. Não publicada.

OESTERREICH, Thuy Duong; TEUTEBERG, Frank. Understanding the Implications

of Digitisation and Automation in the Context of Industry 4.0: A Triangulation Approach and Elements of a Research Agenda for the Construction Industry. **Computers in Industry**, n. 83, 2016, p. 121–139.

OJEDA, Juan Eduardo; LABARCA, Claudio. Proyecto de título: Arquitectura para armar. **ARQ** (Santiago), Santiago, n. 82, dez. 2012, p. 24-29.

OLIVEIRA, Gabriela Macetti de Godoy. Teoria da dependência: reconstrução e reflexões sobre o contexto contemporâneo. **Primeiros Estudos**, [S. l.], n. 6, p. 102-122, 2014. doi: 10.11606/issn.2237-2423.v0i6p102-122. Disponível em: http://www.revistas.usp.br/primeirosestudos/article/view/75937. Acesso em: 10 dez. 2020.

OSORIO, Jose Ovidio Cardona. **Entrevista 1**. [25 nov. 2019]. Entrevistador: Rodrigo Scheeren. Medellín, 2019. 1 arquivo .m4a (18 min.) Entrevista concedida presencialmente na UPB. Não publicada.

OXMAN, Rivka. Digital architecture as a challenge for design pedagogy: theory, knowledge, models and medium. **Design Studies**, 2008, 29(2), 99-120.

OXMAN, Rivka. Theory and design in the first digital age. **Design Studies**, 2006, 27(3), 229-265.

PAOLETTI, Ingrid. Mass Customization with Additive Manufacturing: New Perspectives for Multi Performative Building Components in Architecture. **Procedia Engineering**, n. 180, 2017, p.1150-1159.

PAOLETTI, Ingrid. Two case studies of mass customisation and digital fabrication in building industry. In.: PIROOZFAR, Poorang. A.; PILLER, Frank T. (Eds.). **Mass Customisation and Personalisation in Architecture and Construction**. London: Routledge, 2013.

PAOLETTI, Ingrid; CECCON, Lorenzo. The Evolution of 3D Printing in AEC: From Experimental to Consolidated Techniques. In: CVETKOVI□, Dragan (Ed.). **3D Printing**. Rijeka: IntechOpen, 2018, p. 39-69.

PAYSSÉ, Marcelo. **Entrevista 1**. [10 ago. 2020]. Entrevistador: Rodrigo Scheeren. Videoconferência: São Carlos - Montevidéu, 2020. 1 arquivo .mp4 (1 h. 04 min.) Entrevista concedida virtualmente. Não publicada.

PEGORARO, Camila; De PAULA, Istefani Carísio. Requirements Processing for Building Design: A Systematic Review. **Production**, n. 27, 2017, p. 1–18.

PETERS, Terri; PETERS, Brady (Ed.). **Inside Smartgeometry**: Expanding the Architectural Possibilities of Computational Design. Chichester: Wiley Blackwell, 2013.

PETTICREW, Mark; ROBERTS, Helen. **Systematic Reviews in the Social Sciences**: A Practical Guide. Oxford: Wiley-Blackwell, 2006.

PICON, Antoine. Beyond Digital Avant-Gardes: The Materiality of Architecture and Its Impact. **Architectural Design**, 2020, V. 90, n. 5, p. 118–125. doi: 10.1002/ad.2618

PICON, Antoine. **Digital culture in architecture**: an introduction for the design profesions. Basel: Birkhäuser, 2010.

PICON, Antoine. Digital Fabrication, Between Disruption and Nostalgia. In.: Ahrens, Chandler; Sprecher, Aaron (Eds). **Instabilities and Potentialities**: Notes on the Nature of Knowledge in Digital Architecture. New York: Routledge, 2019, p. 223-238.

PICON, Antoine. **Ornament**: the politics of architecture and subjectivity. Chichester: John Wiley & Sons, 2013.

PORTER, Michael. **On Competition**. Boston: Harvard Business School Press, 1998.

PRADO, Ana. A volta da cultura do "faça você mesmo". **Super Interessante** [Online]. 19 maio 2017. Disponível em: <https://super.abril.com.br/cultura/a-volta-da-cultura-do-faca-voce-mesmo/>. Acessado em: 14/11/2020.

PUPO, Regiane Trevisan. **Entrevista 1**. [20 nov. 2018]. Entrevistador: Rodrigo Scheeren. Florianópolis, 2018. 1 arquivo .m4a (1 h. 10 min.) Entrevista concedida presencialmente na UFSC. Não publicada.

PUPO, Regiane Trevisan; CELANI, Gabriela; DUARTE, José P.. Digital materialization for architecture: definitions and techniques. In: **Anais do XIII Congresso da Sociedade Iberoamericana de Gráfica Digital**. São Paulo, Brasil, 2009, p. 439-442.

RAJCHMAN, John. Um novo pragmatismo?. In.: SYKES, Krista. **O campo ampliado da arquitetura**: antologia teórica 1993 – 2009. São Paulo: Cosac Naify, 2013, p. 74-83.

REICHERT, Sybille. **The Role of Universities in Regional Innovation Ecosystems** [report]. European University Association, 2019. Disponível em: <https://eua.eu/downloads/publications/eua%20innovation%20ecosystem%20report%202019-3-12.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2021.

REICHERT, Fernanda Maciel; MIKHAILOV, Andrei; SPINDLER, Everson dos Santos. Avanço ou estagnação? SNI das principais economias emergentes da América Latina depois da década de 1990. **Estudos do CEPE**, Santa Cruz do Sul, n. 49, p. 99-114, jan. 2019. ISSN 1982-6729. Disponível em: <https://online.unisc.br/seer/index.php/cepe/article/view/13914>. Acesso em: 10 jun. 2021. doi: 10.17058/cepe.v0i49.13914.

RENDELL, Jane; HILL, Jonathan; FRASER, Murray; DORRIAN, Mark (Ed.). **Critical**

Architecture. New York: Routledge, 2007.

REVEL, Jacques (org.). **Jogos de escala**: a experiência da microanálise. Rio de Janeiro: Editora Fundação Getúlio Vargas, 1998.

RIFKIN, Jeremy. **The Third Industrial Revolution**: How Lateral Power Is Transforming Energy, the Economy, and the World. New York: Palgrave MacMillan, 2011.

ROSELLÓ, Elisabet. La cuarta revolución industrial es un invento. **El País Retina** [online], Madrid, 13 maio 2019. Disponível em: <https://retina.elpais.com/retina/2019/05/10/tendencias/1557479046_195299.html>. Acessado em: 10/11/2020.

ROSSI, Dorival Campos; GONÇALVES, Juliana Aparecida Jonson; MOON, Rodrigo Malcolm de Barros. **Movimento Maker e Fab Labs**: design, inovação e tecnologia em tempo real [recurso eletrônico]. Bauru: UNESP FAAC, 2019.

ROZAS, Sebastián. **Entrevista 1**. [07 dez. 2018]. Entrevistador: Rodrigo Scheeren. Videoconferência: Milão - Santiago, 2018. 1 arquivo .m4a (58 min.) Entrevista concedida virtualmente. Não publicada.

SANGÜESA, Ramon. The 4.0 Revolution and its Tunes. **CCCBLAB** [online], Barcelona, 17 de julho de 2018. Disponível em: <http://lab.cccb.org/en/the-4-0-revolution-and-its-tunes/>. Acesso em: 10/11/2020.

SANTOS, Gilberto; MURMURA, Federica; BRAVI, Laura. Fabrication laboratories: The development of new business models with new digital technologies. **Journal of Manufacturing Technology Management**, V. 29 N. 8, 2018, p. 1332-1357.

SANTOS, Milton. **Técnica, Espaço, Tempo**: Globalização e meio técnico-científico informacional. São Paulo: Edusp, 2013.

SARIS, Willem E.; GALLHOFER, Irmtraud. **Design, evaluation, and analysis of questionnaires for survey research**. John Wiley & Sons, 2014.

SASS, Larry. Design for Self Assembly of Building Components using Rapid Prototyping. **22nd eCAADe Conference Proceedings**, 2004, p. 95-104.

SASS, Larry. Synthesis of design production with integrated digital fabrication. **Automation in Construction**, 16(3), 2007, p. 298–310. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2006.06.002

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

SAVINI, A.; SAVINI, G. G. A short history of 3D printing, a technological revolution just started. **ICOHTEC/IEEE International History of High-Technologies and**

Their Socio-Cultural Contexts Conference (HISTELCON), 2015. doi: 10.1109/histelcon.2015.7307314

SCHEEREN, Rodrigo; HERRERA, Pablo C.; SPERLING, David. **Homo Faber 2.0**: Politics of Digital in Latin America. São Carlos: IAU-USP, 2018. Disponível em: <http://www.sigradi2018.iau.usp.br/wp-content/uploads/2018/11/HomoFaber2.pdf>. Acessado em: 05/05/2021.

SCHODEK, Daniel; BECHTHOLD, Martin; GRIGGS, James K.; KAO, Kenneth; STEINBERG, Marco. **Digital Design and Manufacturing**: CAD/CAM Applications in Architecture and Design. London: John Wiley & Sons, 2005.

SCHWAB, Klaus. The Fourth Industrial Revolution. What It Means and How to Respond. **Foreign Affairs** [online], 2015. Disponível em <https://www.foreignaffairs.com/articles/2015-12-12/fourth-industrial-revolution>. Acessado em: 11 jun. 2021.

SCHWAB, Klaus. **The Fourth Industrial Revolution**. Genebra: World Economic Forum, 2016.

SCOTT, Felicity D.. **Architecture or Techno-Utopia**: Politics after Modernism. Cambridge: MIT Press, 2007

SEDREZ, Maycon. Fabricação digital no Brasil. Entrevista com Guto Requena. In: CELANI, Maria Gabriela; SEDREZ, Maycon (Org.). **Arquitetura contemporânea e automação**: prática e reflexão. São Paulo: ProBooks, 2018, p. 212-219.

SERRIANO, Pierluigi. Form Follows Software. **ACADIA 22**, 2003, p. 186–205.

SILVA, Fabio Pinto da. **Entrevista 1**. [22 nov. 2018]. Entrevistador: Rodrigo Scheeren. Porto Alegre, 2018. 1 arquivo .m4a (28 min.) Entrevista concedida presencialmente na UFRGS. Não publicada.

SILVA, Neander Furtado. **Entrevista 1**. [02 mai. 2018]. Entrevistador: Rodrigo Scheeren. Brasília, 2018. 1 arquivo .m4a (1 h. 12 min.) Entrevista concedida presencialmente na UnB. Não publicada.

SMITH, Adrian. Social Innovation, Democracy and Makerspaces. **SWPS 2017-10**, Jun. 2017, p. 1-18. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=2986245>. Acesso em: 15/04/2018.

SØNDERGAARD, Asbjørn; AMIR, Oded; KNAUSS, Michael. Topology optimization and digital assembly of advanced space-frame structures. In: **ACADIA 2013**: Adaptive Architecture - Proceedings of the 33rd Annual Conference of the Association for Computer-Aided Design in Architecture, 2013, p. 367–378.

SODERBERG, Johan. A ilusória emancipação por meio da tecnologia. **Le Monde Diplomatique Brasil**. 2013. Disponível em: <http://diplomatique.org.br/a-ilusoria-emancipacao-por-meio-da-tecnologia/>. Acessado em: 05/05/2021.

SPERLING, David. Diagramas, modelagem e prototipagem rápida: interface entre processo de design da forma e topologia. In: **Anais do VI Congresso da Sociedade Ibero-americana de Gráfica Digital 2002**. Caracas (Venezuela), 27-29 nov. 2002, p. 261-262.

SPERLING, David M.; HERRERA, Pablo C.; CELANI, Gabriela; SCHEEREN, Rodrigo. Fabricação digital na América do Sul: um mapeamento de linhas de ação a partir da arquitetura e urbanismo. In: **Anais do XIX Congresso da Sociedade Ibero-americana de Gráfica Digital 2015**. São Paulo: Blucher, 2015, p. 119-125.

SPERLING, David; HERRERA, Pablo. **Homo Faber**: Digital Fabrication in Latin America. São Carlos: IAU-USP, 2015. Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~celani/caadfutures_2015/homofaber_catalogue.pdf>. Acessado em: 05/05/2021.

SPERLING, David; HERRERA, Pablo; SCHEEREN, Rodrigo. Migratory Movements of Homo Faber: Mapping Fab Labs in Latin America. In.: **Computer-Aided Architectural Design Futures**. The Next City - New Technologies and the Future of the Built Environment: 16th International Conference, CAAD Futures 2015, São Paulo – Selected Papers. Heidelberg: Springer Verlag, 2015, p. 405-421.

STIVAL, Monica Loyola. A arqueologia e seus limites. **Revista de Filosofia Aurora**, [S.l.], v. 31, n. 52, maio 2019. Disponível em: <https://periodicos.pucpr.br/index.php/aurora/article/view/24683>. Acesso em: 07 jun. 2021. doi: 10.7213/1980.5934.31.052.DS13

SUTHERLAND, Ivan. SketchPad: A man-machine graphical communication system. **AFIPS Conference Proceedings**, n. 23, 1963, p. 507-524. <http://papers.cumincad.org/data/works/att/5680.content.pdf>.

THOMSEN, Mette Ramsgard; TAMKE, Martin. Digital Crafting: Performative Thinking for Material Design. In: PETERS, Brady; PETERS, Terri. **Inside Smartgeometry**: Expanding the Architectural Possibilities of Computational Design. Chichester: John Wiley ans Sons, 2013, p. 242–253.

THOMSEN, Mette Ramsgard; AYRES, Phil; TAMKE, Martin. **CITA Works**. Toronto, Riverside Architecture Press, 2015.

TLOSTANOVA, Madina. On Decolonizing Design. **Design Philosophy Papers**, V. 15, n. 1, 2017, p.51–61. doi: 10.1080/14487136.2017.1301017.

TROXLER, Peter. Fabrication Laboratories (Fab Labs). In.: J. P. Ferdinand, et al. (Eds.), **The Decentralized and Networked Future of Value Creation**. Basel: Springer, 2016, p. 109–127. doi: 10.1007/978-3-319-31686-4_6

TSCHUMI, Bernard. The making of a generation: how the paperless studios came about. In.: GOODHOUSE, Andrew (Ed.). **When Is the Digital in Architecture?**. Berlim: Sternberg Press, 2017, p. 405-420.

TEMPERTON, James. A 'fourth industrial revolution' is about to begin (in Germany). **Wired** [online], São Francisco, 21 de maio de 2015. Disponível em: <https://www.wired.co.uk/article/factory-of-the-future>. Acessado em: 09/10/2020.

UNTERFRAUNER, Elisabeth; VOIGT, Christian; SCHRAMMEL, Maria; MENICHINELLI, Massimo. The Maker Movement and the Disruption of the Producer-Consumer Relation. In: **Internet Science, Lecture Notes in Computer Science**. Presented at the International Conference on Internet Science, Springer, Cham, 2017, p. 113–125. doi: 10.1007/978-3-319-77547-0_9

VAN BODEGRAVEN, Jan. **Entrevista 1**. [12 set. 2018]. Entrevistador: Rodrigo Scheeren. São Paulo, 2018. 1 arquivo .m4a (36 min.) Entrevista concedida presencialmente no Garagem Fab Lab. Não publicada.

VAN HOLM, Eric Joseph. What Are Makerspaces, Hackerspaces, and Fab Labs?. **SSRN Electronic Journal**, 2015, s. n. pag.

VATTIMO, Gianni. **O fim da modernidade**: niilismo e hermenêutica na cultura pós-moderna. São Paulo: Martins Fontes, 1996.

VELASCO, Rodrigo. **Entrevista 1**. [28 nov. 2019]. Entrevistador: Rodrigo Scheeren. Bogotá, 2019. 1 arquivo .m4a (37 min.) Entrevista concedida presencialmente no escritório Frontis 3D. Não publicada.

VELEZ, Benito Juarez. **Entrevista 1**. [18 set. 2020]. Entrevistador: Rodrigo Scheeren. Videoconferência: São Carlos - Lima, 2020. 1 arquivo .m4a (52 min.) Entrevista concedida virtualmente. Não publicada.

VIRNO, Paolo. **A Grammar of the Multitude**: For an Analysis of Contemporary Forms of Life. Los Angeles: Semiotext(e), 2004.

VIRNO, Paolo. General intellect. In: Zanini, Adelino; Fadini, Ubaldo (Eds). **Lessico Postfordista**: dizionario di idee della mutazione. Milan: Feltrinelli, 2001. Disponível em: <https://www.generation-online.org/p/fpvirno10.htm:> Acessado em: 22/04/2021.

WALTER-HERRMANN, Julia; BÜCHING, Corinne (Ed.). **FabLab**: Of Machines, Makers, and Inventors. Wetzlar: Transcript-Verlag, 2013.

WANG, David; GROAT, Linda. **Architectural research methods**. New York: John Wiley ans Sons, 2002.

WEBB, Robert. Sustaining Technology. **Architectural Design**, V. 75, n. 26, 2005, p. 70-77.

WEISBERG, David E. **The Engineering Design Revolution**: The People, Companies and Computer Systems that Changed Forever the Practice of Engineering, 2008. Disponível em: <www.cadhistory.net/> Acessado em: 09/10/2020.

WERESA, Marzenna Anna (ed.). **Strengthening the knowledge base for innovation in the European**. Warsaw: PWN, 2018 <http://www.i3u-innovationunion.eu/wordpress/wp-content/uploads/2018/10/Strengthening_the_knowledge_base_in_the_European_Union.pdf>

WIERTELARZ, Kathrin M.. An exploration in teaching architectural design for construction and fabrication. In.: **Proceedings of the 29th eCAADe Conference**, Ljubljana, Slovenia, 2011, p. 35-42.

WILLIS, Dan; WOODWARD, Todd. Diminishing difficulty: mass customization and the digital production of architecture. In.: CORSER, Robert (Ed.). **Fabricating Architecture**: Selected Readings in Digital Design and Manufacturing. New York: Princeton Architectural Press, 2010, p. 178-213.

WILLIAMS, Byron J.; CARVER, Jeffrey C.. Characterizing Software Architecture Changes: A Systematic Review. **Information and Software Technology**, n. 52, 2010, p. 31–51.

WINNER, Langdon. **The Whale and the Reactor**: A Search for Limits in an Age of High Technology (2 ed.). Chicago: University of Chicago Press, 2020.

WU, Rita. **Entrevista 1**. [14 set. 2018]. Entrevistador: Rodrigo Scheeren. São Paulo, 2019. 1 arquivo .m4a (1 h. 13 min.) Entrevista concedida presencialmente no Sesc 24 de Maio. Não publicada.

YUAN, Philip F.; MENGES, Achim; LEACH, Neil (Eds.). **Digital Fabrication**. Shanghai: Tongji University Press, 2018.

"Towards a Non Standard Mode of Production". In.: **Objectile**: Patrick Beaucé + Bernard Cache. Vienna: Springer 2007, p. 26–39.

APÊNDICES

Os documentos se encontram na pasta online do Google Drive:

<https://drive.google.com/drive/folders/1GRO9-mH0HwlhdbFG8NdFzwYtBj_RVB-Q?usp=sharing>

Mapeamento de informações dos laboratórios da AS (incluindo quem respondeu ao questionário, foi entrevistado e recebeu visita técnica);

Tabelas das Revisões sistemáticas

Modelo do questionário

Modelo de entrevista

Mapa de laboratórios da AS