

In between revolutions or the state of digital fabrication technologies in South America academia: a systematic and critical review

Rodrigo Scheeren¹, David M. Sperling²

¹ Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil
rodrigosscheeren@gmail.com

² Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil
sperling@sc.usp.br

Abstract. The main objective of this article is to grasp how technologies, techniques, and concepts related to Digital Fabrication were applied by South American players, in academic production from 2000 to 2021, through pedagogical activities, design projects, manufacturing processes, prototypes, and artifacts. We conducted a systematic review of publications from SIGraDi and eCAADe conferences, by authors active in South America during the period, identified from the CumInCAD database using the following terms: digital fabrication, digital manufacturing, digital fabrication, digital fabrication, rapid prototyping, CAD/CAM, robot* and 3d print*. 260 articles met the final criteria for inclusion, organized from the combination of 10 categories. The results show the dissemination of information about digital fabrication in many countries, focused on different trends of research and innovation, allowing us to understand the evolution of technological appropriation, thus offering an in-depth overview of our situation over the past 20 years.

Keywords: Digital Fabrication, Technological Appropriation, Systematic Review, Design Process, Digital Theory.

1 Introdução

Ao abordarmos o tema da Fabricação Digital (FD) nas áreas de arquitetura, design e construção, consideramos uma complexidade de fenômenos conformando diferentes panoramas tecnológicos. Inserida nos discursos acerca das revoluções industriais, a Fabricação Digital, enquanto um campo de conhecimentos práticos de desenvolvimento e aplicação de tecnologias avançadas, técnicas e materiais, evoca a dimensão experimental e a reconfiguração da nossa experiência do mundo físico (Picon, 2020). Essa retomada da “noção de materialidade” (Picon, 2020), envolve o controle

computacional das suas propriedades, a valorização das características sensórias e simbólicas, e a consideração da produção em suas várias formas de impacto no meio ambiente.

O interesse pela Fabricação Digital ocorreu com os avanços obtidos pela manufatura industrial, aprimoramento de técnicas CAD/CAM, de automação e controle, que promoveram a customização de produtos nos setores automotivo e aeroespacial (Schodek et al., 2005). Transferidas para o setor da construção, respondem às necessidades de flexibilidade, complexidade, desempenho e, similarmente, customização dos produtos. Essas estratégias orientam métodos como o Design for Manufacture and Assembly (DfMA), que avalia parâmetros e restrições para produção e montagem durante todas as fases do processo, considerando redução de custos, escolha efetiva de materiais, sistema mais adequado de execução e atenção ao ciclo de vida do produto (Tuvayanond & Prasittisopin, 2023).

Há panoramas bem estabelecidos no norte global, vinculados à indústria e à academia, com porte de experimentação e produção material, e há panoramas no sul global, com dinâmicas de apropriação e adaptação de recursos aos contextos. Nesse cenário global, a indústria 4.0 apresenta-se como indutora da digitalização, e a construção 4.0 é uma aproximação dessas premissas para o setor construtivo, a partir de tópicos como: modelagem da informação, big data, simulação, conectividade e gerenciamento entre projeto e materialização; impressão 3d, sistemas robóticos e veículos autônomos; visualização em ambientes imersivos, equipamentos digitais de auxílio ao trabalho, aprendizado de máquina e controle inteligente da edificação; entre outros (Casini, 2022, p. 47-8).

Na América do Sul, o interesse um pouco tardio por temas como teorias da complexidade e formas complexas encontrou nas máquinas de fabricação uma oportunidade de transição computacional para a experimentação e criação de modelos e protótipos em escala, com sua absorção inicial ocorrendo na academia (Scheeren, 2021). No início de 2000, Arturo Montagu refletia sobre os novos paradigmas projetuais que surgiam a partir das tecnologias da informação e as relações de ideologia, ajustes e desajustes vinculadas pelo constante estado de permanecermos “entre” revoluções (Montagu, 2006). Assim, as propostas de “revolução digital” oriundas de fluxos norte-sul trazem consigo uma dimensão global de oportunidades e, ao mesmo tempo, desta condição cambiante entre urgências e necessidades.

O objetivo desse artigo é evidenciar de que maneira as distintas tecnologias, técnicas e conceitos relacionados à Fabricação Digital foram interpretados e aplicados em atividades, processos, projetos e artefatos, de 2000 até 2021, por atores da América do Sul, ou seja, desde o período inicial de produção com essas tecnologias. E, portanto, identificar características e tendências dessas atividades, como estão inscritas na produção acadêmica e seus efeitos de disseminação de conhecimentos. O que nos permite estabelecer “panoramas críticos”, ou seja, modos de compreender um cenário que é tanto conformado extrinsecamente quanto é capaz de situar as

possibilidades de avanço em nosso contexto, indicando caminhos efetivos na sociedade (Feenberg, 2020). A avaliação passa por compreender dinâmicas de: a) práticas pedagógicas; b) pesquisa e experimentação projetual; c) desenvolvimento técnico, de objetos e máquinas; d) temas correlatos à indústria/construção 4.0.

O texto se baseia em sistematização prévia (Scheeren, 2021) e em outros estudos publicados pelos autores (Sperling et al., 2015; Scheeren & Sperling, 2020). Além disso, apoia-se em estudos anteriores (Celani & Pupo, 2008; Herrera & Juárez, 2012; Miyasaka & Fabrício, 2015), que serão estendidos à discussão. O que distingue este trabalho de outras revisões é a abrangência do período, a compreensão de uma gama ampla, diversa e continuada de publicações realizadas por atores do contexto sul-americano, e um aprofundamento na leitura dos trabalhos que levou às caracterizações e categorias, permitindo uma perspectiva mais clara da situação.

2 Método

O estudo iniciou com uma revisão sistemática, a partir de palavras-chave pesquisadas em um repositório da área, organizando as informações em categorias para gerar um subtrato novo (Austern et al., 2018). Desse modo, foram selecionados artigos publicados por autores atuantes na América do Sul, nos dois congressos de maior inserção de suas publicações na área, o SIGraDi e o eCAADe, entre 2000 e 2021. As publicações foram obtidas na base CumInCAD, utilizando os termos: digital fabrication, digital manufacturing, fabricação digital, fabricación digital, prototipagem digital, rapid prototyping, CAD/CAM, robot* e 3d print*. A partir da literatura encontrada, uma primeira versão da base de dados foi sistematizada. As informações foram filtradas pelo vínculo do(a) autor(a) com alguma instituição ou similar da América do Sul, extraídas e tabeladas. Após triagem, constatou-se a repetição de publicações encontradas com diferentes termos, que foram excluídas. Assim, criou-se uma base única com as publicações identificadas pelas diferentes palavras-chave, relacionadas ao tema da Fabricação Digital.

Após as leituras, os textos que não lidavam especificamente com as áreas de arquitetura, design e construção, ou que foram desenvolvidos por autores estrangeiros à América do Sul ou sem vínculo com alguma instituição local naquele momento, foram desconsiderados. Através dessas leituras, extraíram-se dados para categorizá-los, indicar os processos de fabricação e materiais utilizados. Das informações, surgiram 10 categorias que sintetizaram a diversidade de propostas: Análise teórica, Efeito cultural, Educação, Modelo arquitetônico, Design de objeto, Projeto em escala arquitetônica, Instalação artística, Processo construtivo, Desenvolvimento técnico, Método de design digital, além de Outros e Não especificado. Tais categorias foram associadas numa lógica entre uma categoria predominante

e outra categoria complementar. Com o conjunto de informações estruturadas, efetuamos a interpretação e análise das estratégias de aplicação das tecnologias de Fabricação Digital no contexto sul-americano.

A tabela final com a base de dados (Scheeren, 2023) está organizada com as seguintes informações: código da publicação, ano da publicação, autores, instituição relacionada, país de origem, título do trabalho, palavras-chave do trabalho, link da publicação, resumo, duas categorias de análise, tecnologias empregadas e materiais utilizados.

3 Resultados

Por meio da revisão sistemática, identificamos 260 publicações que se enquadram no procedimento de sistematização descrito acima. Os resultados permitiram vislumbrar a dimensão da produção e difusão de conhecimentos ao longo desses anos, bem como perceber lacunas e períodos mais intensos em que o tema da Fabricação Digital emergiu. As publicações foram organizadas pela combinação de 10 categorias identificadoras, em virtude das características encontradas nos trabalhos, em que foram lidos resumos, palavras-chave e, posteriormente, do artigo completo. Isso contribuiu para o reconhecimento de tendências de aplicação das tecnologias e na percepção dos tópicos de trabalho, assim, oferecendo um panorama aprofundado da situação nos últimos 20 anos.

Tabela 1. Trabalhos apresentados no congresso da SIGraDi (244 trabalhos, entre 2002 e 2021). Fonte: Autores, 2023.

2002	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1	5	1	13	6	14	18	14	18	25	28	22	25	11	26	17

Tabela 2. Trabalhos apresentados no congresso da eCAADe (16 trabalhos, entre 2003 e 2020). Fonte: Autores, 2023.

2003	2007	2008	2009	2011	2012	2014	2016	2018	2020
1	1	4	1	2	1	1	2	2	1

Na transição de 2008 para 2009, há o surgimento de um número consistente de publicações que envolvem o tema da Fabricação Digital na região, retomado em 2011, com o mesmo ritmo de publicações, e um novo aumento a partir de 2015 e 2016. É por volta de 2006 e 2007 que algumas universidades no Brasil e no Chile, como o LAB-FADEU da PUC-Chile e o LAPAC na Unicamp, adquirem maquinário CNC para os seus laboratórios de modelos e protótipos. Em 2010 e 2011, expande-se a aquisição de máquinas de menor porte, com seu barateamento e a difusão do modelo Fab Lab.

Portanto, as apropriações técnicas e explorações acerca dos usos das tecnologias já estavam em curso nesses anos, desdobrando-se nas publicações nos anos seguintes. Os primeiros trabalhos identificados à Fabricação Digital, apresentados nos anos iniciais, são subsidiários de experimentos realizados em pesquisas de pós-graduação, utilizando maquinário de outros centros ou laboratórios, e análises teóricas a fim de se aproximar do tema e compreender a sua dimensão. A partir de 2012, com pequenas variações, há uma quantidade significativa de publicações a respeito da temática, devido à ampliação do quadro de laboratórios no continente e na maior variedade e facilidade de acesso a maquinário em espaços institucionais e não institucionais.

Tabela 3. Trabalhos apresentados na SIGraDi (2002 – 2021) e no eCAADe (2003 – 2020), distribuídos por países (260 trabalhos). Fonte: Autores, 2023.

Brasil	Chile	Argentina	Peru	Uruguai	Colômbia	Argentina/ Chile	Chile/ Brasil	Brasil/ Argentina	Outras
172	38	17	6	6	3	5	2	1	10

Tabela 4. Trabalhos sistematizados por categoria predominante, categoria complementar e características principais. Fonte: Autores, 2023.

Categoria 1	Categoria 2	Característica	#
Análise teórica	Efeito cultural	Análise e discussão de tópicos teóricos e históricos com o intuito de disseminar conhecimentos disciplinares, tecnológicos e projetuais	41
Análise teórica	Educação	Análise de atividades didáticas, de ensino ou de investigações acadêmicas	19
Educação	Modelo arquitetônico	Atividades educacionais que resultaram em modelos tridimensionais em escala reduzida de um projeto ou de uma edificação	28
Educação	Design de objeto	Atividades educacionais que resultaram em objeto de pequena ou média escala, como protótipo de objeto, produto, peças ou elemento construtivo	46
Educação	Processo construtivo	Descreve o processo de criação, desenvolvimento e produção de artefatos utilizados em atividades de ensino, mais do que demonstrar os objetos	4
Educação	Projeto em escala arquitetônica	Atividades educacionais que resultaram em projeto fabricado com materiais e técnicas na escala real da construção	5
Educação	Desenvolvimento	Atividades educacionais que desdobraram na criação	3

	técnico	ou aprimoramento de uma técnica para a aplicação das tecnologias	
Desenvolvimento técnico	Modelo arquitetônico	Descreve a criação ou aprimoramento de uma técnica no uso das tecnologias que foi representado por meio de um modelo arquitetônico	2
Desenvolvimento técnico	Design de objeto	Descreve a criação ou aprimoramento de uma técnica no uso das tecnologias que resultou em objeto de pequena ou média escala	16
Modelo arquitetônico	Processo construtivo	Descreve o processo de elaboração e construção de um modelo arquitetônico	13
Design de objeto	Processo construtivo	Descreve o processo de elaboração e construção de um objeto de pequena ou média escala	26
Projeto em escala arquitetônica	Processo construtivo	Descreve o processo de elaboração, desenvolvimento técnico e construção de um projeto fabricado com materiais e técnicas na escala real da construção	12
Instalação artística	Processo construtivo	Apresenta um projeto artístico e como foi o seu processo de criação e fabricação	4
Método de design digital	Modelo arquitetônico	Descreve um procedimento digital de geração de resultado que implica a produção de um modelo arquitetônico	6
Método de design digital	Design de objeto	Descreve um procedimento digital de geração de resultado que implica a produção de um objeto de pequena ou média escala	4
Método de design digital	Processo construtivo	Descreve um procedimento digital de geração de resultado e indica o processo construtivo necessário para a sua fabricação	10
Outros	-	Combinações variadas de categorias ou que não se enquadram nas anteriores	13
Não especificado	-	Não está claro ou não está declarado como a fabricação digital foi utilizada	8

A organização dos trabalhos pela associação de duas categorias contribuiu em classificações concisas, com caracterizações que alcançam certo nível de singularidade para cada conjunto. Percebe-se a predominância de trabalhos envolvendo a tríade análise teórica, educação e design de objeto. Da primeira categoria, surgem publicações interpretando temas no horizonte mais amplo da computação e da fabricação digital, discutindo tópicos em voga na literatura e em projetos nos diferentes períodos, em um

esforço de compreensão e disseminação das novas ideias e do seu domínio técnico – com parte delas vinculadas a experiências de ensino, e outras indicando referências de projetos e de práticas na cultura arquitetônica contemporânea. Da segunda categoria, há a descrição de atividades diversas dirigidas por professores e pesquisadores, provenientes de disciplinas de graduação e pós-graduação, cursos, formação de profissionais e desenvolvimento de competências, além de trabalhos de extensão com o público externo – contudo, essas propostas resultam em atividades pontuais, que dificilmente se estendem a longo prazo. Da terceira categoria, evidencia-se uma produção baseada na fabricação de objetos de pequena e média escala, a partir de projetos muito específicos explorando formas complexas, elementos conceituais, mobiliários, modelos de avaliação de artefatos e de sistemas construtivos, entre outros.

Verificamos poucos trabalhos que resultaram em algum tipo de desenvolvimento técnico, em que surgiram novas formas de emprego das tecnologias, emprego de materiais, elaboração de geometrias para elementos construtivos ou a criação de sistemas que agregassem possibilidades de processos e uso não existentes, até mesmo a criação de novas máquinas ou parte delas. Há também poucos projetos desenvolvidos na escala arquitetônica, geralmente resultando em algum tipo de pavilhão ou propostas pautadas na Wikihouse. A aplicação das tecnologias para a criação de elementos artísticos é muito rara, com propostas de instalações temporárias e alguns protótipos em processo. Os modelos arquitetônicos são produzidos para a visualização de projetos em seu processo criativo, também cumprindo uma função de representação histórica e de patrimônio.

Tabela 5. Identificação das tecnologias empregadas e os materiais utilizados nos trabalhos. Fonte: Autores, 2023.

Tecnologia / Material	MDF	Papelão / papel	Compen sado	OSB	EPS / Isopor	Acrílico	PLA	ABS	Outros	Não indicado	Geral
Nenhuma										60	60
Cortadora laser	24	9				4			5	8	46
Fresadora CNC	8	4	8	4	3	1			11	5	33
Impressão 3D							13	7	11	13	38
Cortadora + Fresadora	10	2	2	1					3	1	14
Cortadora + Impr. 3D	9	2				3	10	2	6	2	20

Fresadora + Impr. 3D	1							1	2	3
Cortadora + Fresadora + Impr. 3D	4	2	1	3	1	5	2	4	1	10
Sistema robótico								5	2	7
Outros	3	1		3	1	1		7		8
Não especificado									21	21

Esse registro mostra a situação preponderante do emprego individualizado das tecnologias, ou seja, com atividades focadas em uma única tecnologia como suporte à fabricação, e poucas articulações entre elas. A cortadora a laser foi uma das primeiras tecnologias adquiridas e se consolidou pela facilidade de uso em atividades de ensino, em pequenos experimentos, na criação de modelos arquitetônicos e em objetos de design. Contudo, mostrou-se limitada para projetos em escalas maiores, principalmente pela capacidade de uso de materiais, que se concentrou no MDF e papelão. O uso da fresadora CNC trouxe variedade e versatilidade propositiva para os projetos, além de ampliar o uso de materiais e a escala dos resultados 1:1, tornando-se mais presente por volta de 2010. Ainda assim, nos casos vislumbrados, empregou-se materiais não tão resistentes em certas situações a longo prazo, como MDF, compensado e OSB, além de termoplásticos rígidos e outros tipos de compósitos.

O emprego de métodos aditivos iniciou com a sinterização a laser, geralmente utilizando pó de poliamida e, a partir de 2012, incorporou a tecnologia FDM para a materialização de modelos arquitetônicos em escala reduzida, de protótipos e de objetos modelados em atividades educacionais. Ao longo dos anos, a aplicação da manufatura aditiva pouco evoluiu, o que envolveria a passagem dos protótipos para os produtos finais, já que o maquinário disponível não é industrial. O uso de materiais se concentrou em termoplásticos e resina, com poucas variações, como o uso de argila. A integração de tecnologias distintas às citadas acima aconteceu em poucos casos, incluindo termoformadoras e cortadoras a plasma. O uso de sistemas robóticos é mais presente nos últimos 5 anos, nos quais foram incorporadas outras tecnologias para manipular madeira e concreto. Alguns trabalhos mencionam parcialmente os materiais utilizados. Os casos em que não se identifica nenhuma tecnologia aplicada são os de análise teórica ou alguns casos práticos que não as mencionam. Com frequência, as atividades utilizaram mais de um tipo de material – por esse motivo, na tabela, a soma de algumas linhas ultrapassa o número geral para cada tecnologia ou combinação de tecnologias.

4 Discussão

Percebemos diferentes momentos de apropriação tecnológica no período compreendido entre 2000 e 2021. Há um primeiro momento que demonstra a obtenção de conhecimentos técnicos com os trabalhos de análise e alguns experimentos práticos de escala pequena e média, basicamente utilizando tecnologias subtrativas com material resultante da madeira, realizados por poucos atores. A partir de 2011, os temas se ampliam, os projetos se diversificam e complexificam, ainda com experimentos de escala pequena e média. O uso das tecnologias incorpora a impressão 3d, ampliando a gama de materiais para polímeros, resinas e termoplásticos, também utilizados com tecnologias subtrativas. De 2014 em diante, as tecnologias de fabricação já foram absorvidas de maneira mais integrada às atividades disciplinares e de pesquisa. Além disso, expande-se o interesse por simulações, desempenho e o comportamento dos materiais, com maior combinação do uso de tecnologias. Os projetos em escala arquitetônica, que têm seus primeiros exemplos por volta de 2010, ampliam-se, e há também, o emprego de materiais com mais robustez e rigidez.

As tendências de trabalho são extremamente heterogêneas, indicando que grande parte explora tecnologias digitais para adquirir conhecimento especializado, e os resultados são meios para esse objetivo. O uso de modelagem aplica-se na exploração morfológica e de geometrias variáveis, com a utilização de controle computacional paramétrico em alguns casos. A partir de 2014, os temas dos modelos começam a se diversificar, com mobiliários, objetos-instalações, objetos de representação histórica, objetos instrucionais, sistemas para habitação e emergencial. Elementos construtivos e materiais mais robustos surgiram nos últimos 4 anos. Questões relacionadas à indústria 4.0 aparecem nos últimos 4 anos, iniciando com estudos teóricos e, a seguir, com a introdução de robôs, convergindo com casos do uso de BIM. O interesse por temas como artesanato, design paramétrico, pela cultura do fazer, customização em massa e biomimética se desdobram pontualmente ao longo dos anos.

Das atividades práticas, menos de 10% do total referem-se a projetos em escala arquitetônica, apresentando pouca variedade tipológica, prevalecendo sistemas modulares para habitação experimental, alguns pavilhões demonstrando soluções geométricas e estruturais, e o restante, protótipos de elementos construtivos. Aqui está uma lacuna a ser explorada, em sistemas construtivos leves e duráveis, a partir da disponibilidade de novas tecnologias e sua capacidade de produção, junto com materiais compósitos. Concreto, argila, fibras e madeira laminada são manipulados nos últimos quatro anos. Encontramos pouquíssimos exemplos de desenvolvimento técnico em processo de projeto, artefato construtivo ou habilidades inovadoras. Mais raro é o desenvolvimento de maquinário, com dois trabalhos, uma máquina CNC de 7 eixos para cortar poliestireno expandido, e uma fresadora CNC de baixo custo adaptável. Os trabalhos são bastante descritivos, carecendo de mais

detalhes sobre o processo, ecoando Felipe & Nome, “não deixam claro os avanços realizados a partir daquela proposição” (2020, p. 14).

Avaliando as aplicações tecnológicas encontradas na revisão sistemática à luz das análises de Álvarez, Bernal & Cáceres (2020), reconhecemos aproximações entre o global e o local. Durante o mesmo período, inicialmente predominou o uso de tecnologias de corte e montagem para, a partir de 2012, a impressão 3d aparecer de modo mais recorrente, com o diferencial que o uso da robótica aparece de maneira consolidada em 2012 no cenário global, com destaque para o uso de AR/VR e realidade aumentada nos últimos dois anos. Caetano & Leitão (2020), indicam conceitos e processos cobertos pelo período, que correspondem à segunda geração de teorias digitais, alguns dos quais reconhecemos de modo mais presente nos trabalhos analisados. Isso ocorre, principalmente, com o design paramétrico vinculado ao design performativo e responsivo, e menos recorrente ao design generativo e evolutivo, com atenção crescente ao tema da materialidade informada, por meio de tecnologias robóticas e sua flexibilidade de uso de ferramentas.

Aspectos importantes surgiram nesses vinte anos em nosso contexto, em que se percebe avanços no quesito ensino e aprendizagem, ao se absorver as tecnologias de Fabricação Digital com processos computacionais dinâmicos, em atividades e experimentos que envolveram participações e colaborações diversas, seja de um corpo técnico especializado ou de comunidade não especializada. Assim, formaram-se atores ativos e interessados em investigar conhecimentos necessários e complementares para a realização das tarefas. Estendendo um apontamento de Celani & Pupo (2008, p. 38), a restrição de aplicação ainda se dá pelo fator econômico – de custos, material e manutenção –, social – de mão-de-obra e onde empregar essas tecnologias na construção –, mas também de oportunidade técnica – sobre o desenvolvimento de saberes e aprimoramento de conhecimentos.

Ademais, surge a questão sobre como consolidar essas práticas em tempos de declínio do interesse pelas tecnologias de fabricação, com outras novas tecnologias emergentes em vista. Para tanto, cabe não só diversificar o conhecimento do maquinário, mas aprofundar o seu domínio técnico em experimentos que consolidem resultados relevantes e a longo prazo. Junto a isso, compreender os laboratórios de Fabricação Digital com um papel dinamizador da economia e do desenvolvimento social, explorar o potencial territorial em sua multiculturalidade e disponibilidade de matérias-primas naturais, e desenvolver métodos alternativos para deixarmos de privilegiar uma minoria de usuários (Herrera & Juárez, 2012).

5 Conclusão

A principal contribuição da revisão sistemática é a de compreender tanto de modo quantitativo quanto qualitativo a diversidade de aplicações das

tecnologias de Fabricação Digital desenvolvidas no ambiente acadêmico da América do Sul. Desse modo, visualiza-se grande quantidade de dados que ainda não se encontravam sistematizados e disponibilizados para consultas, permitindo outros desdobramentos de pesquisa. Este estudo pode ser ampliado acrescentando-se publicações dos atores locais nas outras associações, como ACADIA, CAADRIA, ASCAAD e CAAD Futures, e em repositórios de artigos, para se obter uma visão ampliada e de completude acerca do período. Além disso, a possibilidade de que estudos de caso encontrados no levantamento sejam apresentados e discutidos.

A partir das categorias elencadas, percebe-se que a evolução da aplicação das tecnologias de Fabricação Digital ocorreu de maneira lenta e gradual, mas que apresentou uma complexidade de temas emergentes durante o período. Do que se depreende que a Fabricação Digital desempenhou um papel eminentemente voltado ao aprimoramento técnico, de ampliação de repertório de práticas de projeto vinculadas ao design, a arquitetura e a construção. Isso reforça e atualiza o que Miyasaka & Fabrício (2015, p. 429) constataram em sua revisão sistemática, que o ensino é um tópico de destaque e o tema é abordado como uma ferramenta de auxílio no processo de criação na arquitetura. O desafio está no emprego da Fabricação Digital em projetos consistentes e relevantes, a fim de justificar a sua escolha como um conjunto de tecnologias capazes de agregar diferentes estratégias aos métodos tradicionais.

Agradecimentos. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo nº 2017/04946-7.

Referências

- Álvarez, N., Bernal, M., & Cáceres, K. (2020). Evolution and Projection of Computational Design Theories: Generation, Analysis, Selection and Fabrication. *Proceedings of the 24th Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics*, pp. 120-127. Editora Edgard Blucher. <https://doi.org/10.5151/sigradi2020-17>
- Austern, G., Capeluto, I. G., & Grobman, Y. J. (2018). Rationalization Methods in Computer Aided Fabrication: A Critical Review. *Automation in Construction*, 90, pp. 281–293.
- Caetano, I., & Leitão, A. M. (2020). Architecture meets computation: an overview of the evolution of computational design approaches in architecture. *Architectural Science Review*, 63(2), pp. 165-174. <https://doi.org/10.1080/00038628.2019.1680524>
- Casini, M. (2022). *Construction 4.0: advanced technology, tools and materials for the digital transformation of the construction industry*. Cambridge: Woodhead Publishing.

- Celani, G. & Pupo, R. (2008). Prototipagem Rápida e Fabricação Digital para Arquitetura e Construção: Definições e Estado da Arte no Brasil. *Cadernos de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo*, 8(1), pp. 31-41. <https://editorarevistas.mackenzie.br/index.php/cpgau/article/view/6018>
- Feenberg, A. (2020). *Between Reason and Experience: Essays in Technology and Modernity*. Cambridge, MIT Press.
- Felipe, B. L., & Nome, C. (2020). Digital Fabrication Techniques: A systematic literature review. *Proceedings of the 24th Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics*, pp. 9–16, Editora Edgard Blucher. <https://doi.org/10.5151/sigradi2020-2>
- Herrera, P., & Juárez, B. (2012). Perspectivas en los Laboratorios de Fabricación Digital en Latinoamérica. In *Proceedings of the 16th Iberoamerican Congress of Digital Graphics* (pp. 285-289) Fortaleza, 13-16 Nov.
- Montagu, A. (2006). Los nuevos paradigmas proyectuales: El tercer estado de la sociedad contemporánea. *Encrucijadas*, 37. Universidad de Buenos Aires.
- Miyasaka, E., & Fabrício, M. (2015). Digital fabrication in Brazil: Academic production in the last decade. In *The Next City: 16th International Conference CAAD Futures 2015* (pp. 421-433).
- Picon, A. (2020). Beyond Digital Avant-Gardes: The Materiality of Architecture and Its Impact. *Architectural Design*, 90(5), pp. 118–125. <https://doi.org/10.1002/ad.2618>
- Scheeren, R. (2021). *Fabricação digital na América do Sul: laboratórios, estratégias, processos e artefatos para o design, a arquitetura e a construção*. Tese de Doutorado, Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos. doi:10.11606/T.102.2021.tde-05042022-173034.
- Scheeren, R. (2023). *Tabela de revisão sistemática: base de dados*. Disponível em: https://docs.google.com/spreadsheets/d/1M4c2_qp0tZS38eRIN-QKUPVlFkmPHCfU/edit?usp=sharing&oid=102373855602338309491&rtpof=true&sd=true
- Scheeren, R., & Sperling, D. (2020). Aplicações da fabricação digital em arquitetura, design e construção: processos de apropriação tecnológica e adequação sociotécnica em experimentos na América do Sul. *Gestão & Tecnologia de Projetos*, 15(3), 81-95. <https://doi.org/10.11606/gtp.v15i3.166255>
- Schodek, D., Bechthold, M., Griggs, J. K., Kao, K., & Steinberg, M. (2005). *Digital Design and Manufacturing: CAD/CAM Applications in Architecture and Design*. London: John Wiley & Sons.
- Sperling, D., Herrera, P., Celani, G., & Scheeren, R. (2015). Fabricação digital na América do Sul: um mapeamento de linhas de ação a partir da Arquitetura e Urbanismo. In *Proceedings of the 19th Congress of the Iberoamerican Society of Digital Graphics*. São Paulo: Blucher (pp. 119-125). <https://doi.org/10.5151/despro-sigradi2015-30212>
- Tuvayanond, W., & Prasittisopin, L. (2023). Design for Manufacture and Assembly of Digital Fabrication and Additive Manufacturing in Construction: A Review. *Buildings*, 13(2), 429. <http://dx.doi.org/10.3390/buildings13020429>