PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*
ESCOLA DE DIREITO NEGÓCIOS E COMUNICAÇÃO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO EM DESENVOLVIMENTO E PLANEJAMENTO TERRITORIAL

ANDRE LUIZ JUBE VIANA

A ARQUITETURA INDUSTRIALIZADA E A FABRICAÇÃO DIGITAL: UMA REFLEXÃO SOBRE OS FATORES DE INFLUÊNCIA DAS TRANSFORMAÇÕES NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CÍVIL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação *Stricto Sensu* do Mestrado Acadêmico em Desenvolvimento e Planejamento Territorial - MDPT da Pontifícia Universidade Católica de Goiás- PUC Goiás, como parte dos requisitos paraobtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Planejamento Territorial.

Orientadora: Prof. Dra. Lucia Maria Moraes.

GOIÂNIA
2024

PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*
ESCOLA DE DIREITO NEGÓCIOS E COMUNICAÇÃO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO EM DESENVOLVIMENTO E PLANEJAMENTO TERRITORIAL

ANDRE LUIZ JUBE VIANA

A ARQUITETURA INDUSTRIALIZADA E A FABRICAÇÃO DIGITAL: UMA REFLEXÃO SOBRE OS FATORES DE INFLUÊNCIA DAS TRANSFORMAÇÕES NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CÍVIL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação *Stricto Sensu* do Mestrado Acadêmico em Desenvolvimento e Planejamento Territorial - MDPT da Pontifícia Universidade Católica de Goiás- PUC Goiás, como parte dos requisitos paraobtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Planejamento Territorial.

Orientadora: Prof. Dra. Lucia Maria Moraes.

GOIÂNIA
2024

Catalogação na Fonte - Sistema de Bibliotecas da PUC Goiás

V614a Viana, André Luiz Jubé.
A arquitetura industrializada e a fabricação digital : uma reflexão sobre os fatores de influência das trans-formações na indústria da construção cívil / André Luiz Jubé Viana. -- 2024.
57 f.: il.

Texto em português, com resumo em inglês.
Orientadora: Prof.ª Dr.ª Lucia Maria Moraes.
Dissertação (mestrado) -- Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Escola de Direito, Negócios e Comunicação, Goiânia, 2024.
Inclui referências: f. 56-57.

1. Arquitetura. 2. Projeto arquitetônico - Processamento de dados. 3. Construção industrializada. I. Moraes, Lúcia Maria. II. Pontifícia Universidade Católica de Goiás - Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Planejamento Territorial - 23/09/2024. III. Título.

CDU: 72.012:004(043)

Márcia Rita Freire - Bibliotecária - CRB1/1551

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

Catalogação da Publicação Sistema de Biblioteca da PUC Goiás

ANDRÉ LUIZ JUBÉ VIANA

A ARQUITETURA INDUSTRIALIZADA E A FABRICAÇÃO DIGITAL: UMA REFLEXÃO SOBRE OS FATORES DE INFLUÊNCIA DAS TRANSFORMAÇÕES NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CÍVIL

Dissertação do Mestrado em Desenvolvimento e Planejamento Territorial da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, defendida e aprovada em dia 23 de setembro de 2024 pela Banca Examinadora constituída pelas docentes:

gov.br Documento assinado digitalmente
LUCIA MARIA MORAES
Data: 07/10/2024 09:49:16-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____

Profa. Dra. Lucia Maria Moraes
Orientadora / PUC Goiás

gov.br Documento assinado digitalmente
RAQUEL NAVES BLUMENSCHEIN
Data: 23/09/2024 22:01:28-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____

Profa. Dra. Raquel Naves Blumenschein
Examinadora externa / UnB

gov.br Documento assinado digitalmente
SANDRA CATHARINNE PANTALEAO RESENDE
Data: 23/09/2024 21:05:31-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____

Profa. Dra. Sandra Catharinne Pantaleão Resende
Examinadora interna - PUC Goiás

DEDICATÓRIA

À Deus, minha gratidão por todas as oportunidades que tive. Aos meus Pais, José e Maria (*in memoriam*) que sempre foram grandes incentivadores e acreditaram em minha capacidade e força, sempre foram minha base de apoio em todos os momentos. À minha irmã, Andrea, que sempre me incentivou e apoiou em todos os momentos em que precisei. A minha querida companheira Regina, pela parceria e paciência em momentos de dificuldade. Aos meus filhos, Miguel e Manoela e ao Rodrigo, pela alegria que sempre irradiam com as suas presenças. A população goianiense.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por permitir essa oportunidade, por conceder saúde, dedicação e força para realizar esse estudo.

Aos meus Pais (*in memoriam*), que são minha grande inspiração e também incentivadores da minha vida profissional. Sem eles nada disso seria possível.

A minha orientadora, Dra. Lucia Maria Moraes por me ajudar nos diversos obstáculos, pela paciência ao longo do trabalho, pelos auxílios e por compartilhar suas experiências.

Ao corpo de funcionários da Prefeitura Municipal de Goiânia, de onde extraí experiência prática em licenciamento de obras e planejamento urbano.

Aos membros da banca do exame de qualificação Dra. Sandra Catharinne Pantaleão Resende e Dr Pedro Araújo Pietrafesa pelas críticas e sugestões que ajudaram a construir o resultado desta pesquisa

Aos demais professores que de forma muito prazerosa enriqueceram a minha vida quando dividiram comigo e os colegas de turma seus preciosos conhecimentos e experiências.

Agradeço a população goianiense que direta ou indiretamente contribuíram com o apoio e o suporte que recebi para a realização desta pesquisa.

E a todos que, de alguma forma, colaboraram para a elaboração deste trabalho.

EPÍGRAFE

"Mas enquanto houver aquela esperança, que tem de haver, continua havendo com o ser humano, apesar dessa destruição toda da natureza, apesar das guerras que a gente vê, apesar desses massacres, apesar disso tudo, o ser humano não pode perder a esperança, e ela envolve um compromisso que cada um de nós precisa assumir com a sociedade, com sua visão crítica; essa consciência crítica é fundamental, a gente só se realiza quando cria uma consciência crítica capaz de, realmente, confrontar com essas distorções que envolvem nosso dia-a-dia. É fundamental, para mim é fundamental. A arquitetura é um processo, não um desenho, arquitetura é essa convivência que vai ocorrer durante muitos anos; em meu caso, estou citando esse projeto, mas existem muitos outros a envolver essa convivência, desde o primeiro desenho até a modificação que acontece no decorrer dos anos."

João Filgueiras Lima, o Lelé em depoimento ao Reginaldo Ronconi Professor dos cursos de graduação e pós-graduação da FAUUSP em 2006, Criador e coordenador do Canteiro Experimental Antônio Domingos Battaglia.

RESUMO

Nesta dissertação discute-se o início do uso da arquitetura e design auxiliados por computador. Pretende-se fazer um contraponto entre a arquitetura paramétrica e a impressão em massa customizada, adotada na Europa, EUA e Ásia e a arquitetura industrializada brasileira utilizando-se da experiência de Niemeyer e Lelé com a construção pré-moldada. Questiona-se as dificuldades e potencialidades de uso da tecnologia digital pelos arquitetos, o impacto na eficiência, criatividade e a transformação dos projetos arquitetônicos. Nestes três vetores cria-se uma reflexão sobre os fatores de influências das transformações na indústria da construção civil. Analisa-se a evolução dessas tecnologias ao longo do tempo, destacando-se a influência nas etapas de concepção, prazos da construção e da sua inserção na comunidade. Destaca-se a otimização digital e a personalização em massa, consideradas como elementos revolucionários ao desafiar concepções tradicionais. Questiona-se as interferências causadas pela implantação de construções para megaeventos, com uso destas inovações da arquitetura digital, na malha urbana estabelecida. Discute-se a relação entre arquitetos e tecnologias disponíveis com as inovações da geometria arquitetônica e fabricação digital, ressaltando-se a importância da inclusão social, a respeito, com a diversidade cultural local e do cuidado com o meio ambiente. Conclui-se enfatizando as vantagens de uma melhoria no ensino dos cursos de arquitetura e urbanismo abordando esse assunto sobre arquitetura auxiliada por computadores e uma possível incorporação da otimização digital e da customização em massa para uso com a indústria da construção civil brasileira com destaque, para a importância de se promover sempre a inclusão social e o cuidado ambiental.

Palavras-chave: Arquitetura Digital, Arquitetura Industrializada, Arquitetura Paramétrica, Design Auxiliado por Computadores, Fabricação Digital, Tecnologia da Edificação.

ABSTRACT

This dissertation discusses the beginning of the use of computer-aided design. The goal is to create a counterpoint between parametric architecture and mass-customized printing, adopted in Europe, the USA, and Asia, with Brazilian industrialized architecture using Lelé and Niemeyer's experience with pre-cast construction. The difficulties and potential of using digital technology by architects, the impact on efficiency, creativity and the transformation of architectural projects are questioned. In these three vectors, a reflection is created on the influencing factors of transformations in the construction industry. The evolution of these technologies over time is analyzed, highlighting their influence on the design stages, construction deadlines and their insertion in the community. Digital optimization and mass customization are considered revolutionary elements in challenging traditional conceptions. The interference caused by the implementation of constructions for mega events, using these digital architecture innovations, in the established urban fabric is questioned. The relationship between architects and available technologies with innovations in architectural geometry and digital manufacturing is discussed, highlighting the importance of social inclusion, respect for local cultural diversity and care for the environment. It concludes by emphasizing the advantages of an improvement in the teaching of architecture and urban planning courses, addressing this subject of computer-aided architecture and a possible incorporation of digital optimization and mass customization for use with the Brazilian construction industry. with emphasis on the importance of always promoting social inclusion and environmental care.

Keywords: Algorithms Aided Design, Building Information Modeling, Computer Aided Design, Digital Fabrication, Parametric Architecture.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 13

CAPÍTULO I – Arquitetura e design auxiliados por computadores 15

1.1– O início da computação e da Arquitetura e Design Auxiliados por Computadores 15

1.2 – Ivan Sutherland e o Sketchpad 19

1.3 - O Museu Guggenheim de Bilbao 22

1.4 Uma via de mão única 28

1.5 – Conclusão do capitulo I 31

CAPÍTULO II – Do concreto pré-moldado à arquitetura industrializada e a fabricação digital 33

2.1 O início da arquitetura industrializada com o concreto pré-moldado 33

2.2 Lelé e Niemeyer - Dois mestres da arquitetura industrializada 35

2.3 Arquitetura industrializada e a fabricação digital 38

2.4 Lelé e a arquitetura e fabricação digital 40

2.5 O último dos modernos 42

2.6 Conclusão do Capitulo II 45

CAPÍTULO 3 - O ser arquiteto e a arquitetura digital 46

3.1 - Design paramétrico, building information modeling (bim) e discrete architecture 46

3.2 - A gentrificação, a disneificação e a financeirização na arquitetura digital 50

3.3 – Conclusão do Capitulo III 53

Considerações finais 55

Referências 56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ARPA - Advanced Resarch Projects Agency

AI - Artificial Intelligence

APT - Automatically Programmed Tool

IAPB - Assistência e Previdência dos Bancários

BDS - Building Description System

BIM - Building Information Modeling

CAAD - Computer Aided Architectural Design

CAD - Computer Aided Design

CAM - Computer Aided Manufacturing

CEPLAN - Centro de Planejamento da Universidade de Brasília

CPM - Concreto Pré-moldado

CML – Concreto Moldado *in Loco*

CNC - Computer Numérico Control

CATIA - Computer Aided Three-dimensional Interactive Application

CTRS – Centro de Tecnologia da Rede Sarah

DISBRAVE - Distribuidora Brasileira de Veículos

ENIAC - Electronic Numerical Integrator and Computer

FAUUSP – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo

GSP - General Space Planner

GUI - Graphical User Interface

HCI - Human–Computer Interface

ICC - Instituto Central de Ciências

NSF - National Science Foundation

NURBS - Non-Uniform Rational B-splines

OOP - Object-Oriented Programming

PC - Personal Computer

UNB - Universidade Nacional de Brasília

INTRODUÇÃO

Com a inauguração em 1997 do Museu Guggenheim de Bilbao na Espanha, autoria do escritório de arquitetura *Gehry and Partners*, a construção de edifícios agrega curvas, ângulos e formas que apesar de já conhecidos do modo analógico de trabalhar, com pranchetas, compassos e réguas, não se resolviam com a mesma facilidade adquirida com o modo digital de projetar.

A simplificação de superfícies baseadas em *splines* ou *Non-Uniform Rational B-splines* (*NURBS)* somada a capacidade da fabricação digital e customização em massa modifica a execução de projetos e construções. Com esta pesquisa pretende-se conhecer e entender desde o início a tecnologia digital, de processamento de dados, de computadores, de algoritmos e *softwares* assim como essa onda digital se desenvolve para alcançar maior capacidade de armazenamento, de informação, mais velocidade de processamento e tornar-se acessível aos profissionais do *design*, arquitetura e engenharia.

Para entender esse processo definiu-se que o principal objetivo é identificar os vetores de influência do uso da arquitetura e fabricação digital, por meio do desenvolvimento de três ensaio teóricos. Propõe-se a conhecer o desenvolvimento da arquitetura industrializada brasileira, utilizando a experiencia dos arquitetos Lelé e Niemeyer; entender as dificuldades e potencialidades do uso desta tecnologia pelos arquitetos. Busca-se entender os fatores de influências quando se aplica o ensino do projeto arquitetônico e fabricação digital nas escolas de arquitetura e engenharia. Discute-se um ensino com inovações tecnológicas na construção de edifícios que gera crescimento na economia regional, mas com responsabilidades sociais, culturais e preservação do meio ambiente.

No primeiro ensaio, capítulo I, apresenta-se um breve resumo do surgimento dos primeiros computadores e do início das especulações e teorias de como seria a utilização dessas máquinas pela sociedade. Investiga-se a arquitetura auxiliado por computadores, termo que vem do inglês - *Computer Aided Design (CAD)*, tecnologia digital aplicada ao projeto de objetos e edifícios. Analisa-se a fabricação digital executada através do controle numérico computadorizado – *Computer Numérico Control (CNC)*, onde se permite a transferência de dados compilados de um *software* de modelagem tridimensional para uma máquina de corte, ou de subtração, ou adição de material e a manufatura auxiliada por computador - *Computer Aided Manufacturing (CAM)*. Destaca-se as vantagens de uma melhoria no ensino dos cursos de arquitetura e urbanismo abordando o tema arquitetura auxiliada por computadores e uma possível incorporação da otimização digital e da customização em massa para uso com a indústria da construção civil brasileira com destaque para a importância de se promover sempre a inclusão social e o cuidado ambiental.

No ensaio seguinte, capítulo II, trata-se do avanço técnico e científico da pré-moldagem na construção civil global que chega ao Brasil, pela construção pioneira de uma ponte em pré-moldagem e protensão do concreto armado, concluída entre 1945 e 1949. Entretanto, foi a demanda urgente por

infraestrutura na construção de Brasília, combinada com o apoio estatal, que impulsionou o interesse na pré-fabricação do concreto armado, inicialmente realizada exclusivamente nos canteiros de obras, sem os controles industriais modernos de qualidade e precisão típicos encontrados numa produção industrializada. Relata-se como a Arquitetura Industrializada se desenvolve no Brasil a partir daquelas construções pioneiras de pré-moldados, utilizando-se da experiência dos arquitetos Oscar Niemayer e João Filgueiras Lima, o Lelé. Ao finalizar, o Capítulo II traz uma contribuição com questões além do desenvolvimento tecnológico e inclui na prancheta o desenvolvimento social, cultural e preservação do meio ambiente.

No último ensaio, capítulo III, pretende-se discutir como o arquiteto ao realizar seus projetos e construções de maneira mais rápida e eficiente, utilizando-se de cálculos eletrônicos para diversas tarefas, se interage com as dificuldades e potencialidades deste avanço tecnológico. Questiona-se como com essa geometria arquitetônica e suas inovações tectônicas arquitetos interferem no espaço urbano, na arquitetura vernácula, na economia, na cultura local e no meio ambiente.

Adotou-se uma metodologia que se busca construir um processo Heurístico de desenvolvimento do conhecimento para uma pesquisa qualitativa em geral e na área do tema em particular. Investiga-se nos artigos científicos de publicações nacionais e internacionais conceituadas pela comunidade acadêmica de ensino superior universitário, toda a abordagem teórica e metodológica onde se sustenta esse trabalho. Utilizando-se das bases de dados disponíveis pelo site dos Periódicos da Capes, www.periodicos.capes.gov.br para realizar estas pesquisas. Adota-se os seguintes operadores booleanos; - arquitetura digital, arquitetura paramétrica, arquitetura industrializada, design auxiliado por computadores, tecnologia da edificação, fabricação digital. Também se utiliza dos operadores booleanos em inglês, digital architecture, computer-aided design, algorithms aided design, building information modeling e "*discrete architecture*", sendo que esse último deverá ser pesquisado apenas em inglês pois "*discrete*" trata-se de um termo que pode assumir significados diversos quando traduzido para o português.

Alguns autores foram selecionados por seu notório saber na área, além de terem diversos livros e artigos publicados sobre o tema que são: Branko Kolarevic, David Harvey, Jan Gehl e Mario Carpo, entre outros.

CAPÍTULO I – Arquitetura e design auxiliados por computadores

1.1 – O início da computação e da Arquitetura e Design Auxiliados por Computadores

Neste capítulo, se desenvolve o tema da arquitetura auxiliada por computadores e de como as ferramentas da arquitetura digital são um fato consumado e não se pode mais exercer as atividades profissionais de um arquiteto sem elas. Alguns aficionados a técnicas tradicionais e de uso recorrente podem duvidar ou não compreender esta inovação, mas a história nunca regride e a arquitetura digital e suas ferramentas são o presente e futuro para o profissional da arquitetura.

Carpo (2023) apresenta a origem dos computadores desde os primórdios dos anos 1940, Século XX, com o *Electronic Numerical Integrator And Computer (ENIAC)* de 1946, considerado o primeiro computador moderno a seguir o modelo proposto por Turner (1912-1954); um polímata britânico. Turner, influencia o desenvolvimento da ciência da computação teórica, formaliza conceitos como; - sequências programáveis, algoritmos além do 'Teste de Turing' que foi usado para determinar se um computador é capaz de inteligência artificial e assemelhar-se à humana. O ENIAC pesava 27 toneladas e ocupava uma área de 127 metros quadrados no prédio da Escola de Engenharia Elétrica da Universidade da Pensilvânia. Concebido durante os últimos anos da Segunda Guerra Mundial como parte do esforço bélico, tinha como propósito auxiliar em cálculos balísticos, realizando operações de adição, subtração, multiplicação e divisão a velocidades revolucionárias.

No ensaio de Sdegno (2016), explora-se o surgimento do projeto arquitetônico auxiliado por computadores o *Computer Aided Architectural Design (CAAD)*. Ele destaca a conexão entre o *CAAD* e o futuro da modelagem da informação da construção – o *Building Information Modeling* (*BIM).* Sistemas que o precederam, como o *General Space Planner (GSP),* contribui para a concepção inicial de um banco de dados computacional; desenvolvido para descrever geometricamente e espacialmente em termos de propriedades muitos elementos físicos dispostos no espaço e simular um edifício real. Em essência, o modelo proposto compara-se a um modelo de madeira balsa, porém com um nível de detalhamento muito superior. A formulação do *Building Description System (BDS)* registrada em setembro de 1974 no Instituto de Planejamento Físico da Universidade Carnegie Mellon marca o início de experimentações que culminam na definição da modelagem da informação da construção, o protocolo *BIM*; financiado pela *National Science Foundation* e pela *Advanced Resarch Projects Agency a ARPA,* uma agência governamental pertencente ao Ministério da Defesa dos Estados Unidos, como era comum na época. Neste relatório demonstra-se o potencial de um sistema integrado de controle das fases de um projeto, centrado em um modelo matemático/numérico que incorpora diversas informações, ampliando assim a capacidade do objeto de estudo. Com esse novo paradigma sugere-se uma mudança fundamental no papel do desenho, com a automação ganhando destaque na representação do modelo arquitetônico.

Posteriormente, a referida narrativa menciona a intenção de concentrar-se na geração automática de desenhos arquitetônicos de alta qualidade. Isso envolve a exploração de métodos automáticos de dimensionamento e a determinação automática de largura e estilo de linha. Em contraste com o desenho tradicional à mão com lápis ou tinta em papel, a visão desses pesquisadores é a de um processo de desenho dinâmico, flexível e paramétrico, que representa uma transformação na prática arquitetônica. No mesmo estudo, o autor Sdegno (2016), também menciona o ensaio *Man-Computer Symbiosis* de Joseph Licklider, de 1960, como um marco crítico na evolução dessas ideias.

Licklider (1960), tem seu estudo financiado pela Divisão de Ciências Comportamentais, Escritório de Pesquisa Científica da Força Aérea, Comando de Pesquisa e Desenvolvimento Aéreo, Contrato *Thiotigh* Nº AF-49 (638) -355, onde descreve uma simbiose homem-computador, uma parceria em que seres humanos e computadores trabalham em colaboração íntima, com a máquina contribuindo ativamente para o processo de pensamento. Ressalta-se que essa colaboração pode levar a avanços significativos para a humanidade, apesar dos desafios técnicos a serem superados e conclui-se com um relato sobre a dificuldade de dirigir uma batalha auxiliada por computador. Esta batalha, por exemplo, apresenta-se num cenário onde o planejamento ocorre ao longo de um cronograma de execução demorada, com o computador gastando a maior parte do tempo realizando cálculos digitalmente, mas quando entregues são em folhas com sequencias de números a serem interpretados analogicamente. Como resultado, se tem uma batalha encerrada antes mesmo de se ter o plano implementado. Sugere-se que a colaboração entre homem e computador deve ser comparável à colaboração com um colega, cujas habilidades se complementam. E para finalizar, afirma que para obter-se todo o potencial da simbiose homem-computador necessita-se estabelecer uma relação de trabalho mais intuitiva e colaborativa entre humanos e máquinas mais potentes, que as existentes naqueles dias.

Enquanto isso, Wiener (1970) relata como sua equipe de cientistas, impulsionados por um projeto de guerra sobre a autorregulação de apontadores de armas mirando aviões com trajetórias conhecidas ou previsíveis, inventou o termo cibernética para designar uma nova disciplina dedicada ao estudo holístico do *feedback* em todos os processos de comunicação e controle, sejam eles mecânicos ou biológicos. Nesta mesma narrativa enfatiza-se a semelhança entre as operações binárias dos computadores eletrônicos e a reatividade das células vivas dos sistemas nervosos, ou neurônios, que já eram conhecidas por operar de maneira tudo ou nada, ou em modo binário. Com isso, sugere uma correspondência mais profunda entre lógica matemática e neurofisiologia, justificando o estudo paralelo da computação em máquinas eletrônicas e das redes neurais em seres vivos.

Veloso (2009, p. 23) destaca que durante os anos 50 e 60, os contratos militares e o programa espacial representam um mercado essencial para a indústria eletrônica, tanto para as grandes empresas contratadas no setor bélico, localizadas ao sul da Califórnia (EUA), quanto para as inovadoras, recém-estabelecidas no Vale do Silício e na Inglaterra. Talvez elas não tivessem sobrevivido sem o

auxílio dos recursos financeiros disponibilizados e o mercado protegido do governo norte-americano, que quer recuperar a supremacia tecnológica sobre a União Soviética.

Para Requena (2007), a cibernética imprimiu ao "edifício-máquina" do movimento moderno uma dimensão humana, confirmando o princípio de se criar edifícios que respondessem às necessidades e expectativas das famílias. Consequentemente, foram criados edifícios flexíveis e versáteis com o objetivo de possibilitarem, independentemente da época, da necessidade ou do comportamento, que as pessoas pudessem formar e organizar, funcional e qualitativamente, seus próprios ambientes, mantê-los limpos e esteticamente agradáveis. Trata-se do período pós Segunda Guerra Mundial nos Estados Unidos, quando vários gadgets eletrônicos são usados para preencher os lares americanos e trazer de volta a mulher. Durante a guerra ela esteve ocupando postos na indústria como operárias e funcionárias de comando. O modelo americano, se espalhou pelo mundo, com suas máquinas maravilhosas de lavar, cozinhar, limpar, climatizar, se divertir e transformar o convívio familiar.

Claypool (2019) confirma que a cibernética inspirou arquitetos a realizar essas ideias de automação projetando espaços utópicos, durante as décadas de 1960 e 1970. Entre estes arquitetos, o mais conhecido é Cedric Price, um britânico visionário do século XX e seu trabalho inspirou uma geração posterior de arquitetos internacionalmente reconhecidos. O projeto não construído de Price com o ciberneticista Gordon Pask e a diretora de teatro Joan Littlewood, foi intitulado Fun Palace e originalmente concebido com a aspiração de se tornar um laboratório de diversão e uma universidade para as ruas do leste de Londres na década de 1960.

Incorporava-se uma estrutura flexível a espaços programáveis que poderiam mudar e se adaptar a diferentes necessidades e atividades. Incluía-se salas suspensas, pisos, paredes, tetos e passarelas móveis, além de um sistema de controle sensível à temperatura para criar climas diferentes e dispersar névoa ou ar quente. Embora nunca tenha sido construído, inspirou o Centro Pompidou de Richard Rogers e Renzo Piano em Paris. O design do Centro Pompidou é um diagrama espacial evolutivo que fornece um amplo espaço aberto que pode maximizar a flexibilidade e atender a diferentes atividades. Nesse espaço, as pessoas são livres para passear, contemplar obras de arte e as instalações do edifício. Tudo sem serem direcionadas para um caminho específico pela arquitetura. No seu interior uma pessoa pode se mover por seus próprios desejos e necessidades.

Veloso (2009, p. 23, 24) aponta que representando simultaneamente a consagração do edifício-máquina do modernismo e a viabilização das utopias dos anos 1960, Renzo Piano e Richard Rogers iniciaram o projeto do Centro Nacional de Arte e de Cultura George Pompidou, entre 1971 e 1977. A ser implantado na Place Beaubourg, em Paris, e projetado para ser uma instituição pública de cultura o edifício foi um marco para seu tempo e representou o primeiro grande indício de que novos caminhos estavam surgindo na arquitetura, tornando realidade as utopias dos anos de 1960.

Para olhar os edifícios como arquitetos, ressalta Carpo (2023); o que importa não é tanto o que se faz com as tecnologias digitais, mas o que não se faz sem elas. Este é o componente crítico da inovação. Apenas uma investigação sobre esse salto criativo pode ajudar a entender por que e como

as ferramentas digitais alterarão a arquitetura concebida e construída. Carpo (2019), cita como o único edifício que se inspira nestas visões cibernéticas, e merece atenção, foi o Centro Nacional de Arte e de Cultura George Pompidou, figura 01 a seguir**,** mas destaca que não possui partes móveis, exceto uma grande escada rolante e construído, no início da década de 1970, sem usar projetos auxiliados por computadores.

Figura 1. George Pompidou - Place Beaubourg em Paris – França

Fonte: Wikimedia Commons (2023)

Continuando com Carpo (2009), enquanto construía-se o Centro Pompidou, a cibernética dos anos 1970 e o otimismo tecnológico dos anos 60, corroídos pelas crises energéticas e pelas turbulências econômicas e políticas, são substituídos pela tecnofobia do pós-modernismo[1], e ao longo dos anos 1970, os termos Cibernética e *Artificial Intelligence (AI)* caí em desuso pois apesar das expectativas, não entregam resultados utilizáveis e os financiamentos, especialmente os militares secam, consequentemente os projetos de pesquisa são abandonados ou limitados.

Carpo (2019) relata que em 1970, previu-se que computadores em breve tornar-se-iam assistentes universais de *design*, permitindo que cada usuário final, cliente ou cidadão, projete quase tudo sozinho, sem a necessidade de qualquer mediação ou experiência em projetos arquitetônicos. Então substitui-se o arquiteto pelo computador e este torna-se o *designer*. Em 2023, carros autônomos têm um futuro promissor, mas a pesquisa sobre edifícios que se autoconstroem ainda não está em alta, destaque do autor deste artigo.

([1]) Pós-modernismo – Robert Charles Venturi (1925 – 2018), arquiteto norte americano, autor do livro "*Complexity and Contradiction in Architecture"* (1966), onde apresenta um breve manifesto no qual indica que são pós-modernos: - os objetos híbridos e contaminados, ambíguos, complexos, distorcidos, em vez de diretos, triviais ou articulados, igualmente tediosos e interessantes, tradicionais e inovadores, corretos e equivocados. Como numa paródia, Venturi diz: - "menos é um tédio" para rebater a frase "menos é mais" de Mies Van der Rohe, da rigidez formal e estética do modernismo.

Carpo (2019), então segue a sua análise da cibernética dos anos 1970 que procura tornar o edifício tão responsivo e interativo quanto uma página da *web*; um edifício configurável e empilhável, onde projeta-se com softwares avançados e mobiliza-se o poder da computação com a maior soma de capital disponível. Entretanto cria-se edifícios garagem, especialmente na América, que não mudam sua configuração original por décadas. Adota-se ferramentas digitais para projetar e fabricar, com tecnologia de última geração, apenas para tornar estes edifícios garagem mais baratos ou mais rápidos de construir, mas sem mudanças significativas para a arquitetura.

É Carpo (2023) quem narra como os tecnólogos e futurólogos das décadas de 1950 e 1960 antecipam uma revolução tecnológica impulsionada por computadores *mainframe* cada vez maiores e mais poderosos, mas pondera que quando a revolução da computação ocorreu, foi devido à proliferação de máquinas menores e baratas. Podia-se fazer pouco com esses novos computadores pessoais – *Personal Computer (PC),* mas encontram-se disponíveis para todos. O IBM PC, baseou-se no sistema operacional de disco da *Microsoft (MS-DOS)*, foi lançado em 1981, e o primeiro Macintosh de Steve Jobs, com sua interface gráfica de usuário, em 1984. O primeiro *software* AutoCAD acessível e executável em máquinas *MS-DOS* foi lançado pela *Autodesk* em dezembro de 1982, e até o final da década, com as estações de trabalho, já podiam-se manipular imagens relativamente pesadas, ricas em pixels e realistas.

É Natividade (2010) quem destaca que enquanto adota-se os PCs como um dispositivo de economia de custos, eficiente para arquivar, recuperar e editar projetos em um novo formato eletrônico, percebe-se que o computador também pode ser usado para criar, formas e geometrias que seriam difíceis ou talvez impossíveis de se fazer à mão.

1.2 – Ivan Sutherland e o Sketchpad

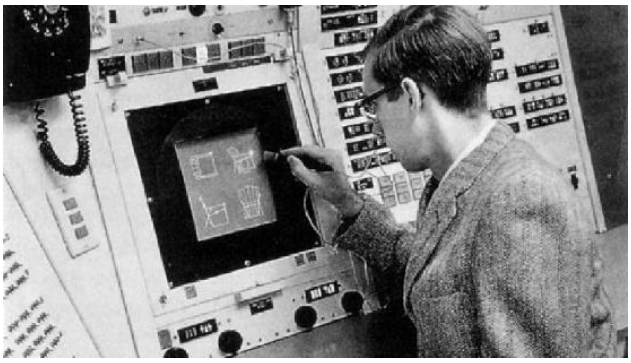
Fong (2001) aponta que Sutherland aceita o desafio da interação humano-computador - *Human–Computer Interface (HCI)* de Licklider, e seu *Sketchpad* foi o primeiro programa de gráficos por computador onde o usuário pode fazer desenhos na tela interativamente.

Para o projeto *Sketchpad*, Exército, Marinha e Força Aérea disponibilizam financiamentos e isto serve como um lembrete de que agências governamentais além da ARPA também apoiam a tecnologia de HCI. Além disso, essa pesquisa fornece a base para computadores com interfaces de usuário gráficas, ícones figurativos e displays bitmaps de alta resolução. Tais displays, interfaces e ícones, juntamente com janelas derivadas do Sketchpad e dispositivos de apontamento, são incorporados ao Xerox Alto[2]; e depois ao Apple e a Microsoft. Natividade (2010, p. 67 e 68) descreve o *Sketchpad* como:

([2]) Xerox *Palo Alto Research Center (PARC)* foi estabelecido em 1970, para dar continuidade ao desafio de criar um *Human–Computer Interface (HCI)* de Licklider. Décadas antes dos PCs da Apple e da Microsoft, o sistema operacional chamado de Alto criado neste centro de pesquisa, abria janelas para exibir o conteúdo de documentos, múltiplas

> "O Sketchpad era constituído por uma janela de 7" x 7", aproximadamente 17,78 x 17,18 cm com resolução de 1024 x 1024 pixels; uma caneta luminosa que fazia a interface apontando diretamente para a tela e uma caixa com cerca de 40 botões que correspondiam a comandos como por exemplo, *draw*, *move* ou *delete*. A plataforma do Sketchpad era o computador TX-2, construído em 1958. Essa máquina era construída com transistores, no lugar dos circuitos integrados presentes em computadores mais recentes. Ocupava o tamanho de uma sala e era capaz de guardar o equivalente a 272 bytes de informação, número impressionante para a época."

Figura 2 – Ivan Sutherland e o console do Sketchpad



Fonte: http://www.cl.cam.ac.uk/techreports/UCAM-CL-TR-574.PDF (2023)

Carpo (2019) afirma que os primeiros a usar computadores para fins de *design* não foram arquitetos nem *designers*, mas engenheiros mecânicos; a expressão *Computer Aided Design (CAD)*, foi adotada pela primeira vez em 1959 por um novo programa de pesquisa no Departamento de Engenharia Mecânica do MIT dedicado ao desenvolvimento de máquinas fresadoras controladas numericamente. Sutherland (1964) confirma a informação de Carpo (2019) e acrescenta que problemas geométricos auxiliados por computadores já se aplicavam ao *Automatically Programmed Tool (APT)* que controlava máquinas de fresagem complexas.

Quando entra em contato com o grupo de projeto assistido por computador, formado por pessoas do Laboratório de Sistemas Eletrônicos do MIT e do Departamento de Engenharia Mecânica, fica surpreso com a falta de trabalho prático na aplicação de computadores para desenhos com linhas, apesar da disponibilidade dos sistemas e das canetas luminosas. No entanto, teve a oportunidade única de explorar seus interesses, ao visitar vários laboratórios e receber conselhos de diferentes especialistas. Isso incluiu sugestões para resolução de problemas de *design* mecânico, orientação e *insights* sobre a representação de imagens pela equipe de Inteligência Artificial, entre outros temas relacionados ao desenvolvimento do seu trabalho.

Carpo (2019) explica que o *Sketchpad* futurístico de Ivan Sutherland permite a manipulação de diagramas geométricos elementares, seus desenhos inseridos com o toque de uma "caneta de luz" em uma tela interativa CRT, uma tela de TV, e a aparente magia da operação, causa sensação. A novidade do *Sketchpad* é ser um programa que permite a definição geométrica de objetos planos escalá-

---

janelas abertas ao mesmo tempo, sobrepostas e redimensionadas; documentos com texto e gráficos; janelas com barras de título, botões de comando clicáveis com um mouse e barras de rolagem.

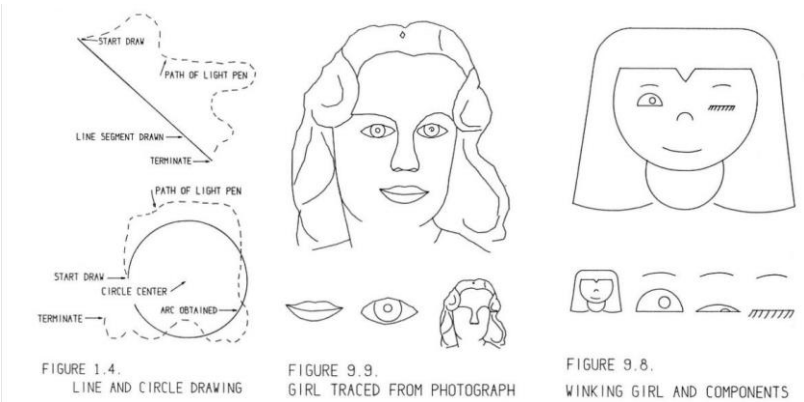
veis que podem ser cortados, colados e redimensionados. O programa mostrado em Cambridge Inglaterra em 1963, causa euforia, apesar da demonstração feita com *slides* e filme da máquina em funcionamento. Nenhum computador em Cambridge adequava-se para executar o *software* de Sutherland. Mesmo os computadores mainframe militares do MIT levavam horas para recalcular e mostrar cada diagrama individualmente, mas isso não apareceu nos *slides*, nem no filme.

Entretanto, o entusiasmo cibernético dos anos 60 não era sobre o que os computadores fazem, mas sobre a expectativa ou a promessa do que eles fariam - um dia no futuro. Natividade (2010, p 68) ressalta:

> "O Sketchpad de Sutherland foi pioneiro na noção de POO (*object-oriented programming/*programação orientada ao objeto), e na linguagem algorítmica aplicada ao desenho. Na programação orientada a objetos, implementa-se um conjunto de classes que definem os objetos presentes no sistema de software. Cada classe determina o comportamento (definido por algoritmos) e estados possíveis (parâmetros) de seus objetos, assim como o relacionamento com outros objetos. Sutherland apontou como uma das grandes capacidades desse sistema era a noção de regras de *constraints*/*restriction*. Elas foram definidas pelo autor como relações básicas que podiam ser estabelecidas entre partes do desenho construídas dentro do sistema. O usuário podia estabelecer regras para controlar as propriedades geométricas de objetos. As regras também podiam ser aplicadas entre objetos. As regras de restrição permitiam definir, por exemplo, que retas ficassem paralelas entre si ou tivessem o mesmo comprimento. "

Em Mitchell (1994) aborda-se que na prática, a divisão do trabalho entre *designers* humanos e máquinas, os programadores visuais humanos lidam com partes complexas e mal definidas, enquanto as máquinas cuidam das partes bem definidas e das tarefas pesadas. O sistema Sketchpad de Ivan Sutherland, apresenta-se integrado ao sistema CAD, que usa comandos e gestos interativos, e a máquina realizava tarefas de síntese de imagem para visualização, análise de engenharia, resolução de problemas e documentação como uma prancheta eletrônica. Na medida em que os benefícios decorrentes da automação dessas tarefas superam os custos de construção e manutenção de um modelo digital, essa abordagem funciona. A organização eficiente de bancos de dados e interfaces interativas também foi essencial, tornando-se a base de uma grande indústria de *software* CAD até os anos 1990.

Figura 3. Desenhos elaborados pelo Sketchpad



Fonte: http://www.cl.cam.ac.uk/techreports/UCAM-CL-TR-574.PDF (2023)

Sutherland (1964) nas conclusões de seu trabalho, *ARTISTIC DRAWINGS*, aponta que o *Sketchpad* não precisa ser aplicado apenas a desenhos de engenharia, e sugere criar *cartoons* ou desenhos animados (*WINKING GIRL AND COMPONENTS*), traçar linhas com a caneta luminosa sobre fotografias e assim definir contornos sobre estas (*GIRL TRACED FROM PHOTOGRAPH*), e preocupa-se com os trabalhos tridimensionais, além das linhas e círculos (*LINE AND CIRCLE DRAWING*). Na verdade, inicia o *Sketchpad Three*, que permitia ao usuário comunicar objetos sólidos ao computador. O desenho seria diretamente em três dimensões, desde o início e nenhuma representação bidimensional seria armazenada.

1.3 - O Museu Guggenheim de Bilbao

Discute-se com Carpo (2023), que ao longo das décadas de 1960 e 1970, não havia nada para arquitetos e *designers* fazerem com computadores, na prática diária de seu ofício. E nem mesmo comprar um computador era possível, devido ao alto investimento necessário. Imagens, quando traduzidas em números, se tornam arquivos grandes e isso é sempre um problema, mas naqueles anos era um obstáculo intransponível. Com a tecnofobia do pós-modernismo a maioria das ciber-teorias e sonhos de inteligência artificial cai no esquecimento para arquitetos.

Toda a parafernália de alta tecnologia das décadas de 1960 e início de 1970 simplesmente desaparece da cultura arquitetônica e das escolas de arquitetura ao redor do mundo, um apagão total da memória. Mas ao longo das décadas de 1970 e 1980, enquanto os arquitetos olham para outro lado as indústrias aeronáutica e automobilística adotam ferramentas de desenhos auxiliados por computadores, CAD e a fabricação digital com o controle numérico computadorizado, o *Computer Numérico Control* CNC. As *splines*, feitas à mão são conhecidas há séculos e são usadas para tornar mais eficientes o design dos cascos de barcos. Fabricantes de carros e aeronaves passam a usá-las, para fins aerodinâmicos semelhantes, mas com o auxílio de um software CAD; acessível e fácil de usar que torna a otimização aerodinâmica disponível a todos os *designers*, como uma ferramenta imprescindível. *Splines* matemáticas são funções contínuas e diferenciáveis e têm o poder de mudar a história das ideias sobre curvas e superfícies aerodinâmicas com a utilização prática do novo CAD, o CATIA[3], renomado *software* de modelagem por *splines* desenvolvido pelo fabricante francês de aeronaves Dassault. Natividade (2010, p. 157) em sua dissertação conta que: “[...]diferentemente de alguns con-

([3]) A Dassault Systémes SE em 1981, empresa da industria aeroespacial francesa, lança a primeira versão do CATIA - *software* 3D CAD (Computer Aided Design), CAM (Computer Aided Manufacturing), e Computer Aided Engineering (CAE) que foi inicialmente empregado na fabricação do Boing 777, mas ganha notoriedade no meio arquitetônico, também.

temporâneos como Eisenman, Gehry sempre declarou publicamente sua ojeriza aos computadores. O arquiteto nunca gostou de como a arquitetura aparece na tela dos programas."

Entretanto foi a sua obra que primeiro mais se beneficia dessa ferramenta, de sua metodologia de trabalho e passa a influenciar outros arquitetos a buscar as soluções ousadas que os computadores e o novo software CAD o CATIA oferece. Insatisfeito com a falta de clareza dos profissionais de seu escritório ao insistir em modos convencionais de representação de seus projetos, que não reproduziam suas intenções e a sua liberdade com as curvas e apesar da sua ojeriza aos computadores, Gehry contrata um especialista em projetos executivos, e conhecedor de programas CAD, Jim Glymph em 1989. E juntos passam a usar essas máquinas como ferramentas para construir formas com geometrias complexas. A primeira oportunidade para testar as novas ferramentas, computadores e programas CAD, veio com a participação na Vila Olímpica de Barcelona 1992, onde Frank Gehry projeta uma escultura em forma de um peixe para a entrada do Centro Comercial na praça central da vila.

Figura 4 – Barcelona e o Peixe de Frank Gehry,1992

Escultura implantada em Barcelona Modelo Digital

Fonte: Kolarevic (2003)

E Natividade (2010, p. 161) narra:

> "O desafio era grande: produzir uma forma tão complexa, em pouco tempo e com orçamento apertado. O projeto foi iniciado com croquis de Gehry que foram traduzidos em uma maquete de metal e madeira. Glymph contou com a ajuda de William Mitchell, então professor em Harvard. Juntos, desenvolveram omodelo digital do projeto no software *Alias.* "

Alcançam uma representação da forma aproximada ao desejo e a satisfação de Gehry, mas apesar do sucesso da representação, a ferramenta não é capaz de suportar a conexão com um sistema *Computer Aided Manufacturing (CAM)* para facilitar na execução e construção final do modelo, passo então fundamental para o sucesso do projeto. Glymph decidiu então pelo CATIA e abandona o Alias, pois este não oferece as ferramentas necessárias para dar continuidade aos trabalhos. Além disso, o CATIA facilita o processo de planificação de superfícies curvas, permitindo uma aproximação dos perfis da malha necessários para cobrir a superfície com precisão.

Então, o arquiteto canadense com nacionalidade estadunidense, Frank Gehry deve ser citado por seu pioneirismo no uso de *softwares CAD* para gerar as formas complexas propostas em seus projetos. Para a escultura em forma peixe no porto de Barcelona, sua equipe se adapta ao *software* CAD CATIA, usado para desenho de aeronaves a jatos, como auxiliar na produção arquitetônica.

Com a escultura de um peixe e o uso do novo software, pela primeira vez, as complexas curvas de Gehry emergem, de forma madura, a partir de um sistema digital. Enquanto torna-se um marco para a praia de Barcelona, a escultura em forma de peixe, também representa o início de uma nova época para edifícios com curvas complexas.

Mitchell (1999), para ilustrar a transformação orquestrada pela arquitetura digital que ocorre na indústria da construção civil, compara duas obras-primas arquitetônicas da segunda metade do século XX, a Sydney Opera House (1973), em Sydney na Australia de Jorn Utzon, e o Museu Guggenheim em Bilbao (1997), Espanha de Frank Gehry. Ambos são edifícios inovadores em seu tempo, cativam a imaginação do público e se tornam emblemáticos nas cidades onde são construídos.

Natividade (2010, p. 91) relata que:

> "Um dos exemplos mais notáveis dos anos 1960 a expor as limitações não só dos modos tradicionais de concepção e representação da arquitetura, mas também dos programas computacionais de cálculo da época foi o projeto da *Ópera de Sidney*. O edifício foi fruto de concurso internacional vencido pelo arquiteto dinamarquês Jørn Utzon em 1956. A construção extremamente complicada teve muitos percalços. Levou ao limite a tecnologia da casca de concreto conhecida até então e se deparou com a dificuldade de representação de formas curvas com as ferramentas disponíveis. A obra foi iniciada em 1957 e levou treze anos para ser concluída. "

De acordo com Mitchell (1999), a obra concluída carece do frescor original do projeto apresentado para concurso internacional em 1956, vencido por Utzon, que propôs abóbadas de concreto curvas que se assemelhavam às velas dos iates da Baia de Sydney. Primeiro, a empresa de engenharia londrina Ove Arup and Partners contratada para resolver os desafios estruturais das abóbadas teve dificuldades em definir matematicamente as formas e seguir o projeto original das abóbadas, portanto ao simplificá-las como patches triangulares em uma esfera, reduz o perfil da crista e as nervuras a arcos de circunferência para permitir a construção com elementos pré-fabricados repetitivos, com a alegação de economizar custos. Com a pressão da imprensa australiana, que cobra explicações pelos altos custos e atrasos na obra, além da troca de comando no governo estadual conservador, Utzon renuncia ao projeto em 1966. Só depois, vem a se reconciliar com a Fundação da Ópera de Sydney, nos anos 1990, e seu filho Jan, também arquiteto, assume a renovação do interior do edifício, que então passa a se aproximar do projeto original do pai.

Seguindo com a comparação proposta por Mitchell (1999), a história de Bilbao, quatro décadas depois, tem um começo semelhante, mas um desfecho positivo. Os primeiros esboços de Gehry para o museu próximo à Ponte de la Salve apresenta superfícies curvas de forma livre como as de Utzon.

Figura 5 – Sydney Opera House, Austrália e Bilbao Museu Guggenheim, Espanha

Fonte: Wikimedia Commons (2023)

No entanto, a modelagem e construção não são um problema. Gehry utiliza o CATIA que oferece uma ampla variedade de superfícies que podem ser usadas para modelar virtualmente qualquer forma desejada, como representação definitiva do projeto, substituindo desenhos convencionais. Para Kolarevic (2001), novas tecnologias baseadas em sistemas digitais, com levantamento eletrônico de peças e posicionamento a laser, está cada vez mais útil em canteiros de obras ao redor do mundo para determinar com precisão a localização dos componentes durante a construção.

Por exemplo, o Museu Guggenheim de Frank Gehry em Bilbao, construído sem o uso de fitas métricas, durante a sua fabricação, cada componente estrutural recebeu um código de barras amarrado aos nós de interseção das camadas adjacentes estruturais. No local, os códigos de barras são lidos para revelar as coordenadas de cada peça no modelo. Equipamentos de levantamento a laser conectados ao CATIA permitem que cada peça seja posicionada com precisão conforme definido pelo modelo digital armazenado no computador.

Processos semelhantes são práticas comuns na indústria aeroespacial, mas relativamente novas na construção civil. Mitchell (1999) finaliza sua comparação pontuando que na fase de projeto Gehry visualizava sua criação instantaneamente, usando o *software* para gerar modelos reduzidos com os dispositivos de prototipagem rápida, que fornecem dados para conferência das curvas propostas e as análises estruturais entre outros fins. Obtém-se análises mais precisas, devido ao avanço dos algoritmos e deste poder computacional disponível. Na fase de construção, o modelo digital controla os processos de fabricação CAD/CAM e permite a Gehry manter sua visão original, além de ter o edifício concluído dentro do orçamento e do cronograma e ser aclamado universalmente quando da inauguração em 1997.

Para Natividade (2010, p.146):

> "[...]Gehry é o primeiro arquiteto a obter com esse edifício de grande congruência analógico-digital, grande êxito de crítica e público. Um êxito que permite delegar a esse museu o papel de questionador sobre qual o papel que o espaço e as ferramentas digitais tiveram na sua concepção, articulação e construção. Autores importantes como Rivka Oxman (2006) e William Mitchell (2005), por exemplo, dividem a história das arquiteturas digitais em dois períodos claros: antes de Bilbao e depois de Bilbao. A complexidade formal pretendida pelo arquiteto justificou o emprego de ferramentas digitais extremamente sofisticadas. Por essa razão, a prática de Gehry é frequentemente associada à tecnologia digital de ponta e processos de fabricação com CAD/ CAM. Basta o rápido olhar sobre o museu de Bilbao para perceber que formas tão com-

> plexas dificilmente poderiam ser imaginadas e construídas sem ferramentas tecnológicas poderosas. Com efeito, foi esse projeto que tornou famoso no meio arquitetônico o Catia, software desenvolvido pela empresa francesa *Dessault Systems* para a construção dos aviões[...]"

Kolarevic (2001) descreve como o empreiteiro utiliza o *software* da Alemanha, chamado *Bocad* que gera automaticamente um modelo digital abrangente do aço estrutural, incluindo as estruturas secundárias e as treliças. Mais importante ainda, o mesmo programa foi utilizado para produzir automaticamente os desenhos de fabricação ou os dados CNC para cortar e pré-montar precisamente os vários componentes. Para Mitchell (1999), Bilbao ilustra uma profunda transformação no pensamento arquitetônico e na prática da construção, a maior mudança desde a Revolução Industrial.

A substituição de desenhos feitos à mão por modelos CAD 3D com visualizações de computadores, elimina antigas restrições na geometria arquitetônica e permite o surgimento de nova linguagem e formas. Usa algoritmos de análise e simulações sofisticadas, bem como cálculos precisos que aproveitam o poder computacional abundante que permite compreender e prever o comportamento dessas novas formas. Complementa-se, com a customização em massa CAD/CAM, contribuindo para a fabricação rápida, precisa e econômica de várias peças únicas que substitui a produção em massa da era industrial. Para os arquitetos, a lacuna entre o imaginável e o viável foi drasticamente reduzida.

Natividade (2018) faz uma descrição resumida dos trabalhos desenvolvidos pelo escritório Gehry and Partners, desde quando vence o Concurso para o Museu Guggenheim de Bilbao realizado em 1991. A apresentação de uma maquete e desenhos convencionais, tais como plantas baixas, cortes, e fachadas aquareladas a mão, para cumprir os protocolos legais junto a prefeitura de Bilbao, já foram extraídos do modelo digital. A adoção dessa nova ferramenta veio com a geometria analítica e diferencial para representar numericamente componentes da construção. Substituir a geometria descritiva e projeções ortogonais depois de cinco séculos de hegemonia. Celani (2018, p. 1) costuma dizer aos alunos que:

> "[...]podem amar ou odiar o Guggenheim de Bilbao, isso não importa muito, mas não podem ignorar que esse edifício marca a aplicação em larga escala, na arquitetura, de técnicas de produção ligadas à terceira revolução industrial. "

Segue imagens com detalhes do interior e exterior do Museu Guggenheim de Bilbao com fotos gentilmente cedidas por Moraes. Na primeira linha, figura 6, uma foto do exterior para a entrada principal do museu e depois do átrio central, com 50 metros de altura que lembra uma flor cheia de curvas e de onde partem passarelas para os três níveis do Museu.

Figura 6 – Imagens da entrada principal e do Átrio Central Museu Guggenheim de Bilbao, Espanha

Fonte: Lucia Moraes (2020)

Em seguida, fotos de duas esculturas expostas na área externa. A primeira, figura 7, uma curiosa escultura, é Puppy o cachorro de flores, do artista e escultor norte americano Jeff Koons, um cachorro da raça Highland Terrier, florido, que virou símbolo da cidade e onde todos param para fazer as fotos de recordação. A estrutura da escultura é de aço inoxidável e argila. Possui uma irrigação interna para manter as 70 mil flores que decoram a escultura de 16 metros e 15 mil toneladas. O Puppy muda de cor, de acordo com o desenvolvimento e substituição das flores, que são renovadas duas vezes por ano.

Figura 7 – Imagem do Puppy

Fonte: Lucia Moraes (2020)

A segunda, figura 8, é *Tall Tree and the Eye* ou Árvore Alta e o Olho do escultor indiano e britânico Anish Kapoor. Consiste em 73 esferas reflexivas ancoradas ao redor de três eixos, obra ilusionista, dá continuidade à exploração do artista de complexos princípios matemáticos e estruturais incorporados na forma escultural. As superfícies espelhadas das esferas refletem e refratam umas às outras, criando e dissolvendo simultaneamente forma e espaço. Imagens da cidade circundante, incluindo o rio Nervión, a intervenção escultural de Buren na Ponte La Salve e o próprio museu, são lançadas em suspensão dinâmica. Com esta obra, Kapoor nos lembra da instabilidade e efemeridade de nossa visão - e por extensão, do nosso mundo.

Figura 8 – Imagem do *Tall Tree and the Eye*

Fonte: Lucia Moraes (2020)

Arantes (2007) relata que a cidade de Bilbao passou por um período de decadência devido à desindustrialização e teve na construção do Museu Guggenheim uma opção de requalificação urbana que passou a ser um exemplo deste tipo de intervenção, copiado por outras cidades do mundo. O diretor da Fundação Guggenheim convenceu o prefeito da cidade a construir um museu projetado por arquiteto de renome internacional como Frank Gehry. O museu se tornou um ícone da cidade, atraindo turistas e aumentando a oferta cultural, mas apesar do avanço tecnológico e a quebra de vários paradigmas para os processos de projetação e construção de edificações é preciso pensar na reversão do processo de deterioração da cidade, ainda sem ser avaliada. Argumenta-se que a situação não foi tão positiva como parece. Destaca-se a falta de participação da população no conselho responsável pelo plano, bem como a escassez de moradias para a população com baixa renda.

Além disso, com a gentrificação do antigo bairro, que abriga o moderno museu, faltou a requalificação da cidade, pois está agora convive com o crescente processo de periferização da população sem o acesso a moradia, algo novo no cenário de Bilbao.

1.4. Uma via de mão única

Kolarevic (2001) aponta para o fato de que as superfícies contínuas e curvilíneas são destaque na arquitetura contemporânea e trouxeram à tona a questão de como trabalhar formas espaciais não euclidianas. Para muitos arquitetos, treinados nas certezas da geometria euclidiana, é a construtibilidade destas formas, que desperta dúvidas e falta de credibilidade na execução, na viabilidade tectônica destas formas espaciais complexas introduzidas pela vanguarda da arquitetura digital. No entanto, argumenta Kolarevic (2001) que o fato de as geometrias topológicas serem precisamente descritas como Superfícies B-Spline Racionais Não-Uniformes ou simplesmente NURBS, e computacionalmente possíveis, também significa que sua construção é perfeitamente viável por meio de processos de fabricação controlados numericamente por computador (CNC), como corte, fabricação subtrativa, aditiva, entre outros processos.

Afirma (Silva et all, 2009), que recursos computacionais permitem a fabricação computadorizada de artefatos, a partir de desenhos e modelos virtuais. Têm sido utilizados rotineiramente pelas indústrias aeronáutica e automobilística há vários anos. Estes recursos digitais, se incorporados ao processo de produção do espaço edificado, possibilitam uma mudança fundamental de paradigma na arquitetura contemporânea. A indústria da construção tem se baseado, até agora, na produção em massa de componentes padronizados. Os elementos são produzidos como material genérico que será personalizado mais tarde em outra fase da vida do produto.

(Silva et all, 2009, p. 1) acredita 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, à falta de formação e treinamento formal no contexto do ensino de projeto de arquitetura e à falta de ligações mais próximas entre escolas de arquitetura e a indústria da construção civil."

Celani (2018) destaca que a arquitetura e o urbanismo brasileiro vivem momentos de glória desde o século XX até o início do XXI. Cria cidades planejadas como Goiânia na década de 1930, Brasília 1950 e Palmas 1980 onde não havia nada, seus edifícios são expostos como obras de arte em museus e dois arquitetos brasileiros, Oscar Niemeyer em 1988 e Paulo Mendes da Rocha em 2006, receberam o prêmio Pritzker, a maior distinção na área, como destaques deste autor. O Brasil é visto, durante esse período, como um país do futuro. No entanto, apesar dessa fama boa por um lado, por outro cria uma certa acomodação por parte de nossos arquitetos. É muito mais fácil repetir a fórmula que sempre deu certo a pensar em novas possibilidades. Essa atitude adotada na prática profissional e no ensino tem como resultado a chegada ao início do século XXI como um país de arquitetura nostálgica e ensino tradicional.

(Natividade et all, 2018, p. 28) adverte aos arquitetos:

> "Como é possível assegurar a sua posição no campo da construção civil em crescente domínio tecnológico digital? Como concentrar esforços tecnológicos no sentido de garantir projeto e construção de alta qualidade e não apenas na produtividade operacional? Certamente não é ignorando as tecnologias e muito menos sua intrínseca relação com as formas de representação emergentes. Computadores não precisam de teorias, nós sim. Assim como Alan Turing declarou em 1950, vamos preservar para nós o que fazemos de melhor e deixar a máquina brilhar onde ela é mais potente."

Para a construção da Arena das Dunas[4], em Natal, Rio Grande do Norte - para a Copa do Mundo de 2014, relata Celani (2018) importa-se da Alemanha partes da cobertura metálica com dupla curvatura, pois acreditava-se que no Brasil não teria equipamentos para executar tais peças, Figura 9. Entretanto, estes equipamentos estão disponíveis e é comum que não se saiba de sua existência.

(4) Arena das Dunas foi projetada pela empresa internacional Populous fundada em 1983, Kansas City, Missouri, EUA, especializada em arquitetura de ginásios e estádios de desportos, que teve o arquiteto Christopher Lee com diretor do projeto e responsável pela direção do design e decisões estratégicas. Site oficial da populous.com (2023)

Um outro exemplo citado por Celani (2018) é a construção da Arena da Amazônia[5], em Manaus, Amazônia - para a mesma Copa do Mundo de 2014, Figura 10, cuja estrutura metálica, cortada a plasma, foi também importada da Alemanha, embora pudesse ser produzida no Brasil, provavelmente porque os arquitetos alemães não conheciam o parque industrial disponível no país.

Figura 9 – Arena das Dunas – Natal RN

Fonte: Wikimedia Commons (2023)

Figura 10 – Arena da Amazônia – Manaus AM

Fonte: Wikimedia Commons (2023)

Para Celani (2018), apesar das tentativas, por parte de alguns escritórios, em adotar programas baseados em sistemas BIM, para agilizar o trabalho cotidiano nos escritórios e criar padrões de usos domésticos, ainda estamos estagnados naquele passado de glórias. Estas arenas construídas para a Copa, realizadas no Brasil, foram projetadas por escritórios de arquitetura estrangeiros, com um *know–how* muito superior ao dos brasileiros em termos de uso das novas tecnologias, não trouxeram nada para acrescentar na discussão sobre tecnologia e arquitetura no Brasil.

E prosseguindo com Silva (2020, p. 276), analisa-se a pós-implantação das arenas da copa 2014, como são construídas e como devem ser feitas as manutenções e usos das mesmas conforme as exigências prescritas pelo padrão FIFA de qualidades para as instalações esportivas em seus eventos.

> "A Arena da Amazônia, por exemplo, um dos projetos da Copa de 2014, equipamento esportivo que custou R$ 600 milhões aos cofres públicos, com a maior parte financiada através do BNDES e o restante pago pelos governos locais. Ele foi implantado onde existia o Estádio Vivaldão, protagonizando polêmicas, em virtude do patrimônio arquitetônico agredido pela demolição quase total da edificação anterior. Fora isso, ainda existiam outros pontos que levantaram contradições, como o superdimensionamento da construção e os números de lugares para expectadores, além das críticas sempre justificadas pela falta de expressividade do futebol no estado e a baixa participação dos clubes do norte em visibilidades do esporte, tanto em disputas regionais como nas nacionais."

No caso da Arena das Dunas na capital potiguar, outra a ser considerado no rol dos acontecimentos para a Copa do Mundo 2014, explica Silva (2020, p. 288) que "[...] o empreendimento pensa-

---

([5]) Arena da Amazônia foi projetada por Ralf Amann, engenheiro-arquiteto alemão radicado no Rio de Janeiro (RJ), membro do escritório alemão GMP, conhecido por obras como o Ninho de Pássaro, estádio símbolo dos Jogos Olímpicos de Pequim, na China. https://pt.wikipedia.org/wiki/Arena_da_Amazonia(2023)

do com o custo de R$ 413 milhões no final da execução, custou R$ 400 milhões, com praticamente todo o valor financiado via BNDES, R$ 396,6 milhões, e os outros R$ 3,4 milhões pagos pelos governos locais." E conclui que essa economia pode ser muito significativa, pois revela-se a possibilidade de poder se manter orçamentos coerentes com as previsões feitas no início dos projetos e obras. Entretanto a pós-implantação revela seus problemas:

> De outro lado, a cidade vive com o impasse sobre a dimensão do equipamento, no meio da cidade e a maneira como mantê-lo, visto que os custos são elevados e a sua gestão é muito complexa. Tais questionamentos se intensificaram porque em 2015, quase um ano após a Copa de 2014, a média de público nos eventos e jogos era de 9 mil pessoas, muito abaixo da sua capacidade e da necessidade para seu custeio. Silva (2020, p. 289)

Com o trabalho de Silva (2020), os Megaeventos Esportivos no Brasil, suas infraestruturas urbanas e seus rebatimentos nas cidades sedes, analisa-se a pós-implantação de equipamentos urbanos, legados e benefícios que um megaevento esportivo pode deixar, assim como os prejuízos, também. Trata-se de uma análise desprendida de qualquer pré-julgamento, onde não se pode tomar partido por qualquer lado dos personagens envolvidos, seja o resultado positivo ou negativo. Os resultados quando se aplicam podem ser para melhorias duradouras ou problemas por muitos anos.

1.5 – CONCLUSÃO DO CAPÍTULO I

No início, para o desenvolvimento da tecnologia de dados, os financiamentos disponibilizados pelas Agências do governo americano estão presentes nas universidades, onde cria-se laboratórios de computação de dados e centros de pesquisas tecnológicos. No entanto, depois deste início vê-se que são os setores da sociedade civil que dão sequência ao desenvolvimento da tecnologia de dados.

Setores da sociedade civil, tais como os primeiros fabricantes dos *Personal Computer*, os *PCs*, que num claro movimento em direção a um maior número de possíveis consumidores domésticos ou pequenas empresas, lançam no mercado computadores com interfaces amigáveis e acessíveis além de viáveis economicamente. Importante ressaltar que as indústrias anteriores, só se preocupa com os computadores de grande porte e com os financiamentos das Agências do governo americano.

As pesquisas desenvolvidas nos laboratórios financiados pelo governo americano sofrerem com o pouco desempenho, a baixa qualidade dos resultados apresentados, além da crise econômica e ter seus trabalhos paralisados nas indústrias aeronáuticas e automobilísticas dissemina-se o uso de tecnologia para o design digital e cria-se o software CATIA. A arquitetura e *design* auxiliados por computadores se aproveita deste novo software CATIA e promovem transformações na construção civil executar e a inaugurar o Museu Guggenheim de Bilbao em 1997, de autoria do arquiteto americano Frank Gehry.

A fabricação digital com customização em massa ao desmontar paradigmas no modo de projetar e construir, alguns estabelecidos a séculos, aponta para outra Geometria Arquitetônica. O caminho é uma via de mão única, não tem como se caminhar para a frente olhando pelo espelho retrovisor. A sua divulgação e entendimento deve-se ser perseguida insistentemente pelas escolas de arqui-

tetura, urbanismo e engenharia, já que sua implantação em escala internacional é uma realidade. A falta dela no projeto e construção de edificações no Brasil deve-se à falta de formação e treinamento no ensino de arquitetura e engenharia, à falta de ligações mais próximas entre escolas e a indústria da construção civil. Não se pode ficar de fora desta inovação tecnológica quando se quer ter qualidade de vida, com desenvolvimento social, econômico, ambiental e cultural responsáveis.

CAPÍTULO II – Do concreto pré-moldado para a arquitetura industrializada e a fabricação digital

2.1 O INÍCIO DA ARQUITETURA INDUSTRIALIZADA NO BRASIL COM O CONCRETO PRÉ-MOLDADO

Neste segundo capítulo explora-se a arquitetura industrializada, tecnologia brasileira, um novo modelo de prática profissional, obra desenvolvida utilizando-se da experiência de Niemeyer e Lelé com a construção pré-moldada no início de Brasília. Uma obra além dos modismos, dos jogos geométricos e combinações aleatórias de algoritmos. A sua trajetória constitui-se de uma prática profissional emancipadora junto com todos aqueles envolvidos no ato de construir.

Segundo Bahima (2022) o avanço técnico e científico da pré-moldagem na construção civil global chegou ao Brasil pela construção da ponte que liga a cidade do Rio de Janeiro, no continente, com a Ilha do Governador onde está o aeroporto do Galeão, Aeroporto Internacional Antônio Carlos Jobim. Foi uma construção pioneira em pré-moldagem e protensão do concreto armado concluída entre 1945 e 1949. Entretanto, foi a demanda urgente por infraestrutura na construção de Brasília, combinada com o apoio estatal, que vem impulsionar o interesse na pré-fabricação do concreto armado, inicialmente realizada exclusivamente nos canteiros de obras, sem os controles industriais modernos. O concreto pré-moldado (CPM) se distingue do concreto armado tradicional ou concreto moldado *in loco* (CML), por ser produzido como elementos acabados. Essa abordagem aumenta significativamente suas características físicas, incluindo o aumento da resistência mecânica e à corrosão, acabamento de superfície com melhor aderência da massa de concreto, eliminando as incertezas associadas à construção tradicional. Essa mudança acrescenta um controle de qualidade e precisão típicos encontrados numa produção industrializada.

O arquiteto que mais influência tem no desenvolvimento da tecnologia para uma arquitetura industrializada no Brasil é João da Gama Filgueiras Lima (1932 – 2014), conhecido por Lelé [...] "apelido que vem das peladas que organizava no colégio onde jogava na mesma posição do ídolo do Vasco da Gama" [...]. (Lima, 2004, p.15). Através dos registros, de seus depoimentos dados a Cynara Menezes (2004), pode-se acompanhar Lelé desde o começo do sistema de construção com concreto pré-moldado que depois avança na arquitetura industrializada com a utilização da argamassa armada e das estruturas metálicas. É possível ter uma compreensão o processo e do desenvolvimento da implantação destas tecnologias, por meio da fala do próprio:

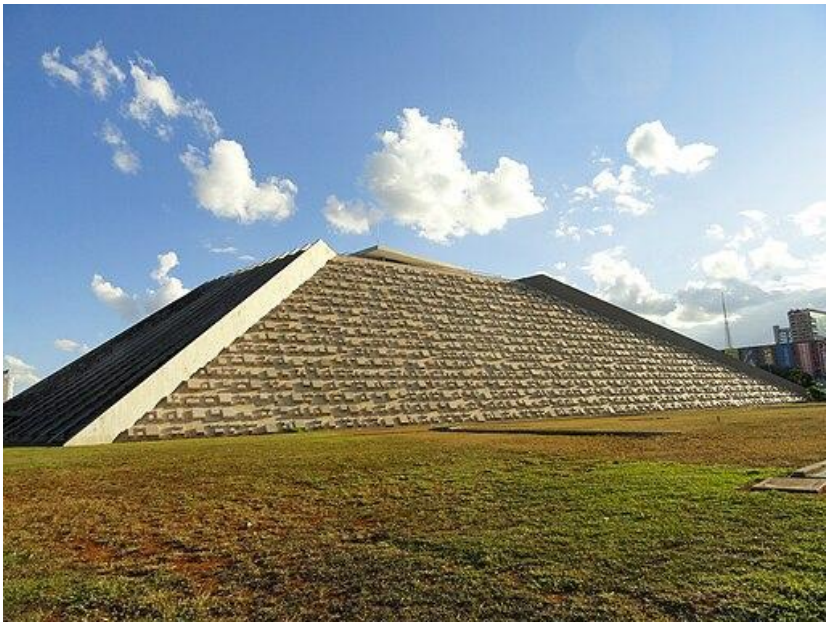
> "Havia ainda alguns sistemas franceses de construção industrializada, porque a Europa de modo geral teve que se recuperar da guerra por meio de construções e sistemas pré-fabricados. Os EUA já haviam iniciado a industrialização, mas como tinham mais facilidades com o aço, se basearam no uso do metal. Na Europa, era o uso do concreto. Daí a aproximação maior que tinha conosco, porque nessa época nossa construção em aço era muito precária" (Lima, 2004, p.54).

A pré-fabricação, na França, através do sistema Camus, foi difundida em toda a Europa, de acordo com Marques (2012). O sistema desenvolvido pela empresa Raymond Camus em 1953, compõe-se da utilização de painéis em concreto pré-fabricados, nos quais já estão incorporadas janelas, portas, instalações hidráulicas e elétricas, em fabricas distantes do local da obra. Esses painéis são transportados e montados no canteiro de obras por meio de grandes gruas, unidos para formar uma estrutura monolítica. As paredes externas e portantes, com cerca de 14cm de espessura e peso de até seis toneladas, tornam esta técnica de pré-moldagem numa construção de painéis modulares em espaços estruturalmente limitados e com a flexibilidade do sistema comprometida, devido ao peso dos componentes em concreto armado.

Já no Brasil, Brasília torna-se pioneira, com duas obras monumentais, em construções industrializadas de concreto pré-moldado, com uma abordagem que privilegia espaços amplos e livres, aproveitando a técnica mista e as condições climáticas favoráveis à pré-fabricação diretamente no canteiro de obras, sem a necessidade de uma fábrica e nem gastos com transportes de grandes peças pesadas, como relata Bahima (2022). Primeiro, constrói-se a Plataforma Rodoviária, concebida por Lucio Costa com a expertise estrutural do engenheiro Bruno Contarini, inspirada em projetos viários como a Ponte do Galeão, citada acima. Essa plataforma serviu como campo de aprimoramento para a execução de grandes peças pré-moldadas e protendidas, destacando-se elementos típicos da construção pesada, como viadutos e pontes. A estrutura combinou concreto armado convencional nos muros de contenção com o emprego de oito pórticos tri-apoiados em concreto moldado in loco.

Em seguida é o Teatro Nacional Claudio Santoro, figura 11, projetado por Oscar Niemeyer e com a colaboração técnica do mesmo engenheiro Bruno Contarini.

Figura 11 – Teatro Nacional Claudio Santoro – Brasília DF



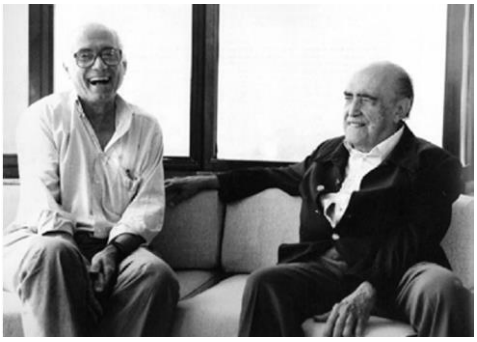
Fonte: Wikimedia Commons (2012)

Neste projeto, Bahima (2022) explica que o uso combinado de concreto pré-moldado permitiu acelerar a construção de partes fundamentais. A experiência prévia de Contarini na Plataforma Rodoviária veio garantir a concepção e execução da obra dentro do prazo. Dessa forma, as grandes vigas de cobertura e a estrutura que suporta os painéis decorativos em concreto, do artista plástico Athos Bulcão, na fachada exterior do edifício, foram realizadas utilizando peças em concreto pré-moldado, fabricados no canteiro de obras. Com o uso da protensão do concreto armado, derivada das construções de pontes e viadutos, calculados por Bruno Contarini, a pré-moldagem à brasileira procura tirar o melhor da técnica mista e das condições de uma pré-fabricação, sem fábrica. Por não depender de transporte, pode trabalhar com peças de maior peso e dimensões o que possibilitou uma investigação formal/estrutural que não tem equivalente quando as peças são produzidas em uma usina. As formações de base dos profissionais envolvidos têm em comum as relações já previamente estabelecidas com a técnica tradicional do concreto armado. Isso acontece pela consistente formação de cada um e, principalmente, pela difusão da obra de Oscar Niemeyer – o mais experiente do grupo.

2.2 LELÉ E NIEMEYER - DOIS MESTRES DA ARQUITETURA INDUSTRIALIZADA

Foi a intensa experiência de canteiro em Brasília que acabou moldando o perfil profissional de Lelé, afirma Paz (2014) em seu artigo sobre o homem que domou a fábrica. Atuando como arquiteto do Instituto de Assistência e Previdência dos Bancários (IAPB), na obra de onze blocos das superquadras 108 e 109 na Asa Sul, providencia um acampamento para alojar dois mil operários, com dormitórios, refeitórios, lavanderia e espaço para o lazer, como os bailes noturnos onde toca sanfona. Este acampamento foi industrializado, com peças de madeira, que por vezes chegavam de avião, na medida correta para a montagem. Esta industrialização se fez necessária pela falta de lojas de material de construção nas redondezas, a mais próxima estava a cinco dias de viajem. Nesta mesma obra, resolve pela adoção do sistema de pré-fabricação para as peças de concreto, moldadas no próprio canteiro de obras, para a execução dos onze prédios, projeto de Oscar Niemeyer, todos idênticos, cópias de um mesmo modelo, o que permite a repetição e a industrialização. Ali, Lelé também, ampliou seu convívio com Niemeyer e consolidou laços de amizade com aquele que considera o maior artista do século, figura 12, a seguir.

Figura 12 – Lelé e Niemeyer – Rio de Janeiro RJ



Fonte: Freitas (2000)

A recíproca no reconhecimento da sua capacidade como profissional, pelo seu mestre, pode se confirmar no depoimento de Lelé, transcrito abaixo, quando fala da sua contratação para participar da equipe de Darcy e Oscar na CEPLAN da UNB:

> "Depois da construção de Brasília, quando tive meu primeiro contato com arquitetura industrializada, fui para o Centro de Planejamento (CEPLAN) da UNB, em 1962, a convite de Darcy Ribeiro, com Oscar. Ele me estimulou a criar lá um centro de tecnologia que seria usado pela universidade, e Darcy logo se tornou um entusiasta da ideia. Comecei já como professor associado, embora muito jovem, tinha 30 anos. Galguei dois postos: era responsável pela pós-graduação em arquitetura e pelo curso de técnica e tecnologia da construção. Foi Oscar quem sugeriu; - Negócio de técnica é com o Lelé." (Lima, 2004, p.51)

A Universidade Nacional de Brasília - UnB, durante o reitorado de Darcy Ribeiro, em 1962, no Centro de Planejamento da Universidade de Brasília (CEPLAN), criada para supervisionar o projeto e a construção da própria Universidade, com um foco em pesquisa científica e construção industrializada, tem Oscar Niemeyer a frente desse empreendimento. Este chama Lelé para assumir o cargo de secretário executivo, reconhecendo sua experiência em pré-moldagem. Além disso, Lelé coordena o curso de pós-graduação e é responsável pelo curso de técnica de construção, incluindo pré-fabricação, do novo curso de Arquitetura da Universidade. Como resultados, descreve Paz (2014), temos como obras de Oscar Niemeyer, com detalhamento e execução de Lelé; o escritório do Centro de Planejamento em 1962, o Instituto Central de Ciências (ICC) entre 1963 e 1971, o Instituto de Teologia em 1962. Além disso, Lelé também projetou e concretizou o Galpão de Serviços Gerais em 1962 e o Edifício de Apartamentos para Professores, na Colina em1962, figura 13, a seguir.

Figura 13 – Edifício de apartamentos para professores – Brasília DF

Fonte: Universidade de Brasília. Arquivo Central. AtoM UnB.

A influência de Oscar Niemeyer na trajetória de Lelé e na pré-fabricação no Brasil não pode ser subestimada. Niemeyer trouxe para cena brasileira, e para o jovem Lelé, o debate europeu sobre o tema, destacando a preocupação e a importância da industrialização da arquitetura entre os modernis-

tas, na opinião desse autor. Entretanto, após este período, acontece uma ruptura e cada um segue caminhos distintos, como nos diz Lelé:

> "A arquitetura de Oscar Niemeyer é feita com mais liberdade que a minha, porque usa concreto, não a repetição, que é a base de uma arquitetura industrializada. A técnica do concreto indicava o uso plástico do material, despertando melhor o senso criativo do profissional do que uma técnica industrializada" (Lima, 2004, p.48 49)

Observando as obras de Niemeyer, conforme Marques (2012) descreve, é evidente que o arquiteto, ao longo de sua trajetória, concebeu e ergueu estruturas significativas com base em métodos de pré-fabricação, tanto no exterior quanto no Brasil. No exterior, destacam-se a Universidade de Constantine, em Argel, Argélia (1969-1972), e a Sede da Fata-European Group, em Pianezza, Turim, Itália (1974-1975). No Brasil, o Ministério do Exército em Brasília, DF (1967), na Universidade de Brasília (UnB), além do icônico prédio principal, conhecido como Minhocão, Niemeyer propôs a construção de um edifício residencial para estudantes, mas não executado. No sistema construtivo deste edifício residencial para estudantes, utiliza células pré-fabricadas empilháveis, montadas por gruas; onde entretanto, durante o período entre 1980 a 2000, Niemeyer afasta-se das questões relacionadas à industrialização da arquitetura, assumindo uma postura que prioriza a criatividade, menos preocupado com aspectos técnicos construtivos. Para ele, a racionalização e a industrialização dependem da demanda, e passa a adotar como premissa um caráter único em suas últimas obras.

Lelé não foi conduzido pelas circunstâncias, nem adotou a pré-fabricação como uma resposta automática aos desafios que enfrentava, como pode ser visto com Marques (2012), num contraponto com as obras destes dois mestres da arquitetura brasileira. Embora possa ter sido o caso no início, por causa dos prazos curtos para as construções do início de Brasília, exemplos posteriores contradizem essa ideia, em projetos como a Sede da Distribuidora Brasileira de Veículos (DISBRAVE) de 1965, a Sede do Planalto de Automóveis de 1972, os Edifícios da Camargo Correia de 1974 e o Centro de Pesquisas Agropecuárias do Cerrado de 1978.

Usa-se a pré-fabricação além de ser uma oportunidade para dar continuidade a experimentação. Sua trajetória foi moldada por essa abordagem, onde a pré-fabricação era uma escolha consciente, como se evidencia nos projetos de Abadiânia (1982-84) e do CTRS – Centro de Tecnologia da Rede Sarah (1992-2002), onde ele foi um dos coautores da iniciativa e participou ativamente da definição de seus termos fundacionais. Lelé ao utilizar-se a pré-fabricação, movimenta-se em um terreno, dentro da construção civil com a arquitetura industrializada que não tinha a preocupação exclusiva com ganhos de capital; Lelé não se sujeita aos modismos e aos gostos do público consumidor de incorporadoras imobiliárias. Sua obra compõe-se de edifícios institucionais hospitalares e como exemplo temos as várias unidades da Rede de Hospitais SARAH. Os projetos residenciais são poucos, e para usuários que o conheciam bem, e desejavam sua arquitetura.

O que ocorre na trajetória do arquiteto é uma contínua e concomitante série de refinamentos da tecnologia construtiva; do controle da obra e rumo à fabricação total do edifício. Tanto no desem-

penho de um mesmo material como o concreto armado, mas também avança com materiais mais flexíveis e leves para seus projetos, como a argamassa armada e as estruturas metálicas. Além de evoluir na criação de dispositivos bioclimáticos, numa estética arquitetônica própria com a elaboração precisa da forma e soma-se a tudo isso a preocupação com uma relação social e econômica mais justa com a mão de obra empregada, na Figura 14 a seguir, exemplos de algumas obras suas concluídas.

Figura 14 – Obras de Lelé; Hospital SARAH – Brasília e Rio de Janeiro RJ

Fonte: Wikimedia Commons (2020)

2.3 ARQUITETURA INDUSTRIALIZADA E A FABRICAÇÃO DIGITAL

Enquanto a arquitetura industrializada segue seu caminho em desenvolvimento no Brasil a fabricação digital avança na Europa e nos Estados Unidos e tem com o trabalho de arquitetos como Frank Gehry, um impacto na construção civil globalizada. Responsável pela construção do Museu de Guggenheim (1997) na área portuária da cidade de Bilbao Espanha, à partir de um plano de modernização da sua área industrial, tem nas curvas icônicas moldadas em titânio, a transformação do cenário cultural local, associada a uma economia globalizada; com uma construção produzida por processos digitais, de arquitetura assistida por computadores e fabricação digital dos componentes de sua estrutura, do revestimento da sua fachada, entre outros equipamentos da obra. Durante a exposição sobre fabricação digital, no Disseny Hub, situado no centro histórico de Barcelona, conforme descreve em seu artigo “3D em Detalhes”, Orciuoli (2011) e Celani (2010), as várias tecnologias de impressão 3D ou fabricação digital são aplicadas na produção de objetos únicos para usos diversos e não apenas mais como simples protótipos rápidos usados no desenvolvimento de produtos para a indústria. E trazem um recado para os arquitetos e designers, conforme reproduzido abaixo:

> “Finalmente, é preciso dizer que a fabricação digital não substitui os elementos produzidos em serie nem os elementos artesanais. Ela ocupa um nicho de produtos com geometria complexa, que precisam ter excelente acabamento e constituem-se em peças únicas ou series muito pequenas, cuja industrialização por métodos mecânicos não se justificam. Os demais meios de produção não serão substituídos pela fabricação digital, mas ela resolve casos que o artesanato e a indústria não poderiam resolver. O arquiteto precisa conhecer todas as possibilidades de produção. Assim como os arquitetos da década de 1960 e 1970 aprenderam a projetar explorando as possibilidades de uso de pré-moldados, os arquitetos contemporâneos, a partir da década de 1990 e 2000, devem projetar levando em conta as possibilidades também da fabricação digital. ” (Orciuoli, 2010, p.71)

Desde sua adoção popular, pela comunidade de arquitetos, design e engenheiros, na década de 1990, como demonstra Retsin (2019) em seu ensaio sobre a arquitetura na era da automação, a arqui-

tetura assistida por computador evoluiu para se tornar um paradigma de design e projeto com um conjunto claro de princípios. O autor (2019), argumenta também que a denominação de não padroniza, introduzida por Frédéric Migayrou na primeira exposição dedicada à arquitetura, computação e fabricação no Centre Pompidou, em Paris, em 2003, estabelece uma massa crítica de interesse e inovação que ao longo dos anos torna-se conhecido como projeto paramétrico.

A base desse movimento, segundo Retsin (2019) está ligada aos avanços na fabricação digital e dos softwares de design, desafiando a tradição da produção seriada legada pela Revolução Industrial. Sob a lógica da parametrização, é possível diferenciar e personalizar projetos em massa, pois a tecnologia de fabricação não depende da repetição de unidades idênticas para alcançar economias de escala. Roteadores controlados por computador, cortadoras a laser e impressoras 3D estabelecem protocolos de arquivo para fábrica que podem executar projetos personalizados sem custo adicional.

O arquiteto Patrik Schumacher, diretor do escritório Zaha Hadid Architects, batiza a arquitetura desta nova era estilística de Parametricismo, com um grau inédito de liberdade para a forma arquitetônica. Ao mesmo tempo, arquitetos como Neri Oxman e Greg Lynn celebram a dissolução da tectônica, à medida que a estrutura do edifício se torna mais fluida e contínua, eliminando a necessidade de estruturas adicionais por partes, onde a matéria pode ser controlada com um grau infinitesimal de precisão por meio de acúmulos e intensificações das propriedades dos materiais aplicados em uma escala microscópica. Assim cria-se um edifício onde a separação em estrutura e revestimento, como proposto por Le Corbusier na sua casa Dom-ino, é substituído por outro onde o revestimento e estrutura se fundem num só corpo, num novo processo tectônico, como uma pele estruturante associada a uma liberdade de formas sem precedentes, com a geometria arquitetônica substituindo a geometria ortogonal euclidiana.

Após os componentes serem fabricados digitalmente, sua montagem no local pode ser aprimorada com tecnologia digital, descreve na sequência Kolarevic (2001), como são os processos de fabricação digital na era da informática. Utiliza-se de modelos digitais tridimensionais para determinar a localização de cada componente, movê-los para sua posição designada e, por fim, fixá-los em seus lugares apropriados. Tradicionalmente, obtinha-se dimensões e coordenadas a partir de desenhos em papel o uso de fitas métricas, prumos e outros dispositivos para se localizar os componentes da construção no local, pelos construtores.

Com Kolarevic (2001) se conhece como novas tecnologias baseadas em sistemas digitais, como o levantamento eletrônico e o posicionamento a laser, emprega-se em canteiros de obras ao redor do mundo para determinar com precisão a localização dos componentes pertinentes ao sistema construtivo do edifício. Por exemplo, o Museu Guggenheim de Frank Gehry em Bilbao, durante a sua fabricação, cada componente estrutural foi demarcado com códigos de barras, marcando os nós de interseção com as camadas adjacentes da estrutura. No local, os códigos de barras eram lidos para revelar as coordenadas de cada peça no modelo CATIA. Equipamentos de levantamento a laser conectados ao CATIA permitiram que cada peça fosse posicionada com precisão em sua localização

conforme definido pelo modelo virtual criado pelo computador. Processos semelhantes são práticas comuns na indústria aeroespacial, mas relativamente novas na construção civil.

2.4 LELÉ E A ARQUITETURA E FABRICAÇÃO DIGITAL

O diagnóstico de Celani (2018) sobre nossa arquitetura e urbanismo e exposto em seu texto sobre uma nova era para a arquitetura, vem trazer à tona a falta do interesse dos nossos profissionais em atualizar seus métodos de trabalho, mesmo sem abandonar suas convicções próprias. Segue-se sem usar uma agenda para arquitetura do século XXI onde se deve incluir tecnologias digitais tais como métodos automatizados na produção de projetos e fabricação da construção, o uso de novos materiais e a participação na globalização das redes de informação para as cidades, por exemplo. Permanecem acomodados seguindo uma mesma formula que foi futuro e agora é nostalgia, como pode ser conferido no trecho de seu texto, abaixo:

> "A arquitetura e o urbanismo brasileiros viveram momentos de glória no século XX: criamos uma cidade planejada onde não havia nada, nossos edifícios foram expostos como obras de arte em um dos museus mais famosos do mundo e dois de nossos arquitetos receberam o prêmio Pritzker, a maior distinção na área. O Brasil foi visto, durante esse período, como um país do futuro. No entanto, se essa fama foi boa por um lado, por outro criou uma certa acomodação por parte de nossos arquitetos. É muito mais fácil repetir a fórmula que sempre deu certo a pensar em novas possibilidades. Essa atitude foi adotada na prática profissional e no ensino; como resultado, acabamos chegando ao final do século como um país de arquitetura nostálgica e de métodos de ensino tradicionais, exatamente o contrário da imagem que tínhamos há 50 anos." (Celani, 2018, p.17)

A autora (2018) alerta que já temos um parque industrial montado com equipamentos de ponta, mas que os profissionais brasileiros de arquitetura desconhecem, e cita o exemplo que durante a construção das diversas arenas, para os jogos da Copa do Mundo de Futebol de 2014. Contrata-se escritórios de arquitetura estrangeiros, com mais conhecimentos das tecnologias digitais, como necessidade de suprir nossa deficiência em projetos de fabricação e montagem final das estruturas e coberturas metálicas aplicadas em nossas arenas. Ao conhecer a arquitetura auxiliada por computadores, Lelé formaliza uma opinião própria sobre o tema, o computador:

> "O computador provocou mudanças para o bem e para o mal. Se souber usar, é sempre ótimo. O problema é que, com o impacto da computação e seu *glamour* foram muito fortes, na verdade essa tecnologia não está sendo absorvida completamente no caso da arquitetura. Acredito até que daqui a alguns anos os arquitetos consigam projetar direto no computador, mas o desenho no computador é tão preciso que as pessoas estão perdendo a capacidade de desenhar a mão. Mas não vou abrir mão do computador, não; acho que é uma ferramenta fantástica" (Lima,2004, p.78).

Em sua passagem pela na FAUUSP, em 16 de agosto de 2006, durante a entrevista gravada no Canteiro Experimental Antônio Domingos Battaglia, para um evento dedicado a ele, organizado pelos professores Hugo Segawa, Claudia Terezinha de Oliveira e Helena Ayoub, e pelas alunas da pós-graduação; Gabriela Lima e Cristina Trigo, Lelé confirma suas convicções sobre computadores; [...] "Essa questão para mim é fundamental, cada vez estou mais convencido disso; esse instrumento sensacional, o computador, a gente não pode negar o prodígio que ele realiza" [...] (Roconi, 2007, p.13),

entretanto faz vária ressalvas do uso de computadores e fica preocupado com uma possível perda da nossa intuição, da destruição da [...] “nossa bagagem atávica, vinda desde o homem das cavernas, usando as mãos para fazer seu registro cotidiano nas paredes das cavernas [...] (Roconi, 2007, p.13), pois para ele isso seria uma perda terrível.

E continua seu depoimento desenvolvendo o tema da intuição, de estimular a percepção ao ler uma estrutura, e que para isso não há nenhum computador que possa fazer por você. Reclama da falta de escala que no monitor do computador não existe, a escala adotada é sempre 1:1, elogia a pratica da percepção estimulado naquele laboratório, o Canteiro Experimental, onde o [...] “estudante cria uma catenária, uma abóbada de tijolo, como aquela que eu estou vendo ali, ele cria essa percepção, quer dizer, a relação entre a matéria-prima, como isso pode se organizar, vencer um vão, o porquê do arco, e o monitor destrói isso” [...]; (Roconi, 2007, p.13) e finaliza que não pretende desenvolver um tema contra o computador, mas que ao contrário, ele é aliado, e deve ser usado sem desprezar a intuição.

Em termos de qualidade, estética ambiental e social, como destacado, por Paz (2014) em seu artigo sobre a tecnologia empregada na obra de Lelé, ele alcança bons resultados. Também enfrenta diversas limitações, como a exigência da modulação, a restrição do sistema construtivo, a centralização da produção em uma única fábrica e o programa altamente especializado, predominado por requisitos técnicos e funcionais, como é no caso das construções de hospitais.

No entanto, parece-nos que a técnica construtiva, isto é, as formas como aplica-se os materiais aos edifícios constituídos, são subsidiários do espaço construído, ou seja, daquilo que efetivamente se obtém com tais componentes físicos, por exemplo [...] “no caso da argamassa armada se usa sempre placas intercaladas com colchão de ar, são duas paredes nas áreas que recebem sol.” (Lima, 2004, p.61).

Com a arquitetura industrializada, Lelé conseguiu desenvolver e concretizar significativas tecnologias bioclimáticas, entrelaçadas com o desenvolvimento terapêutico, com a função do espaço interno, sem deixar de mencionar o mobiliário e equipamento específicos para a rede hospitalar criados no Centro de Tecnologia para a Rede Sarah (CTRS). Observa-se poucos pré-fabricados com essas qualidades, talvez na [...] “obra de Jean Prouvé (1901-1984) e, de Buckminster Fuller, a Dymaxion House, na versão Wichita (1945), apresente tal sofisticação formal e elegância proveniente da fábrica” (Paz, 2014, p.15).

Em outros trabalhos e outros autores, é possível encontrar comparações da obra de Lelé ao lado de arquitetos europeus e americanos, do período posterior ao movimento moderno na arquitetura e no mundo. Como enfatiza Marques (2012), a obra de João Filgueiras Lima se insere no contexto da arquitetura contemporânea, busca adequação do projeto aos imperativos climáticos, busca a eficiência energética. A manipulação das possibilidades tecnológicas torna sua arquitetura dinâmica, como um organismo que transpira ao perceber o aquecimento do envoltório, se comporta com a pele dos animais.

Tais características estão presentes na produção europeia contemporânea com aporte de alta tecnologia (*high-tech*) promovida por arquitetos como Renzo Piano, Richard Rogers, Nicolas Grimshaw e Santiago Calatrava, dentre outros. Entre eles, uma semelhança muito grande, continua Marques (2012) em suas análises, com o arquiteto Santiago Calatrava, quando João Filgueiras Lima, utiliza elementos estruturais dinâmicos, que muito se assemelham a plantas que se abrem na primavera, fazendo assim o controle da luz e criando com todos esses elementos o tão desejado espetáculo arquitetural, no Centro de Reabilitação da Rede Sarah do Rio de Janeiro, 2009.

Marques (2012) destaca que também pode-se notar semelhanças entre as obras de Lelé e do arquiteto Renzo Piano, permitindo a suposição de uma interlocução entre elas. O Museu de Houston, EUA, The Menil Collection, 1981-1986, dispõe de cascas de argamassa armada sustentadas por uma treliça metálica, conformando uma cobertura que controla a entrada de luz natural. Sobre a treliça há uma cobertura em vidro com dupla inclinação para as calhas metálicas de águas pluviais a cada 2,40m, e aqui trata-se de um detalhe inverso ao utilizado por Lelé. Enquanto a cobertura projetada por Piano permite a entrada da radiação solar no ambiente e depois controla sua difusão, o arquiteto brasileiro controla a radiação solar nos trópicos antes dela entrar no ambiente, evitando o aumento da carga térmica dentro do edifício.

Destaca ainda Marques (2012), sobre a solução técnica adotada pelos dois arquitetos, muito semelhante, elevadores transparentes em plano inclinados. Renzo Piano utiliza essa solução na obra do seu escritório em Genova, Unesco Laboratory, Renzo Piano Building Workshop, 1989-1991 e mais recentemente, Lelé implanta esses elevadores nos Hospitais da Rede Sarah (Salvador, 1992; Brasília, 1995).

A comparação de Marques (2012) se estende pelos anos 1970, quando o arquiteto britânico Nicholas Grimshaw projeta diversos galpões industriais, de acabamento refinado, que se caracterizam pela industrialização dos componentes construtivos, com especial destaque para os painéis industrializados de fibra de vidro com colchão de ar aprisionado para evitar as pontes térmicas. Lelé também projeta painéis industrializados de argamassa armada intercalados por um colchão de ar, mas opta por uma solução com ventilação, pois o ganho térmico nos trópicos é maior. Outra diferença significativa, que se explica pela economia de realidades sociais desiguais, onde atuam os dois arquitetos, é a utilização de painéis de argamassa-armada por Lelé enquanto Grimshaw adota painéis de fibra de vidro. Outra obra passível de relação com a de Lelé é o Pavilhão Britânico na Expo 92 (Sevilha, 1992), na qual Grimshaw utiliza grandes quebra-sóis, cujo desenho se assemelha muito aos *sheds* desenhados por Lelé.” (Marques, 2012, p. 60, 61)

2.5 O ÚLTIMO DOS MODERNOS

Entretanto, para Lelé, sempre avesso aos modismos, todas essas novidades e teorias do período logo após o movimento moderno, não abalam suas convicções. Ao se declarar em seu depoimento a Menezes (2004), Lelé destaca que a arquitetura continua moderna**:**

> “Eu, Paulo Mendes, Oscar, talvez sejamos mesmo os últimos modernistas, nunca mudamos. Se fosse necessário mudar, teríamos mudado; fiz arquitetura com tijolo e agora estou fazendo uma arquitetura industrializada. Mas a expressão moderna não veio para virar moda e ser apagada. Aqueles preceitos que foram básicos para a fixação da arquitetura moderna continuam válidos, não vou abrir mão deles de jeito nenhum. Meu mestre continua sendo Oscar Niemeyer. Não vou adotar um outro agora.” (Lima, 2004, p.103)

De forma distinta, observa-se com Marques (2012) como as questões construtivas são em grande medida prioritárias na obra de Lelé; confirma-se que a racionalização não depende da escala, mas demonstra o quando o projeto necessita de uma programação para evitar desperdícios generalizados, tanto na sua configuração espacial quanto na sua construção. Demostra-se a preocupação de Lelé, com um mundo que começa a se conscientizar acerca da destruição dos recursos naturais e sempre associado à questão social sobre a exploração do trabalho na construção civil.

O que diferencia sua obra, sua arquitetura industrializada, refere-se a sua posição ideológica, onde também, encontra-se uma dimensão que é a coerência da técnica dentro da fábrica com as condições trabalhistas e de montagem das peças no local, com a preocupação de [...] “Desenvolver uma tecnologia industrializada em argamassa armada, fazendo peças menores e mais leves, o que facilitaria o transporte”, (Lima, 2004, p.56) um aspecto que nunca escapou à vista do arquiteto. Ou seja, o encaixe e a articulação da indústria com a realidade brasileira são cruciais.

Em seu trabalho sobre a Financeirização da Arquitetura na era digital, Arantes (2012) se mostra preocupado com a apresentação, na Bienal de Arquitetura de Veneza 2008, de R-O-B, um robô usado na indústria automobilística, de seis eixos e que pode responder aos comandos de um software de modelagem 3D usando diferentes ferramentas como mãos que trabalham com diversos materiais e diversas possibilidades na execução de alvenarias de tijolos cerâmicos, bem como trabalhar com madeira, gesso, concreto e placas de poliestireno. E se admira quando conhece os trabalhos desenvolvidos com o R-O_B, e afirma que [...] “Com a robótica, os movimentos do trabalho artesanal mais ancestral, como assentar tijolos, podem não apenas ser reproduzidos, mas levados a um limite que ultrapassa a capacidade motriz humana.” (Arantes, 2012, p.164)

Com este exemplo, Arantes (2012) quer confirmar em sua tese de como a financeirização da arquitetura, a sua versão elitista e antissocial da disciplina, vem avançando sobre a produção de edifícios em todo o mundo. E apesar de ser improvável, dado seu custo elevado, que ele comece a ser reproduzido em canteiros de obras de forma disseminada como substituto da subcontratação de pedreiros, no real o que se deve estar em evidência é qual a verdadeira finalidade desta máquina? E é quando o autor responde que é a sua [...]” viabilidade justamente na produção de elementos não padronizados e complexos, o que é uma demanda restrita da arquitetura de grife e sua perseguição da renda da forma.” (Arantes, 2012, p.165)

Seguindo com o raciocínio desenvolvido por Arantes(2012), tem-se que mais uma vez a capacidade de criação do arquiteto está sendo transferida apenas para o trabalho de prancheta, fora do canteiro de obras, que projeta não mais com base na experiência prática de manipulação da matéria, na sua memória motora, mas sim com o auxílio de ferramentas digitais que estimulam uma criativi-

dade abstrata, de jogos geométricos e combinações aleatórias, que podem ser decodificadas por algoritmos para ser realizadas por robôs.

E isto não implica adotar uma postura de medo à tecnologia, nem querer ser aqui, contrário as ferramentas digitais de projeto, de negar o avanço tecnológico, suas potencialidades libertadoras, sua capacidade de resolver tecnicamente problemas de diversas naturezas, mas reconhecer o trabalho [...] "que evoca saberes e prazeres, como vimos no bailado dos pedreiros núbios," (Arantes, 2012, p. 166). E ao concluir seu pensamento com uma possível alternativa sobre o desenvolvimento tecnológico e sua aplicação diversa da preocupação com ganhos de capital e a ciranda financeira, mandatória no cenário da arquitetura digital no mundo, ele cita o trabalho desenvolvido por Lelé, no Brasil:

> "Se não há como desenvolver uma tecnologia socialista fora do socialismo, existem iniciativas aproximativas do maior interesse e que estão sendo testadas no momento presente. Como exemplo, as fábricas públicas de hospitais e escolas no Brasil, coordenadas por Lelé. Nelas, a inovação tecnológica é desenvolvida numa ação conjunta entre projetistas e executantes, em um mesmo coletivo de construtores, o que indica possibilidades diversas para o desenvolvimento tecnológico na produção da arquitetura. Os fins já são outros: escolas, hospitais, creches, peças de infraestrutura urbana como placas para contenções de encostas e canalização de córregos, paradas e terminais de ônibus, passarelas de pedestres etc. Os meios também: fábricas públicas, algumas delas geridas como cooperativas, nas quais projetistas e operários trabalham em um esforço conjunto. Os resultados alcançados são não apenas de grande qualidade como expressam outras relações de trabalho e de apropriação das forças produtivas." (Arantes, 2012, p.167)

O arquiteto egípcio Hassan Fhaty (1900 -1989), é outro exemplo de obra citado por Arantes (2012), que apesar da formação acadêmica tradicional, com a graduação em Arquitetura, em 1926, pela Universidade do Cairo, desenvolveu projetos apoiados nas técnicas ancestrais dos pedreiros núbios em fazer abóbodas com tijolos de adobe. Num claro gesto de respeito ao saber tradicional de povos ancestrais e suas técnicas aplicadas em construções vernaculares associado ao uso do desenvolvimento tecnológico disponível. Autor do livro "Construindo com o povo" (1980), onde esclarece suas convicções sobre construções com técnicas ancestrais associadas ao desenvolvimento tecnológico, Hassan Fhaty teve sua obra traduzida em diversas línguas e o reconhecimento da comunidade internacional com o Prémio Aga Khan de Arquitetura e o Prêmio Right Livelihood em 1980.

Mesmo na construção do Guggenheim de Bilbao, obra citada por diversas vezes neste trabalho, pela inovação tecnológica aplicada na elaboração, tanto de seu projeto quanto de sua execução, fez com que o arquiteto Javier Cantalejo, envolvido na obra, declarasse que sua equipe foi obrigada a reinventar os manuais de arquitetura. A reinventar porque como nos relata Arantes (2012), esta mesma obra teve na sua base a importância do trabalho qualificado de operários, de sua bagagem atávica, de sua memória motora, reconhecida e insubstituível de Bilbao. Como uma cidade importante do país Basco e sendo o centro da indústria naval e aeronáutica espanhola forneceu sua tecnologia, sua indústria e seus operários que tornaram essa obra exequível, essa tecnologia inovadora e heterodoxa possível de ser real.

2.6 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO II

Neste segundo capítulo conclui-se que a Arquitetura Industrializada de Lelé interpreta as questões envolvidas na racionalização do projeto como além das questões demandadas apenas pela construção civil. Lelé preocupa-se com a tecnologia digital com o foco a frente dos jogos geométricos e combinações aleatórias de algoritmos e se convence que os computadores são um aliado ao trabalho, o arquiteto deve fazer uso deles, mas sem perder a bagagem atávica do uso das mãos, sem desprezar a intuição.

O arquiteto Lelé, tem como um princípio interno seu, uma contribuição com questões além do desenvolvimento tecnológico e inclui na prancheta o desenvolvimento social, cultural e preservação do meio ambiente. Nesse sentido, Lelé entende que a industrialização da construção contribui de forma significativa para uma sociedade mais justa, onde não se deve aceitar condições vulgares que predomina na construção. Coloca-se numa posição radical, antagônica aos abusos que a construção civil propicia, quer em termos de destruição de elementos naturais ou quer em termos de exploração de mão-de-obra, que da forma como se coloca no Brasil, tem a filosofia do desperdício e da exploração mais vil possível desta classe de operários.

O que está em jogo na obra de Lelé é uma economia global, em que as questões sociais e os problemas ambientais ganham grande destaque. Lelé expõe suas posições ideológicas, quando se preocupa com as questões ambientalistas e sociais, seu trabalho de arquiteto contribui com os anseios da comunidade de um desenvolvimento com menores diferenças entre classes sociais. Sua trajetória foi sempre a de quem persegue uma prática emancipadora de todos aqueles envolvidos no ato de construir.

CAPÍTULO 3 - O ser arquiteto e a arquitetura digital

3.1 - DESIGN PARAMÉTRICO, BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) e DISCRETE ARCHITECTURE

No Capítulo III busca-se entender a arquitetura digital, como se desenvolve e se aprimora. Com uma maior capacidade de processamento, de armazenamento de informação mais velocidade ao executar tarefas e rotinas de trabalho passão a ser mais acessível aos profissionais da arquitetura e engenharia. Em seguida analisa-se as suas interferências no projeto, na construção de edifícios e do espaço urbano com seus equipamentos e mobiliários. Gehl, (2006 p. 30) salienta que “em última análise, a vida entre os edifícios é mais importante e mais interessante de se observar do que qualquer combinação de concreto colorido e formas impactantes de construção.”

Neste capítulo os objetivos se convergem para uma avaliação da conscientização dos arquitetos em relação à adoção de estratégias humanizadas no uso da arquitetura e da fabricação digital. Analisa-se a complexidade crescente das ferramentas digitais que passam a oferecer uma capacidade sem precedentes para modelar, simular e visualizar soluções arquitetônicas. No entanto, a eficácia dessas ferramentas depende fortemente da habilidade dos arquitetos em utilizá-las de maneira crítica, com responsabilidade social e sem criar impactos danosos ao cotidiano da vizinhança. Isso implica não apenas em um domínio técnico, mas também em uma compreensão holística de como essas ferramentas integradas ao processo criativo podem enriquecer a vida local e a harmonia da comunidade, onde se implanta o edifício. A ponderação dos resultados, portanto, deve levar em conta não só a eficiência operacional, mas também o valor agregado ao projeto em termos de inovação, sustentabilidade e desenvolvimento social, cultural e econômico responsável. É um equilíbrio delicado entre a competência técnica e uma visão mais humanizada sobre a comunidade que define o verdadeiro ser arquiteto digital.

Natividade (2018) relata que desde os anos 1990, as limitações do desenho à mão têm sido demonstradas por arquitetos pioneiros do mundo digital, como Marcos Novak, Greg Lynn, John Frazer, Peter Eisenman e explica os aspectos irreconciliáveis entre modelos digitais e desenho à mão. Entre eles são; simular modelos construtivos de informação (*data models*), executar uma rotina de fabricação e observar um projeto em três dimensões imerso no espaço virtual e todos com o auxílio de uma máquina, como tarefas impossíveis para um desenho elaborado à mão.

Desde o final da década de 1990, demonstra Natividade (2018), a otimização digital tem sido vista como o sinal externo e visível da primeira virada digital na arquitetura: a imagem de uma nova arquitetura que, até alguns anos atrás, sem técnicas digitais, teria sido impossível - ou quase impossível de projetar e construir. Assim, passa-se a conviver com um novo vocabulário técnico, cria-se ter-

mos retirados desta atividade digital arquitetônica, como exemplos temos Greg Lynn[6] que introduziu o termo "*blob*" para definir o novo estilo de curvas digitais e Patrik Schumacher[7] que popularizou o termo "paramétrico", que na linguagem comum refere-se a um *script* de programação, no sentido técnico mais estrito, mas às vezes como o estilo visual desta otimização digital.

Apesar de sua recente diminuição, Carpo (2012) constata que a popularidade da arquitetura digital nas décadas de 1990 e seguintes, esconde e obscurece a importância da tecnologia subjacente, que é inerente ao modo de produção digital, independentemente de forma e estilo. O código roteirizado para *design* e fabricação digital utiliza notações matemáticas em que variações nos valores de alguns parâmetros ou coeficientes podem gerar famílias de objetos, todos diferentes, mas compartilhando a mesma sintaxe do *script* original. Isso foi a base matemática e técnica da personalização em massa digital: a descoberta de um modo não convencional de design e fabricação digital, em que variações individuais do produto podem ser produzidas em série em um fluxo de trabalho totalmente digital (CAD-CAM) sem custo adicional.

A personalização em massa digital é não apenas uma ideia fundamentalmente antimodernista, mas desafia os princípios técnicos da modernidade industrial; é a realização, há muito adiada, de uma aspiração central do pós-modernismo. Ela pode fornecer o mesmo produto com variações, teoricamente sem custo. A personalização em massa digital é uma ideia que arquitetos e *designers* conceberam, teorizaram, investigaram e testaram antes de qualquer outra pessoa. É também uma das ideias mais significativas e revolucionárias que estes profissionais tiveram. A padronização, que na produção industrial reduz os custos, em um modo de produção digital apenas reduz as opções disponíveis para o designer. A personalização em massa digital, ou serialidade não padrão, é uma nova forma de fabricação, uma lógica técnica essencial no design e na fabricação digital, independentemente de forma ou estilo. No início do novo milênio, e em um ambiente mais contido, surge a primeira onda de otimização digital e a criação de formas amorfas diminuiu. Um novo foco no processo, em vez da forma, levou muitos *designers* digitais a explorarem a natureza participativa do parametricismo digital e da personalização em massa digital de forma mais geral. Torna-se evidente que a abertura do roteiro paramétrico inevitavelmente desafia o modo de reconhecer a autoria de uma peça ou projeto que designers e arquitetos ocidentais adotaram e defendiam desde o Renascimento italiano.

---

[6] Greg Lynn (1964 -) é um arquiteto estadunidense, fundador e proprietário do gabinete Greg Lynn FORM, Professor no Instituto de Arquitetura da Universidade de Artes Aplicadas de Viena e professor na Escola de Artes e Arquitetura da UCLA. Seu livro, Folds, Bodies & Blobs: Collected Essays, contém o ensaio republicado da revista ANY "Blobs, or Why Tectonics is Square and Topology is Groovy" no qual cunhou o termo "blob architecture".

[7] Patrik Schumacher (1961 -) arquiteto e teórico da arquitetura alemão é o Principal da Zaha Hadid Architects sediado em Londres. Utiliza o termo "parametricismo" para descrever a utilização de técnicas avançadas de design computacional na arquitetura. Em 2008 lançou um manifesto pelo "parametricismo" na Bienal de Arquitetura de Veneza e um ano depois publicou o artigo "Parametricismo: Um Novo Estilo Global para a Arquitetura e o Design Urbano" na revista Architectural Design.

Kolarevic (2003) adverte que enraizada na tradição moderna do arquiteto como artista humanista, os profissionais de arquitetura e design mostraram-se com interesse limitado neste tipo de desenvolvimento e fabricação de produtos, que muitos temiam, por razões culturais, a limitação de seu campo autoral. A parametrização pode fornecer uma concepção poderosa da forma arquitetônica, descrevendo uma variedade de possibilidades, substituindo, no processo, o estável pela variável, a singularidade pela multiplicidade. No design paramétrico, são declarados os parâmetros de uma determinada entidade, não sua forma. Atribuindo valores diferentes aos parâmetros, pode-se criar objetos ou configurações diferentes.

Silva (2020) descreve como os profissionais de engenharia e arquitetura encontram no chamado Building Information Modeling (BIM), uma família de softwares corporativos de CAD-CAM destinados a facilitar a colaboração entre arquitetos e empreiteiros, acolhida favoravelmente pela indústria da construção civil e órgãos governamentais, mas esquecida e talvez mesmo repudiada pela academia e por profissionais preocupados com processos de projetação com mais criativa, com formas e curvas complexas. Para Silva (2020) os sistemas BIM parametrizam objetos de acordo com um paradigma orientado para a construção e função. Isso leva-se à representação apenas de lajes, colunas, vigas, paredes, portas, janelas entre outros objetos pertinentes ao modelo construtivo convencional.

Por outro lado, a maioria dos outros sistemas paramétricos que não se encaixam em uma descrição BIM, são baseadas em um paradigma de *form-forming and printing*. Neste usa-se processos de criação da forma, tais como; - *extrusion, revolving, twisting, tapering, bulging, morphing, rounding, sweeping, NURBS lofting, subdivision, triangulating etc.* Então pode –se argumentar que nenhum desses dois paradigmas é melhor que o outro. Não é o caso de um fornecer menos informações do que o outro. Às vezes, assume-se que os sistemas de *form finding* carecem de algo, enquanto os sistemas orientados para a construção BIM têm tudo, o que não é verdade. Eles contêm informações diferentes.

Outra reação contra a fluidez formal da otimização digital, no início, foi apresentada por Carpo (2019), como tendo sido motivada por alguns desenvolvimentos técnicos, mas acabou adquirindo significações estéticas, ideológicas e até sócio-políticas mais profundas. No início, a impressão 3D emergiu como a tecnologia de fabricação escolhida por uma nova geração de *designers* digitais, substituindo as máquinas de fresagem CNC dos anos 1990. As impressoras 3D podem fabricar pequenas unidades cúbicas de matéria, chamadas *voxels*, em tamanhos minúsculos e com resoluções cada vez maiores. Muitos designers que trabalham com essa nova técnica escolheram deixar cada partícula visível, exibindo assim a lógica discreta do objeto.

A matemática discreta, que implica enormes quantidades de dados brutos não compressíveis, não é amigável para os humanos; nenhum humano pode notar, calcular ou mesmo fabricar, um trilhão de *voxels*, um por um. Mas isso é exatamente o tipo de trabalho que os computadores podem fazer, graças à sua velocidade de processamento, memória e capacidade super-humanas. A matemáti-

ca discreta é feita para computadores, não para os humanos. Na arquitetura, a manifestação mais evidente do discretismo computacional e da lógica técnica de *big data* que o sustenta é encontrada em objetos que exibem um nível de exuberância formal sem precedentes.

A estética inquietante ou até hostil dessas criações transcende nossa capacidade de apreendê-las e compreendê-las, refletindo uma lógica já pós-humana, visivelmente em desacordo com a lógica orgânica de "dados pequenos" de nossa mente. É claro que a produção de objetos compostos por um número enorme de componentes, todos iguais, todos diferentes ou qualquer coisa entre eles, traz à tona o problema de sua montagem. Isso era um problema insolúvel até recentemente, pois o custo da montagem manual personalizada teria sido proibitivo, enquanto os robôs industriais que estão em uso desde a década de 1960, projetados para a automação de movimentos repetitivos em ambientes semelhantes a fábricas, não podem lidar com as operações irregulares, improvisadas e às vezes imprevisíveis que são o cotidiano do trabalho de construção.

É por isso que nos últimos anos vários criadores digitais se esforçaram para desenvolver uma nova geração de robôs pós-industriais, por assim dizer: robôs inteligentes capazes de emular algumas operações artesanais. Pioneiros nesse campo demonstraram que robôs industriais tradicionais podem ser reprogramados para realizar a colocação automática de tijolos em composições de todos os tipos, incluindo irregulares. Pizzabot é um robô que possui a mesma geometria dos elementos que ele monta. Utilizando um movimento simples de um eixo, o robô em forma de caixa de pizza pode se movimentar e pegar um elemento de construção passivo com uma geometria idêntica. Um processo computacional foi desenvolvido para coordenar a montagem de centenas de Pizzabot em paralelo como mostra a Figura 15, a seguir.

Figura 15 – Pizzabot, B-Pro Research Cluster 4, Bartlett School of Architecture, UCL, London, 2018

Fonte: Text © 2019 John Wiley & Sons Ltd. Images: p 92

A arquitetura discreta surge como uma crítica à arquitetura paramétrica não padronizada, explica Sanches (2009), destacando que a convergência de tecnologia e maquinário favorece práticas e instituições com acesso privilegiado. Essa abordagem enfatiza o progresso tecnológico em detrimento das questões sociais, elevando as barreiras socioeconômicas de entrada na profissão arquitetônica e reforçando assimetrias em um campo dominado por poucas empresas. Em contraste com a agenda do

design paramétrico, a arquitetura discreta busca reconstruir o senso comum por meio do conhecimento distribuído e da produção de design, rompendo com a personalização em massa de um único edifício. Ela questiona a economia da parametrização, que não está preparada para atender às crescentes necessidades da arquitetura de forma inclusiva e em larga escala. A parametrização beneficia uma elite global que acumula capital, enquanto não permite a adoção em massa ou uma representação da diversidade da população.

A parametrização, continua Sanches (2019), ao enfatizar a "liberdade arquitetônica" sem precedentes, tornou-se um símbolo das práticas neoliberais, perdendo de vista seu componente social e evidenciando as desigualdades e assimetrias atuais sustentadas pelo acúmulo de capital. Em resumo, a arquitetura discreta critica a arquitetura paramétrica por sua exclusividade, falta de inclusão social e desigualdades geradas pelo progresso tecnológico desvinculado de uma abordagem socialmente responsável. Nesse sentido, a arquitetura discreta está inevitavelmente ligada ao aspecto social e à possibilidade de um maior número de pequenas empresas coexistirem.

Para Sanches (2019) o paradigma tectônico discreto privilegia unidades autônomas, partes que não são membros subsidiários de um todo. Essas partes podem ser recombinadas em múltiplas permutações, identificando uma condição tectônica aberta. A escala dessas partes é relevante e novamente está ligada a uma estrutura social capaz de fabricá-las, manipulá-las, recombiná-las e implantá-las. Sem essa base social, o discreto pode ser mal compreendido como uma resposta ao cansaço da continuidade suave do design paramétrico e cair na dialética estilística estabelecida por seus defensores.

3.2 - A GENTRIFICAÇÃO, A DISNEIFICAÇÃO E A FINANCEIRIZAÇÃO NA ARQUITETURA DIGITAL

Para Arantes (2007), no planejamento urbano onde propunham-se no desenvolvimento de cidades com a racionalidade e a funcionalidade de zoneamentos urbanos e planos diretores, conforme uma linha de montagem fordista, passa-se a falar em requalificação e revitalização urbana. Além disso, pretende-se inserir cidades em uma rede internacional para torná-las capazes de atrair investimentos estrangeiros numa modalidade de parceria entre fundos públicos e privados. A fim de executar-se obras de natureza cultural, museus, bibliotecas, centros culturais, mas podendo ser também na área de entretenimento ou esportes.

Então as cidades passam a ter um museu Guggenheim de Frank Gehry em Bilbao Espanha, um MOMA de Mario Botta em São Francisco e outro de Arata Isozaki em Los Angeles, os dois nos EUA entre outros, mas descendentes diretos do Beaubourg da Paris da era Mitterrand e assinado por Renzo Piano e Richard Rogers. Assim, como numa ciranda onde se revezam arquitetos e arquiteturas de grife, do estrelato internacional, cria-se algo [...]" como um pensamento único das cidades em que se cassam o interesse econômico da cultura e as alegações culturais do comando econômico - que ronda as cidades em competição pelo financiamento escasso no sistema mundial." [...] (Arantes, 2007, p. 67). Uma corretagem intelectualizada de planos de gentrificações, expressão que vem do

original inglês *gentry*, para a retomada de localidades urbanas degradadas por uma população mais abastada. Logo após a citada revitalização urbana expulsam-se os moradores originais, com a implantação de um empreendimento monumental do capital público associado ao privado.

Continuando com o pensamento de Harvey (2005), pode-se afirmar sobre os projetos especulativos do tipo museus, centro culturais, shopping centers e estádios esportivos financiados a crédito, são projetos de alto risco, que podem facilmente enfrentar tempos difíceis, exacerbando os problemas da superacumulação e do excesso de investimento, aos quais o capitalismo está propenso. Destaca-se que as cidades europeias se tornam disneificadas, menos únicas e especiais, com uma homogeneização provocada pela sua transformação em commodities para atrair o capital internacional.

Como na renda monopolista, é preciso encontrar algum modo de se conservar única e particular, e como sua mercadoria principal são seus sítios, estes devem-se manter únicos, autênticos e singulares, para estarem em vantagem numa economia mercantil competitiva. Ao descrever a ascensão de Barcelona a rede de cidades europeias, como sendo uma firme acumulação de capital simbólico, com ênfase na história e na tradição caracteristicamente catalã, Harvey (2005) pontua como o marketing de suas realizações artísticas e heranças arquitetônicas, como é o caso do acervo de obras deixado pelo arquiteto catalão Antoni Gaudí (1852-1926), seus marcos distintivos de estilo de vida e tradições literárias, como publicações, exibições e eventos culturais celebrantes desta distinção, foram importantes.

Além disso, houve novos embelezamentos arquitetônicos como a Torre de Collserola, antena de radiocomunicação de autoria do arquiteto Norman Foster e construída de 1990/1992, o Museu de Arte Moderna projetado em 1990 e construído entre 1991 e 1995 pelo arquiteto Richard Meier, no meio de construções degradadas da cidade velha. E mais investimentos para permitir o fácil acesso ao porto e à praia, recuperando terrenos baldios para a Vila Olímpica, com referência sagaz à utopia dos Icários, e a transformação de áreas em espaços aberto ao espetáculo urbano. Entretanto, os interesses imobiliários em Barcelona parecem ter tomado o rumo da contradição e enquanto as oportunidades de apropriação das rendas monopolistas se apresentavam em abundância, com base no capital simbólico coletivo de Barcelona enquanto cidade; os preços dos imóveis explodiram.

O Royal Institute of British Architects concedeu a toda a cidade sua medalha por realizações arquitetônicas, mas como consequência atrai-se mais commodities multinacional e homogeneizada. As fases posteriores dos empreendimentos à margem do mar se parecem como qualquer outro empreendimento do mundo ocidental, com os congestionamentos de trânsito provoca-se pressões para abrir avenidas na cidade velha, lojas de propriedade multinacional substituem o comércio local, a região antes desvalorizada da cidade agora transfere seus moradores originais e destrói suas construções vernáculas.

Barcelona apresenta-se com sinais claros de uma disneificação. Essa contradição é marcada por Harvey (2005) com questionamentos e resistência sobre que memória coletiva deve ter as cidades e que estética deve ter valor para arquitetos? [...] “Por que aceitar a "disneificação"? Os debates desse

tipo não podem ser facilmente silenciados, exatamente porque é evidente para todos que o capital simbólico coletivo acumulado por Barcelona depende dos valores de autenticidade, singularidade e qualidades específicas irreplicáveis.” [...] (HARVEY, 2005, p. 234)

O escritório de Frank Gehry é apontado por Arantes (2012), como um agente da alta-arquitetura, mas também da inovação no campo do projeto informatizado e um dos grupos que mais tem colaborado com a introdução de automação digital nos canteiros, cuja aplicação tem sido mais amplamente difundida em obras complexas e que exploram a renda da forma, fetichismo do capital, quando a imagem gera maisdinheiro sem se preocupar com produção e trabalho. Não foram apenas as transformações das forças produtivas no escritório de arquitetura, mas também na pré-fabricação e no canteiro, que tornaram possíveis as estruturas com formas não euclidianos desta alta-arquitetura, como nos exemplos deste design e fabricação digital (CAD-CAM), explicito no item anterior.

Trata-se da primeira grande experiência de construção pré-fabricada no paradigma flexível, com milhares de peças únicas sendo produzidas sob medida para serem montadas em canteiro. Nenhuma exigência de seriação e padronização restringiu a industrialização de grande parte dos componentes. A inovação ocorre sem grandes investimentos em capital fixo, pois as máquinas programáveis utilizadas na produção flexível permitem executar uma ampla variedade de ações sobre as matérias-primas, sem a necessidade de investimentos em moldes, facas e peças industriais. Desse modo, exigências de padronização e seriação para obter ganhos de escala não são mais necessários no processo produtivo.

Os componentes pré-fabricados não constituem, como no fordismo, um catálogo a priori de peças às quais os projetistas devem se subordinar, seja modulando seu projeto em função disso, seja assumindo uma estética uniformizada pelo componente da série. O arquiteto retoma, assim, o comando e sua precedência. É seu projeto que instrui a nova produção industrial não-padronizada a executar cada parte e não o contrário. Para que uma peça bidimensional cortada pela máquina possa ser moldada à curvatura desejada em sua montagem, não apenas o material deve permitir a flexibilidade exigida, como o corte deve ser feito a partir do desdobramento do projeto tridimensional em coordenadas bidimensionais.

Apenas assim uma chapa plana pode adquirir a forma curvada no momento da montagem e o encaixe preciso com peças da estrutura. Essa transformação do tridimensional em bidimensional para depois retornar ao estado tridimensional é dificílima de ser feita manualmente sem a ajuda do computador na representação e na instrução do corte. Na montagem, exige operários especializados, diversos deles vindos da indústria naval. A obra de Bilbao também se beneficiou do seu contexto industrial no país Basco que é centro da indústria naval e aeronáutica espanhola e que forneceu tecnologia, equipamentos e trabalhadores que tornaram possível essa iniciativa heterodoxa.

Na sequência, Arantes (2012) descreve sobre como um robô industrial de seis-eixos, amplamente utilizado na indústria automobilística, pode ser equipado com diferentes ferramentas para fazer diversas ações sobre os materiais previamente escolhidos. Sua programação é transferida diretamente

dos softwares de modelagem tridimensional utilizados, em fluxo contínuo de informações. Gramazio e Kohler e seus alunos trabalham desde 2006 neste robô, inicialmente manuseando tijolos cerâmicos e depois madeira, gesso, concreto e placas de poliestireno.

A primeira e mais significativa experiência foi a construção de paredes programadas, *the informed wall*, um exercício no qual os alunos eram estimulados a imaginar como assentar tijolos em uma parede cuja disposição e amarrações tornariam a empreitada a bem dizer impossível de ser executada por um ser humano. O objetivo não era repetir as possibilidades construtivas existentes, mas obter um resultado técnico e estético só possível por meio da fabricação digital. Os alunos iniciavam a atividade manipulando os tijolos convencionais em busca de diferentes possibilidades de amarração, verificando seu grau de estabilidade e dificuldade construtiva.

A seguir, projetavam uma parede de 3x2 metros com uma aparelhagem ornamental, regrada geometricamente, com o auxílio de um programa de desenho digital. As informações eram então comunicadas por algoritmos ao robô, que era posto a executar. O custo de robôs como esse, em torno de 200 a 250 mil euros, torna proibitiva sua utilização para execuções convencionais. Sua viabilidade encontra-se justamente na produção de elementos não padronizados e complexos, o que é uma demanda restrita da alta arquitetura, de grife e sua perseguição pela renda da forma, o fetichismo do capital, numa arquitetura digital financeira.

E Arantes (2012, p. 167) apresenta o desafio de compreender como a inovação tecnológica no contexto capitalista pode ser transformada em uma prática emancipatória na construção. Embora seja difícil desenvolver “uma tecnologia socialista fora do socialismo”, há iniciativas promissoras em curso. Um exemplo é a abordagem das fábricas públicas de hospitais e escolas no Brasil, lideradas pelo arquiteto João Filgueiras Lima, conhecido como Lelé. Nestes projetos, a inovação tecnológica é desenvolvida de forma colaborativa entre projetistas e construtores, indicando novas possibilidades para a produção arquitetônica. Os objetivos são diferentes: agora visam escolas, hospitais, creches e infraestrutura urbana. Os meios também mudam para a criação de fábricas públicas, algumas operadas como cooperativas, onde projetistas e operários trabalham juntos. Os resultados não apenas garantem alta qualidade, mas também refletem novas relações de trabalho e apropriação das forças produtivas, assunto que merece ser desenvolvido em outro artigo, posteriormente.

3.3 – CONCLUSÃO DO CAPÍTULO III

Demonstra-se neste terceiro capítulo que a Arquitetura Digital passa a ser um desafio ao exercício da profissão de arquiteto em vários sentidos. Aborda-se a tecnologia inovadora e ainda desconhecida da maioria dos profissionais e do ensino em faculdades, mas em uso pela arquitetura e fabricação digital de edifícios únicos, num estilo inédito e pode-se dizer que até mesmo exótico. Apresenta-se as ideias renascentistas, como a criação da perspectiva, da representação ortogonal e a geometria euclidiana com um alcance que se esgotou, depois de um uso por séculos, mas que nunca serão negadas.

Compreende-se que o sistema financeiro internacional flutua entre altas e baixas taxas tanto para o crescimento da oferta de créditos quanto para a inadimplência de seus financiamentos e projetos. Quando vive momentos de baixas os megas projetos desaparecem, mas estes na verdade não são e nem devem ser os únicos a se beneficiar desta nova tecnologia, desta nova tectônica associada a arquitetura digital. Esta inovação tectônica promovida pela arquitetura digital continua sendo desenvolvida nos centros de pesquisas em todo o mundo, portanto deve ser aplicada também em circunstâncias diversas, separada do capital internacional e de seus megas projetos. Pode-se aplicar no dia a dia do profissional de arquitetura e engenharia. Entre outras atividades afins, cita-se como exemplos de aplicações para a arquitetura digital e suas ferramentas; - a construção de escolas, de hospitais, de moradias populares, a execução e melhoria da infraestrutura urbana e seus diversos equipamentos e mobiliários, entre outras atividades já praticadas pela arquitetura industrializada brasileira.

A gentrificação do espaço urbano, a disneificação da paisagem da cidade e financeirização da arquitetura digital devem ser questionadas sempre através do ensino de arquitetura, urbanismo e engenharia. Alerta-se para evitar o processo de gentrificação onde se expulsa os habitantes originais com a destruição de suas edificações vernáculas. Pois isso causa a destruição da cultura e economia local, a maior riqueza imaterial que qualquer sítio deve preservar. Substituir tudo por uma arquitetura internacional, sem compromisso com o sítio local é a disneificação da sociedade e sua cultura. E é exatamente isso que a financeirização da arquitetura digital propõe através de um discurso duvidoso de progresso. Este progresso, crescimento e desenvolvimento socioeconômico, cultural e ambiental, acontece sim, quando se melhora a vida da população com mais escolas, mais hospitais, mais moradias e mais infraestrutura urbana de qualidade e acessível a todos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta Dissertação apresenta-se um panorama onde a arquitetura e a fabricação digital, com suas ferramentas, são o presente e futuro para o profissional da arquitetura. À medida que a complexidade dessas ferramentas aumenta, cria-se mais desafios para os arquitetos a integrarem diversas áreas do conhecimento, abraçando tanto a inovação tecnológica quanto as implicações históricas, econômicas, ambientais e projetos socialmente responsáveis. Oferece-se uma visão equilibrada e imparcial sobre como esses avanços estão moldando a disciplina da arquitetura, enfatizando-se a importância de manter o ser humano no centro do processo criativo, garantindo que se aplique a tecnologia como um meio para enriquecer a experiência humana e não como um fim em si mesma. Ao fazer isso, está Dissertação busca por um ensino que deve ser mais que um mero atendimento a Portaria 1770 de 21/12/1994 onde o Ministério da Educação e Desporto – MEC fixa as diretrizes curriculares e o conteúdo mínimo do curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo.

Aqui adota-se uma postura onde o ensino da prática profissional deve acompanhar um horizonte de personagens e fatos históricos, comprovados pela pesquisa bibliográfica e citados nas Referências. Estes personagens e fatos históricos organizam-se numa sequência temporal e são descritos para melhorar a compreensão das responsabilidades éticas e de práticas a serem adotadas frente aos desafios proposto pela arquitetura e fabricação digital.

Os arquitetos Lelé e Niemeyer foram responsáveis pelo avanço da industrialização da arquitetura brasileira, com mostra os registros de seus feitos, monumentos arquitetônicos e verdadeiros símbolos das artes não só no Brasil, mas a nível mundial, também. Destacando-se de forma louvável como trataram com responsabilidade as questões sociais, culturais e ambientais, inserida nas edificações e a sua inserção no contexto urbano.

Apesar dos avanços da industrialização da arquitetura brasileira, demostra-se que a Arquitetura e Fabricação Digital passam a ser outro desafio ao exercício da profissão de arquiteto com um sentido mais holístico e universal. Trata-se de uma tecnologia inovadora e ainda desconhecida da maioria dos profissionais e do ensino acadêmico em muitas universidades brasileiras.

REFERÊNCIAS

ARANTES, O. Uma estratégia fatal: a cultura nas novas gestões urbanas. *In*: **A cidade do pensamento único: desmanchando consensos**. São Paulo: Vozes, 2007. p. 11-71.

ARANTES, Pedro Fiori. **Arquitetura na era digital-financeira: desenho, canteiro e renda da forma**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

BAHIMA, Carlos Fernando; VASCONCELLOS, Juliano. João Filgueiras Lima (Lelé) e a Origem da Pré-moldagem à Brasileira. **Revista Jatobá**, v. 4, 2022.

CAPES, Portal de Periódicos. Disponível em : <http://www.capes.gov.br/>. Acesso em: 21 Ago. 2024.

CARPO, Mario. "A Short but Believable History of the Digital Turn in Architecture." e-flux (electronic publication), March 2023: https://www.e-flux.com/architecture/chronograms/528659/a-short-but-believable-history-of-the-digital-turn-in-architecture/

CARPO, Mario. "Myths of the Digital" Paper presented at the Conference Founding Myths, ETH Zurich, 28 September 2017; published as "Digitally Intelligent Architecture Has Little to Do with Computers (and Even Less with Their Intelligence)", GTA Papers (Zurich, ETH), 3 (2019): 112-120.

CARPO, Mario (Ed.). **The digital turn in architecture 1992-2012**. John Wiley & Sons, 2012.

CARPO, Mario. Particlised: computational discretism, or the rise of the digital discrete. **Architectural Design**, v. 89, n. 2, p. 86-93, 2019.

CELANI, MGC. Uma nova era para a Arquitetura. **Arquitetura contemporânea e automação: prática e reflexão. São Paulo: ProBooks**, p. 17-20, 2018.

FATHY, Hassan. **Construindo com o povo:(arquitetura para os pobres)**. Editora da Universidade de São Paulo, 1980.

FONG, Glenn R. ARPA does windows: the defense underpinning of the PC revolution. **Business and Politics**, v. 3, n. 3, p. 213-237, 2001.

GEHL, Jan. **La humanización del espacio urbano: la vida social entre los edificios**. Reverté, 2006

HARVEY, David. **A produção capitalista do espaço**. Annablume, 2005.

KOLAREVIC, Branko. Digital fabrication: manufacturing architecture in the information age. In: **Proceedings of the twenty first annual conference of the Association for Computer-Aided Design in Architecture**. 2001. p. 268-278.

KOLAREVIC, Branko. Digital morphogenesis. **Architecture in the digital age: Design and manufacturing**, p. 12-28, 2003.

KOLAREVIC, Branko. Designing and manufacturing architecture in the digital age. **Architectural information management**, v. 5, p. 117-123, 2001.

Licklider, J. C. R. "Man-Computer Symbiosis." **IRE Transactions on Human Factors in Electronics HFE-1**, no. 1, 4-11, 1960.

LIMA, João Filgueiras. **O que é ser arquiteto: memórias profissionais de Lelé, João Filgueiras Lima**. Editora Record, 2004.

MARQUES, Andre Felipe Rocha. A obra do arquiteto João Filgueiras Lima, Lelé: projeto, técnica e racionalização. **Universidade Presbiteriana Mackenzie São Paulo**, v. 11, 2012.

MITCHELL, William. The reconfigured eye: visual truth in the post-photographic era. Cambridge: MIT Press, 1992.

MITCHELL, William J. Three paradigms for computer-aided design. **Automation in Construction**, v. 3, n. 2-3, p. 239-245, 1994.

MITCHELL, William J. A tale of two cities: Architecture and the digital revolution. **Science**, v. 285, n. 5429, p. 839-841, 1999.

NATIVIDADE, Verônica Gomes, Fraturas metodológicas nas arquiteturas digitais. São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, Dissertação de Mestrado em Projeto de Arquitetura, 2010.

NATIVIDADE, Verônica et al. Além da tradição da representação e da virtualidade. **Revista Prumo**, v. 3, n. 5, p. 13, 2018.

ORCIUOLI, A. and CELANI, G., 2010. 3D em detalhes. Revista AU, pp.68-71

PAZ, Daniel Juracy Mellado. O Homem Que Domou a Fábrica: inovação e contexto na obra de João Filgueiras Lima, o Lelé. 2014.

REQUENA, Carlos Augusto Joly. Habitar híbrido: interatividade e experiência na era da cibercultura. 2007.

RETSIN, Gilles. Discrete Architecture in the Age of Automation. **Architectural Design**, v. 89, n. 2, 2019.

SANCHEZ, Jose. Architecture for the commons: Participatory systems in the age of platforms. **Architectural Design**, v. 89, n. 2, p. 22-29, 2019.

SDEGNO, Alberto. Computer Aided Architecture: origins and development. **DISEGNARECON**, v. 9, n. 16, p. 4-1-4.6, 2016.

SEDREZ, Maycon Ricardo; Celeni, Gabriela. **Arquitetura contemporânea e automação: prática e reflexão**. ProBooks, 2018.

SILVA, Anderson Ferreira da. Megaeventos esportivos no Brasil: as infraestruturas urbanas e seus rebatimentos nas cidades-sede. 2020.

SILVA, Neander Furtado; SILVA, Lilian Maciel; LACROIX, Igor. Generating NURBS cladding and structures with parametric programming and BIM. 2020.

SILVA, Neander Furtado et al. A indústria da Construção Civil está pronta para a Fabricação Digital e a Customização em Massa? Uma Pesquisa sobre um Caso Brasileiro. Sigradi 2009.

SUTHERLAND, Ivan E. Sketch pad a man-machine graphical communication system. In: **Proceedings of the SHARE design automation workshop**. 1964. p. 6.329-6.346.

VELLOSO, Ivan Mac-Dowell. Os meios digitais na arquitetura do Grupo NOX. 2009.

WIENER, Norbert. Cibernética: ou controle e comunicação no animal e na máquina. **São Paulo: Polígono**, 1970.