

ARQUITETURA DIGITAL E SUA PARAMETRIZAÇÃO ATRAVÉS DO CONCEITO DE DESEMPENHO: implicações no campo da profissão e análise do desenvolvimento da forma – o caso do *City Hall* e da *Shanghai Tower*.

Isabela Maria Cerne Salvajoli (IC)

Charles C Vincent (orientador)

Apoio: PIBIC Mackenzie - MackPesquisa

RESUMO

Este artigo aborda o modo de projetar pautado na Arquitetura Digital, juntamente com as técnicas e materiais de alta tecnologia que permitem o desenvolvimento de uma arquitetura inteligente e aceleram o processo criativo. Estabelece enfoque na questão da parametrização do objeto arquitetônico como solução de sua forma, pautado em referenciais que refletem o desempenho e a eficiência energética do edifício. Esse processo projetual vem se desenvolvendo e ganhando espaço no cenário atual e seu panorama energético, convergente às políticas sustentáveis e demonstrando eventuais vantagens, dificuldades e uma considerável mudança no papel exercido pelo arquiteto. A partir de análises de estudos de caso - City Hall e Shanghai Tower - e de suas certificações, pôde-se estabelecer um comparativo e constatações que aferem que as plataformas de design paramétrico permitem resultados altamente precisos e boa correlação entre um modelo e sua forma construída, oferecendo flexibilidade, adaptação e um feedback instantâneo às diversas variáveis. Outro impacto positivo observado no uso do projeto paramétrico foi sua assistência na criação como edifício sustentável, à medida que atrelou referenciais específicos para seus desenvolvimentos, como a eficiência energética, redução de material ou diminuição das cargas de vento, por exemplo, atuando também como contribuição para uma arquitetura mais responsável ambientalmente.

Palavras-chave: Arquitetura Digital. Parametrização. Desempenho.

ABSTRACT

This article discusses design based on Digital Architecture, within techniques and high-tech materials that allow the development of an intelligent architecture and accelerate the creative process. It focuses on parametric design of architectural objects as a solution to their form, based on references that reflect the performance and energy efficiency of the building. The development and visibility of this design process has been increasing in the current scenario

and its energy panorama, converging to sustainable policies and showing possible advantages, difficulties and a considerable change in the role played by the architect. Based on analysis of case studies - City Hall and Shanghai Tower- and its certifications, it was possible to establish a comparison and conclusions that verify parametric design platforms allow highly accurate results and good correlation between a model and its shape built, offering flexibility, adaptation and instant feedback to the large amount of variables. Another positive impact observed in the use of parametric design was its assistance in creating sustainable buildings, as it linked specific references for its developments, such as energy efficiency, reduction of material or decrease in wind loads, for example, also acting as a contribution for a more environmentally responsible architecture.

Keywords: Digital Architecture. Parametric design. Performance.

1. INTRODUÇÃO

As tecnologias computacionais vêm influenciando profundamente a arquitetura no âmbito da concepção, desenvolvimento e execução de um projeto (KOLAREVIC, 2003). A evolução dos programas digitais juntamente com as técnicas e materiais de alta tecnologia constituem uma temática de grande significância dentro da arquitetura contemporânea de forma a possibilitar maior eficiência, precisão e agilidade. Estas inovações constituem um novo modelo de projetar nominado como “Arquitetura Digital” conforme descrito por Nardelli a seguir.

“[...] da prancheta analógica à prancheta digital -, e face à contínua evolução das TICs (Tecnologias da Informação e Comunicação), que tem colocado à disposição dos arquitetos variados recursos e inéditas possibilidades que vão muito além do gesto criador, estaríamos, então, diante de uma nova tendência que nos permitiria falar, em “Arquitetura Digital”, no sentido de uma metodologia inédita, baseada num corpo teórico exclusivo, cultural e prático, apoiado em novas tecnologias e capaz de produzir uma categoria inédita de objetos.” (NARDELLI, 2007, p. 30).

Este processo é resultado do atual cenário mundial, regido pelo capital e globalização, no qual cada segundo é computado. Métodos automatizados são capazes de substituir procedimentos de repetições desnecessárias e certas resoluções manuais que estenderiam de demasiada forma o tempo final do resultado, desenvolvendo desse modo uma arquitetura inteligente e acelerando o processo criativo. Estas novas tecnologias permitem, ainda, a interconectividade entre entidades de diferentes locais desenvolvendo um mesmo projeto, o que se tornou habitual na atualidade.

Com estes instrumentos e introduzidos novos conceitos de espaço e formas dinâmicas e interativas (NARDELLI, 2007), surge esse novo modelo de construir que permite a sincronia

entre concepção do projeto e análise de seus resultados em tempo real. Assim, as variáveis passam a ser alteradas e ajustadas de forma prática e ativa, culminando em um produto capaz de atender as necessidades humanas de modo mais amplo, utilizando estratégias que economizam tempo e recursos.

Além das vantagens já citadas, essas tecnologias digitais permitiram um avanço na questão da forma do edifício. O design da forma se desenvolveu incorporando curvas em desenhos orgânicos e geometrias cada vez mais complexas e personalizáveis, trazendo uma aproximação entre o utópico e o real, o desejável e o atingível.

Dentro deste panorama da idealização da forma, destaca-se o surgimento da arquitetura paramétrica, a qual utiliza indicadores de referência como algoritmos para fundamentar e criar a própria forma do edifício. Desse modo, a estética passa a ser amplamente atrelada a um conceito: torna-se resultante de uma fórmula baseada em fatores delimitantes e o design da forma nasce a partir dessa equação. Esta questão é abordada por Florio:

“...este tipo de modelagem permite projetar a partir da exploração sistemática de diferentes configurações geométricas e dimensionais” embutidas nos parâmetros adotados. Desde estruturas, esquadrias, escadas, vedações até edifícios inteiros podem ser rapidamente modelados e modificados a partir da manipulação de parâmetros relacionados entre si. Esta flexibilidade para a mudança é ainda mais fundamental em edifícios de alta complexidade formal, onde a geometria entre os elementos varia de acordo com os parâmetros adotados. Os resultados obtidos permitem afirmar que a MP (Modelagem Paramétrica) é extremamente eficaz na investigação de formas de grande complexidade geométrica e espacial.” (FLORIO, 2014, p. 2943)

Por seguinte, dentro desta incumbência da escolha dos parâmetros utilizados para a concepção do projeto, dois caminhos distintos podem ser optados, que serão denominados como: *a forma pela forma* e *forma segue função*. No primeiro, estipulam-se parâmetros abstratos baseados no visual e no design em si, explorando os limites da plasticidade. Neste conceito, cria-se usualmente o que pode ser classificado como “arquiteturas do espetáculo”, usadas como artifício para chamar atenção e atrair o público.

Já o conceito de *forma segue desempenho* parte do pressuposto de que os parâmetros escolhidos determinarão um design que reproduz alta eficiência no contexto da edificação. Essa tendência é explicada nesse trecho traduzido de Kolarevic (2009): “A crescente ênfase no desempenho da edificação - do contexto cultural e social à construção física - está influenciando o projeto de edifícios, seus processos e práticas, atenuando as distinções entre geometria e análise, entre aparência e desempenho”.

Estes referenciais para a parametrização podem ser dos âmbitos térmico, acústico, lumínico, estrutural, energético ou de ventilação, por exemplo; campos que permeiam a questão da sustentabilidade e possuem grande potencial para produzirem uma Arquitetura

Digital de impacto sustentável positivo (SCHOCH, 2009). Duas ilustres obras que demonstram estes aspectos mencionados serão avaliadas de modo mais profundo neste estudo: o City Hall (2002), de Norman Foster, em Londres e a Shanghai Tower, do escritório GESLER. Ambos os projetos serão analisados neste estudo partindo do ponto de vista da eficiência, qualidade e sustentabilidade. Instrumentos como o LEED e o BREEAM serão de fundamental importância na avaliação e constatação dos casos.

Feitas todas estas análises citadas, será possível equacionar de forma mais clara o impacto destas novas tecnologias e este novo modelo de projetar dentro da Arquitetura Digital na sociedade. Isto servirá como contribuição para instigar que estes métodos e elementos sejam atrelados a uma arquitetura focada na qualidade, conforto, eficiência e sustentabilidade.

1.1 Problema de pesquisa

Abordando a temática do desenvolvimento e implementação de um novo modelo de se projetar relacionado a Arquitetura Digital e sua parametrização, analisa-se a problemática da questão da escolha de referenciais informativos baseados no desempenho atrelado ao design da edificação e quais seus benefícios, problemas e desafios dentro do contexto atual. Isto se realizará através da avaliação de projetos construídos que levaram em consideração este princípio pela eficiência em sua concepção: o City Hall e a Shanghai Tower. Por meio desta discussão, serão evidenciadas quais as implicações deste método dentro do campo profissional e acadêmico da arquitetura.

1.2 Justificativa

O atual contexto em que se insere a arquitetura contemporânea, regido pela agilidade e precisão, cobra uma nova postura no processo tradicional de projetar adotado até então. Este novo método não implica necessariamente em abandonar os antigos princípios e bases projetuais, mas sim na adoção de técnicas digitais e ferramentas que surgem para auxiliar e aprimorar os resultados atrelados a um projeto.

A relevância desse estudo converge com a emergente necessidade de explorar e ampliar estes campos relativamente recentes que permeiam as tecnologias e métodos de projetar dentro da Arquitetura Digital e sua parametrização. Essa temática tem se expandido dentro do âmbito profissional e acadêmico, alcançando sua concretização no campo da construção, porém ainda carece de maior desenvolvimento e viabilidade, principalmente no

Brasil. O trecho abaixo de Celani e Pupo explicita a importância desse desenvolvimento no contexto acadêmico:

“...ainda são poucos os grupos de pesquisa que atuam nessa área, apesar da grande relevância do tema. Sem a introdução de novos meios de projeto e produção nossa arquitetura corre o risco de ficar estagnada. É papel da universidade introduzir essas novas tecnologias no ensino e na pesquisa, de maneira que os jovens arquitetos estejam preparados para lidar com a uma nova realidade profissional, na qual a tecnologia está presente cada vez mais nas diversas etapas do projeto.” (CELANI, PUPO, 2008, p. 39).

Por conseguinte, a respectiva pesquisa destaca a relevância existente nas análises e constatações realizadas através da eficiência de projetos construídos pautados na resolução pelo desempenho da construção. Dessa forma, será possível avaliar as vantagens, problemas e desafios determinados por este novo método de projetar, além de estabelecer como a Arquitetura Digital e sua parametrização podem se desenvolver atreladas a uma arquitetura focada na qualidade, conforto, eficiência e sustentabilidade. As questões do desempenho ambiental e do conforto são destacadas na tese de Umakoshi:

“[...] parte-se da hipótese de que critérios quantitativos e qualitativos de desempenho ambiental são definidores da expressão formal da arquitetura paramétrica do edifício alto. Pretende-se comprová-la com a criação e a aplicação de um método de projeto arquitetônico que relacione avaliação paramétrica de desempenho ambiental e a geração da forma. Essa hipótese surgiu da utilização sem critérios claros e precisos de desempenho ambiental na geração das formas dos edifícios altos, e vem de encontro ao conceito contemporâneo de conforto, da adaptação, das respostas específicas” (UMAKOSHI, 2014, p. 5).

Por fim, uma varredura transcorrente pelos campos teóricos e práticos da construção possibilitará compreender de forma mais ampla o impacto das tecnologias digitais no equacionamento e solução de concepções projetuais dentro do contexto atual e suas decorrências na profissão da arquitetura e para a sociedade.

1.3 Objetivo

É possível apontar que o objetivo desse estudo se concentra na análise de como projetos na era digital e a arquitetura paramétrica se desenvolvem e influenciam em todo o contexto de se projetar dentro do cenário contemporâneo. Além disso, destacar o referencial pelo desempenho da edificação permeando o âmbito da sustentabilidade e os resultados deste processo, através da análise de edifícios construídos com base nesse ideal, com destaque para o City Hall e a Shanghai Tower. Visa, também, especificar quais as implicações destes novos métodos e tecnologias, tanto na questão das mudanças no campo acadêmico, na profissão da arquitetura e no papel do arquiteto, quanto nas transformações dentro da sociedade e seus reflexos. De modo geral, busca enfatizar a concretização da Arquitetura

Digital e sua parametrização, destacar os benefícios, problemas e desafios que faceiam este novo modelo de projetar.

Mais especificamente, esta pesquisa busca averiguar o processo de modelagem referenciada adotada nas concepções dos projetos do City Hall e da Shanghai Tower e, a partir desta análise, aferir constatações quanto aos parâmetros de projeto, o desempenho real e as novas questões do conforto adaptativo e sustentabilidade que permeiam a temática abordada.

2. DESENVOLVIMENTO DO ARGUMENTO

2.1. Panorama energético

A questão da eficiência energética ganha relevância como uma preocupação mundial a partir da década de 1970, com a ocorrência da primeira crise do petróleo. Com a possível escassez dos recursos energéticos e o objetivo de diminuir a dependência em relação ao petróleo e derivados, os países mais industrializados e desenvolvidos realizaram a iniciativa de se organizarem e levantarem fundos para investimentos em projetos de eficiência energética e fontes renováveis de energia. Consequentemente, nas décadas seguintes o impacto da queima de combustíveis fósseis na variação climática global entrou na pauta de discussões ao redor do mundo. Dessa forma, como resultado destas inquietações, em 1997 foi estabelecido o Protocolo de Kyoto, acordo internacional em que os países signatários estabeleceram metas de redução de emissões de CO₂. Para atingir os objetivos propostos pelo protocolo, tornou-se imperativa a criação de mecanismos que estimulassem a eficiência em toda a cadeia energética (DE SOUZA & GUERRA & KRUGER, 2011).

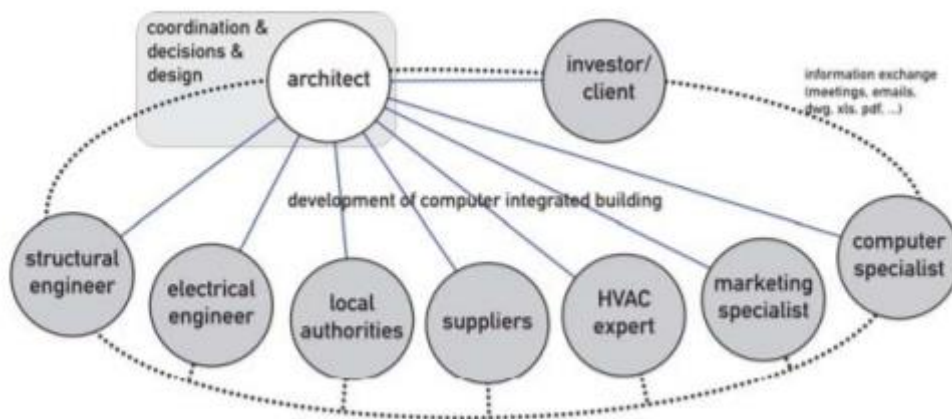
Considerando que a disponibilidade de energia é um importante fator de produção e que contribui para o crescimento econômico moderno, consequentemente a eficiência energética tornou-se um objetivo a ser conquistado. Remonta desta época a adoção do monitoramento das tendências da eficiência energética em função do crescimento econômico, como um componente estratégico para definição de políticas energéticas (ANG, 2006), uma vez que a utilização de combustíveis fósseis constitui uma das principais fontes antropogênicas de emissões de CO₂. Assim, organizações internacionais com políticas energéticas comuns têm incorporado essas questões das últimas décadas em seus objetivos (ENFLO; HENRIQUES, 2007).

2.2. Implicações no papel do arquiteto

Com essa mudança de paradigma proporcionada pela arquitetura paramétrica, a escolha de qual indicador de referência utilizar torna-se uma tarefa de extrema importância, pois tudo irá se originar a partir do mesmo. A construção passa a ser vista como um sistema de informações (SCHMITT, 1999) e o arquiteto como o especialista contendor dos métodos e dados para avaliar e estabelecer as diretrizes necessárias. A adoção de novas tecnologias e métodos projetuais inéditos, juntamente com a customização dos códigos de programação do projeto e os resultados das simulações de desempenho demonstram de modo claro que as habilidades dos arquitetos foram expandidas (PETERS, 2013).

Assim, o arquiteto assume um papel central dentro dessa concepção, atuando como mediador entre cada setor e etapa do processo construtivo (conforme esquema representado na Imagem 1). É estabelecida uma relação mais direta entre estes, eliminando elementos intermediários e possibilitando uma maior aproximação entre o que é projetado e o que será construído. Neste âmbito, é possível situar no ofício dos arquitetos uma retomada nas rédeas como mestres construtores, fato sem precedentes desde os tempos medievais (KOLAREVIC, 2003).

Imagem 1: Desenvolvimento interdisciplinar da rede do sistema de construção com o arquiteto como projetista e coordenador central.



Fonte: SCHOCH, ODILO (2009).

Paralelamente, no campo acadêmico de formação do arquiteto é demonstrada a urgência em implementar e reforçar o ensino com maior ênfase nesse âmbito tecnológico que se expande e concretiza cada vez mais dentro da profissão e do campo acadêmico, conforme descrito por Martins e Pereira Filho.

“[...] houve uma popularização do assunto no âmbito acadêmico, com a multiplicação dos laboratórios de prototipagem rápida e das linhas de pesquisa abordando o tema, o que indica que a fabricação digital tem se consolidado como área de interesse na arquitetura, mesmo com algumas resistências, como a escassez de mão de obra fluente na aplicação da técnica, além do número limitado de professores que trabalham com essas

tecnologias nas instituições de ensino". (MARTINS & PEREIRA FILHO, 2019, p. 1).

Considerando este contexto, há uma grande oportunidade de alcançar um melhor equilíbrio e integração entre as questões de como os arquitetos projetam e o que e por que eles deveriam projetar. Questões críticas, como aquecimento global, conservação de energia e a necessidade de edifícios que reduzam nossa pegada de carbono, começam a definir com responsabilidade como, o quê e por que projetamos edifícios e outros ambientes construídos. Este é um reequilíbrio bem-vindo do papel que os arquitetos desempenham para melhorar a qualidade de nossas comunidades e do mundo.

2.3. Critérios de desempenho

As análises das obras arquitetônicas abordadas neste estudo serão elaboradas a partir do ponto de vista da eficiência, qualidade e sustentabilidade, utilizando de instrumentos de certificação consolidados na avaliação e constatação dos casos.

Com a escassez e o uso excessivo dos recursos naturais o mundo se viu obrigado a repensar seus modelos e tentar novos padrões de consumo, conforme descrito anteriormente neste ensaio, e assim, novas metas de sustentabilidade foram traçadas. No setor da Construção Civil com seu histórico de grande gerador de resíduos e emissor de gases de efeito estufa, organizações Públicas e Privadas criaram normas para reduzir os impactos gerados, atribuindo então aos selos ambientais a função de atestar a sustentabilidade na construção.

Por definição, a certificação de produtos ou sistemas é realizada por uma entidade de terceira parte, ou seja, por uma organização independente que tenha credibilidade instituída por lei ou por aceitação social. Esta avaliação é realizada através de auditorias no processo produtivo, garantindo que, no caso de produtos, estes estejam atendendo às normas técnicas continuamente e, no caso de sistemas de gestão, que estes garantam a repetitividade dos resultados obtidos (INMETRO, 2017).

2.4. O City Hall

"No novo City Hall de Londres, Lord Foster e os integrantes da Foster + Partners transformaram a bravura tecnológica em uma agenda social mais explícita: a conservação de energia." (The New York Times, 2003). O City Hall (Imagem 2) convém como um apropriado caso para demonstrar como essas tecnologias e métodos se concretizam e produzem resultados que intervêm na questão da eficiência, sustentabilidade e modo de vida da

sociedade. Como enfatizado por Kolarevic (2009), o projeto requereu “novas soluções radicais para o controle da geometria e a expressão arquitetônica de superfícies curvas”. Sua forma esférica distorcida foi projetada a partir de alta tecnologia focada na questão energética, visando o máximo proveito de sua insolação para a economia de energia.

Imagem 2: City Hall de Londres



Fonte: Oxyman, 2007.

O projeto surgiu a partir da competição realizada pelo *Specialist Modelling Group* para a escolha da nova sede dos escritórios da Prefeitura e da Assembleia de Londres, que utilizou uma abordagem pautada no design do edifício. Assim, o escritório Foster + Partners desenvolveu seu projeto baseado neste conceito, além de demonstrar sua preocupação com questões ambientais e no caráter democrático do edifício, configurando assim, um objeto exclusivo e icônico conforme era requisitado. Dessa forma, o resultado foi um edifício amplamente público, trazendo um grande fluxo de visitantes; trata-se, simbolicamente, de uma das novas construções mais importantes da capital e expressa a transparência e a acessibilidade do processo democrático. O edifício, também conhecido como Greater London Authority Building (GLA Building), consta como parte do projeto do novo plano diretor denominado *More London* que buscou requalificar a região onde está implantado (margem sul do Rio Tamisa), também de autoria de Foster.

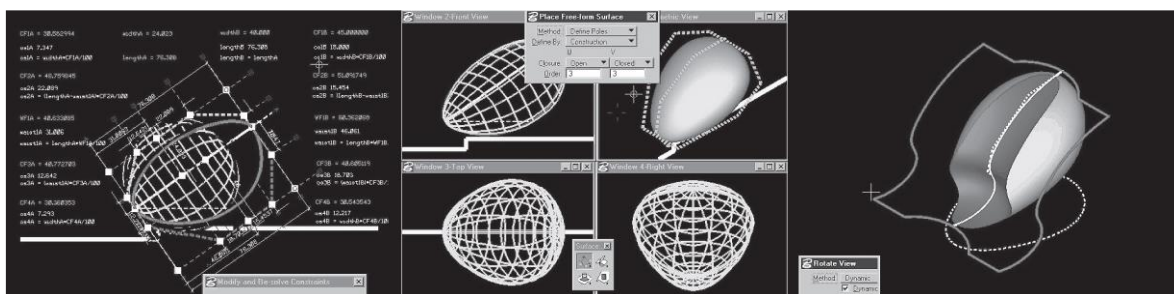
Design da forma

O edifício foi projetado para não ter frente nem verso e sua forma é derivada de uma esfera modificada geometricamente, desenvolvida usando técnicas de modelagem computacional, adotando como base a geometria descritiva e a parametrização.

“[...] No âmbito do desenvolvimento do design da forma, é possível notar o modo como o City Hall evoluiu desde as ideias iniciais no estágio da competição resultando em uma forma com solução energética integrada e uma lógica que permitiria sua construção. O projeto se originou a partir do conceito de criar uma forma que remetesse a uma grande “lente” com vista para o rio, dividido em pavimentos com suas lajes fixadas na parte traseira resultando em um efeito de envidraçamento em formato de “pinha”. (KOLAVEVIC, 2003)

O processo de transformação da forma esférica inicial foi desenvolvido através do Microstation, o sistema CAD (*computer aided design*) padrão do escritório Foster + Partners naquele período, cujos resultados poderiam ser imediatamente repassados à equipe para uso como ferramenta de design. Através do programa foi originado um “polígono de controle mínimo” para a forma esférica, conectado a plataforma de controle paramétrica para que o formato pudesse ser ajustado de acordo com os padrões estabelecido – como demonstrado na Imagem 3.

Imagem 3: desenvolvimento da forma do City Hall.

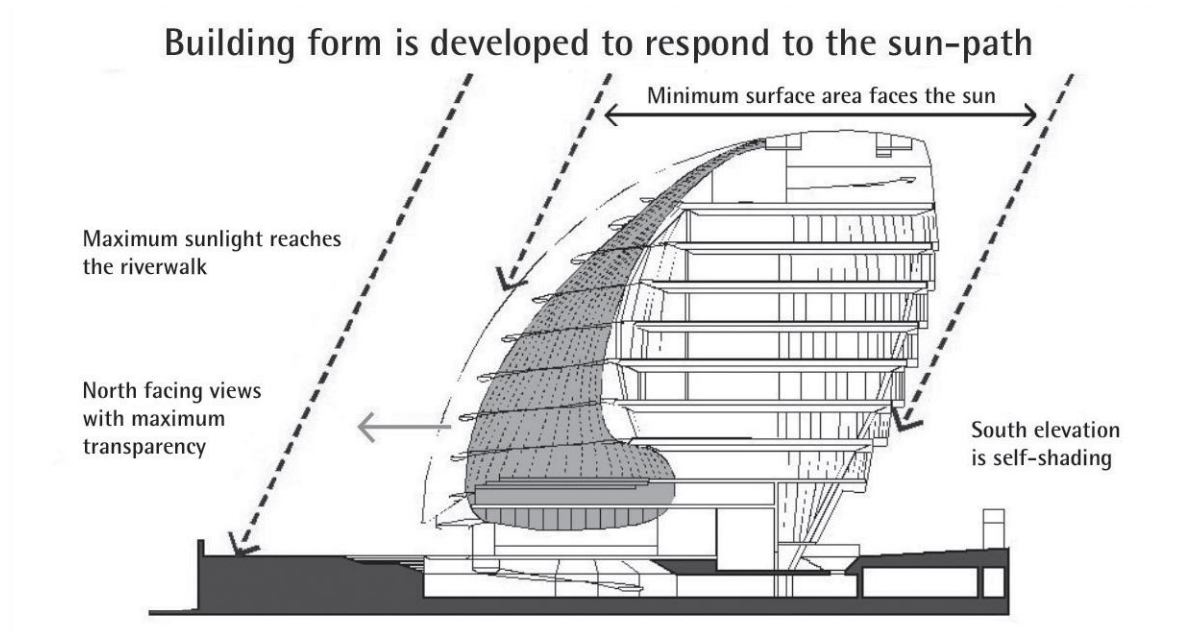


Fonte: Architecture in the Digital Age, 2003.

Embora seja mais demorado para produzir um modelo paramétrico personalizado, com este método o modelo poderia ser utilizado por vários meses para produzir alternativas em protótipos durante o desenvolvimento do projeto. Assim, a criação de um conjunto de modelos variacionais que poderiam ser usados diretamente pela equipe de design se tornou algo comum no modus operandi adotado pelo escritório.

Mediante este mecanismo de controle proporcional, os projetistas puderam ajustar as curvas dinamicamente, enquanto o sistema registrava precisamente as dimensões. Deste modo, a forma desejada com suas propriedades energeticamente eficientes foi extraída, e então, a partir dela foi gerado um modelo sólido para desenvolvimento. Dentre estas propriedades adquiridas é possível observar que o formato obtido apresenta uma área de superfície mínima em relação ao ganho solar, assim como as fachadas curvas, que contribuem para um baixo ângulo de incidência solar, como demonstra a Imagem 4.

Imagem 4: diagrama de incidência solar do City Hall.



Fonte: Architecture in the Digital Age, 2003.

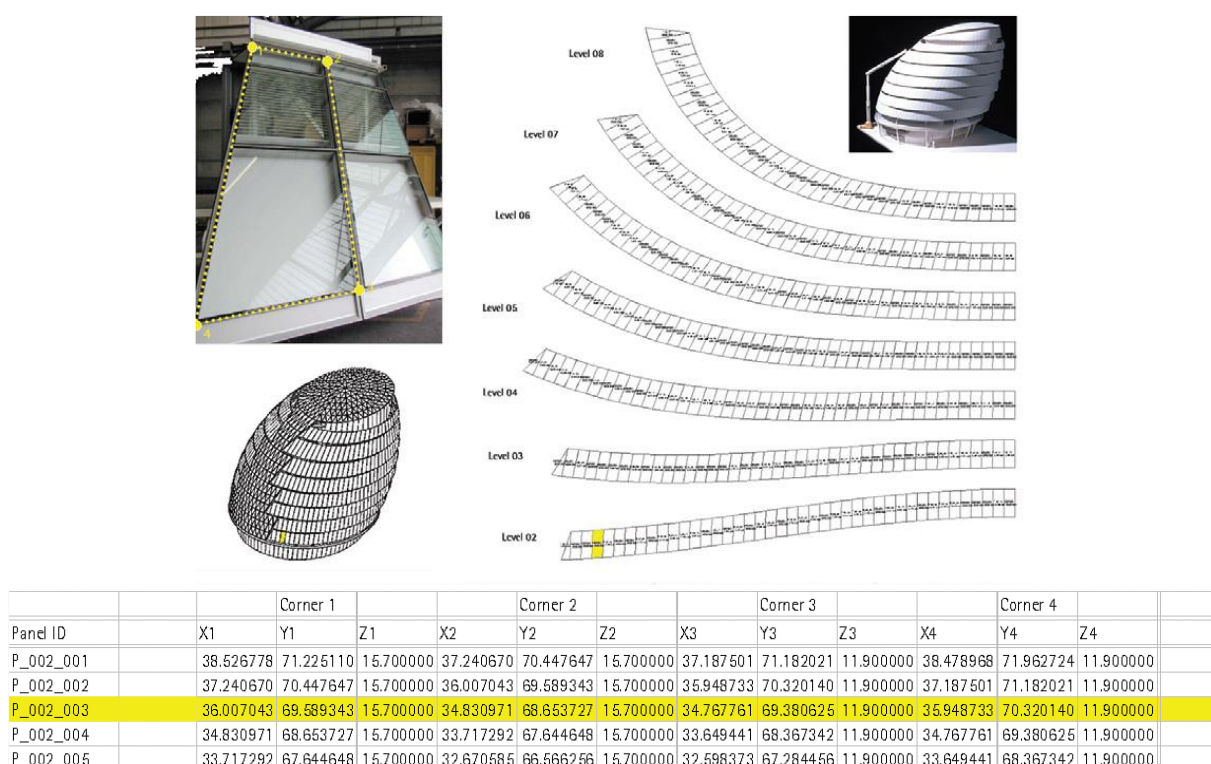
Outro elemento de destaque da obra é seu amplo átrio posicionado atrás da grande “lente”, sinalizando um vazio que desce até uma câmara de debate aberta ao público. Para a criação deste átrio foram ajustadas as curvas, manipulando-as para gerar uma superfície de recorte. Além do recorte do átrio, o design dos pavimentos também se destaca, partindo de uma forma elíptica que se encurta até tornar-se circular e depois alonga-se novamente na outra direção, seguindo sucessivamente até o topo do edifício. Cada pavimento foi estudado mediante a questão de planejamento de espaço, calculando as proporções do resultado obtido e reingressando estes dados no modelo paramétrico para apurar o desempenho e a eficiência.

Durante o processo, surgiu uma problemática referente aos painéis das fachadas, que aplicados em uma superfície adquiriam diferentes torções, pois cada um dos painéis teria dimensões únicas. Assim, através do sistema CAD e sua ligação à máquina CNC (controle numérico por computador) foi possível solucionar esta questão, eliminando as torções com a possibilidade dos painéis se levantarem da superfície, permitindo introduzir aberturas de ventilação nas laterais. Para averiguar a resolução proposta, a hipótese foi testada em um modelo físico, utilizando a máquina CNC. O resultado foi positivo, configurando uma forma construída que traduzia de modo preciso a articulação das técnicas da fabricação digital.

Performance energética

A questão energética do edifício sempre teve papel fundamental dentro da concepção do projeto e o estudo solar realizado pelos engenheiros do escritório Arup teve grande impacto na resolução do edifício. Neste estudo, a superfície do modelo foi codificada de acordo com a quantidade de energia que cada painel de revestimento proposto receberia durante um ano, sendo diferenciada por cores de acordo com a intensidade. Após obtidos, esses números de irradiância foram organizados em planilhas para melhor visualização e análise, conforme Imagem 5.

Imagem 5: estudos solares para o City Hall.

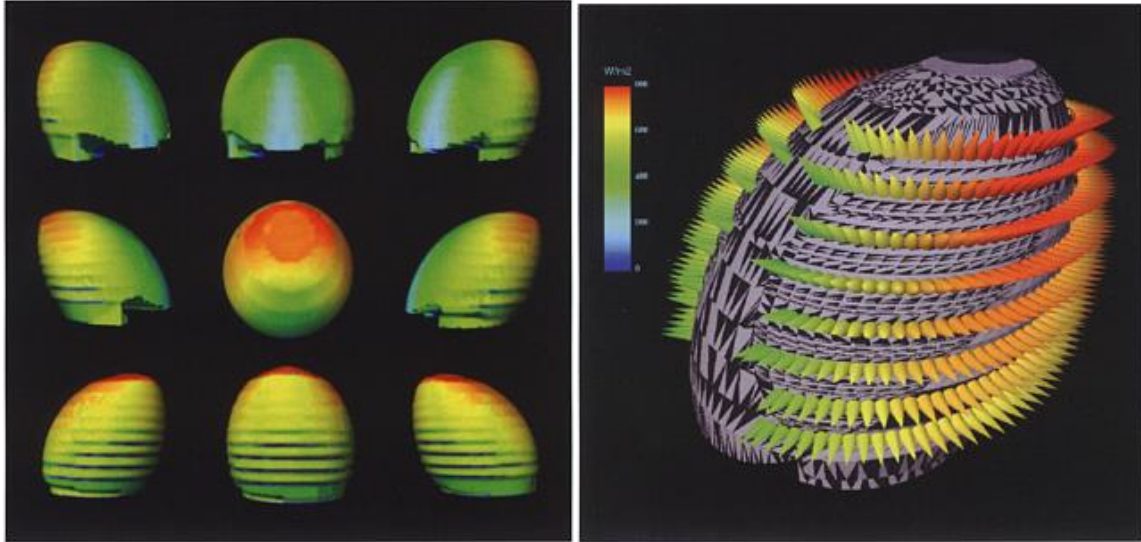


Fonte: Architecture in the Digital Age, 2003.

Através do resultado deste processo, foi possível determinar se as fachadas estipuladas seguiam os parâmetros de eficiência energética pretendidos. A cor azul, dominante na superfície sul, indicou que a fachada estava funcionando de modo eficiente e promovendo seu auto sombreamento. A cor verde, predominante nas superfícies leste e oeste, demonstrou que o ganho solar estava sendo reduzido pelos ângulos oblíquos de incidência incorporados na fachada. Já a cor vermelha, que foi verificada em uma grande área da superfície norte, advertiu que havia conflito entre o design da forma e a eficiência energética. O problema ocorria, pois, esta fachada não estava apresentando proteção solar suficiente para a “lente” proposta, e com base nestas resoluções, foram alterados o sistema

de envidraçamento do edifício e a posição dos painéis solares, buscando uma solução mais responsiva.

Imagem 6: estudos solares para o City Hall.



Fonte: Architecture in the Digital Age, 2003.

Em primeira instância, o City Hall se delineia como um caso de aparente sucesso em sua tarefa de criar um edifício sustentável, energeticamente eficiente e com estética icônica. O edifício foi construído dentro do prazo e do orçamento; o governo, a mídia e o público ficaram satisfeitos com a posição do novo governo em questões ambientais, na regeneração de áreas desfavorecidas e com a notoriedade da nova prefeitura.

O projeto tem muitos méritos técnicos que promovem a sustentabilidade, como sua forma inusitada que minimiza a área de superfície, sua fachada de alto desempenho garantindo excelente eficiência energética, geração de energia utilizando métodos alternativos, juntamente com o processo de ventilação natural, entre outros. Todos estes aspectos contribuem para que o edifício alcançasse a meta de utilizar "apenas um quarto da energia consumida por um edifício típico de escritórios de alta especificação" (FOSTER, Arquitetura e Sustentabilidade, Pág. 7).

No entanto, o sucesso do edifício como uma estrutura sustentável é ambíguo, tendo gerado críticas e controvérsias. Enquanto em algumas certificações obteve excelência, na Classificação Operacional de Desempenho Energético (DEC) do ano de 2008, o edifício foi classificado como grau E, sugerindo que o edifício não seja tão eficiente como foi calculado. Essa mesma classificação, em 2012, foi de grau D e, embora essa seja uma melhoria, é apenas um pouco acima de um edifício de escritórios típico. Dentre as críticas na questão da forma de sustentabilidade tecnológica adotada pelo projeto estão suas funções técnicas e uso

extensivo de aço (2.100 toneladas na estrutura) e de alumínio, devido aos impactos ambientais gerados na fabricação destes materiais.

Certificações:

BREEAM: prédio recebeu uma classificação excelente, tendo atingido 76%

Environmental Performance Indicator (EPI): O prédio recebeu um EPI de 10/10.

Display Energy Certificate (DEC): A classificação de 2008 foi de grau E. A partir de 2012, atingiu o grau D.

2.5. Shanghai Tower

“Urbanismo vertical. A Shanghai Tower foi projetada para abraçar e estimular a vida da cidade... ao enfatizar o espaço público e localizar lojas, restaurantes e instalações urbanas nos níveis do átrio, a Shanghai Tower oferece uma nova experiência para viver e trabalhar em torres super altas.” (XIA, PENG, 2015). Shanghai Tower, ou Torre de Xangai, constitui-se como um arranha-céus localizado no distrito financeiro de Pudong, em Xangai, na República Popular da China. Inaugurado em 2015, o edifício conta com cerca de 632 metros de altura, divididos em 128 andares, ocupando uma área de cerca de 380.000 metros quadrados. De autoria do escritório Gensler o edifício ganhou o título de segundo arranha-céu mais alto do mundo e o maior da China; segundo o The Council on Tall Buildings and Urban Habitat (CTBUH) é o terceiro edifício no mundo a ultrapassar os 600 metros de altura.

O projeto surgiu a partir de um concurso internacional realizado em 2008, no qual seu design exclusivo e complexo, juntamente com sua forma responsiva ao meio ambiente, resultaram na escolha do mesmo como vencedor. A torre é dividida em um programa organizado em nove zonas verticais - de 12 a 15 andares cada – empilhadas criando “bairros verticais”, os quais cada uma parte de um hall contendo um átrio iluminado por luz natural. A criação de 21 átrios e a busca pela iluminação natural enfatizam sua caracterização como edifício sustentável. Sua forma espiralada simboliza a emergência da China, mas também representa 24% de redução nos esforços causados pelo vento, se comparado com edifícios retangulares. Além disso, um entalhe localizado em um dos cantos – que sobe e rotaciona - aumenta a estética e a sustentabilidade do projeto.

Imagem 7: Shanghai Tower.



Fonte: Baycrest, 2015.

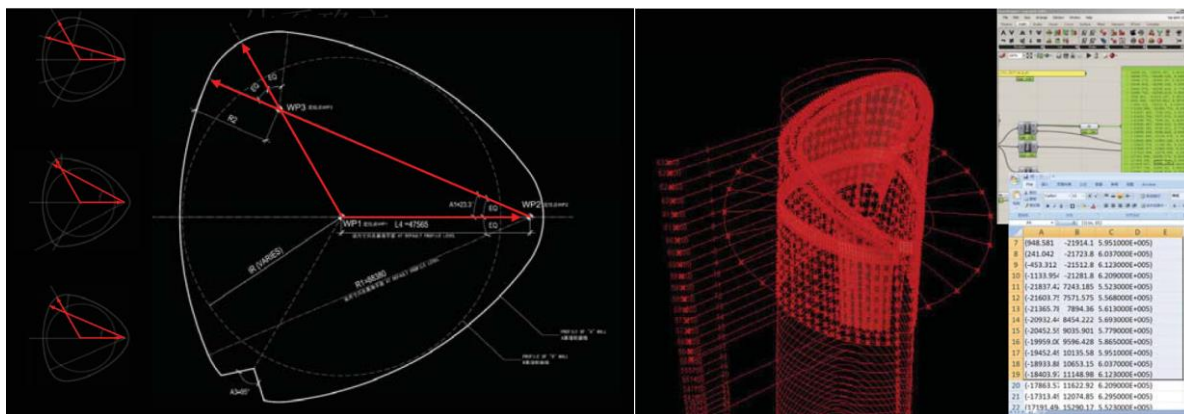
Design da forma

Para obter a forma complexa da fachada e da estrutura da torre a equipe de design da Gensler contou com uma plataforma de ferramentas paramétricas avançadas, conferindo três benefícios principais ao projeto. Primeiro, permitiu à equipe visualizar a complexidade do design de uma maneira simples. A forma triangular, torcida e afilada da forma, as múltiplas configurações de vidro e junta da fachada e as complexidades de sua estrutura foram modeladas com design paramétrico. Segundo, permitiu iterar e testar as opções de design durante um cronograma de design muito rápido. Por exemplo, desenvolver um perfil horizontal padrão em um perfil vertical completo por meio de modelagem paramétrica foi exponencialmente mais rápido do que construir todas as linhas por cada andar, como no projeto tradicional auxiliado por computador. Terceiro, ajudou no desenvolvimento de uma metodologia que pudesse ser usada nas várias disciplinas necessárias para realizar o edifício. Engenheiros estruturais e de fachada, fabricantes de vidro e aço e o cliente do projeto se comunicaram por meio de modelos desenvolvidos em design paramétrico.

A fachada da Shanghai Tower é composta por perfis horizontais em forma de triângulo equilátero com vértices arredondados e um entalhe em um dos vértices, que configura seu

perfil vertical que se torce e diminui à medida que sobe, designando que cada andar do edifício seja diferente. Assim, todos os pisos têm a mesma forma, porém cada piso é girado aproximadamente 1% daquele abaixo e os pisos diminuem à medida que o edifício aumenta. A equipe de projeto usou o software paramétrico para definir a geometria complexa do edifício e criar um modelo associativo que integra o edifício e a fachada – conforme ilustrado na Imagem 8. Para isso, foram utilizados os programas Grasshopper e Excel, com suas informações sendo exportadas e reintroduzidas estes eles até que se atingisse os parâmetros desejados. Então, os dados resultantes foram importados para o Autodesk Revit para gerar o modelo final. Foi utilizado o Microsoft Visual C # para que o Revit pudesse ler o arquivo Excel diretamente. Assim, os estudos de modelagem integrada incluíram três aspectos da forma 2D e 3D do edifício: seu perfil horizontal (a geometria padrão da planta), sua escala e sua rotação.

Imagem 8: Um estudo no Rhino com Grasshopper para determinar o ângulo A1, produzindo a curvatura ideal dos cantos da torre.

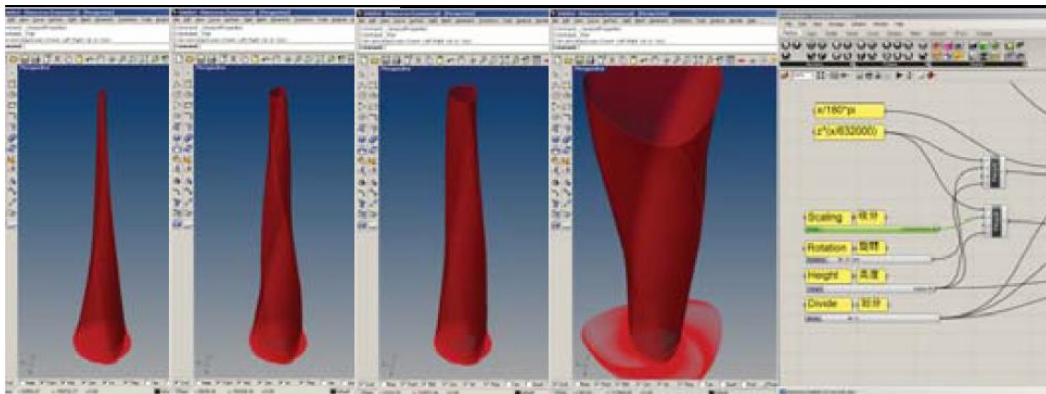


Fonte: XIA, PENG, 2012.

O primeiro desafio foi definir o perfil horizontal. A equipe de Gensler já havia determinado na fase de competição do projeto que a base da fachada externa seria este triângulo equilátero com vértices arredondados. Eles precisavam otimizar a curvatura desses cantos para atender a critérios estéticos, funcionais e sustentáveis - ou seja, otimizar a aparência dos cantos e o uso dos átrios criados entre as fachadas externa e interna, para equilibrar a “área de piso bruto” do edifício (gross floor area - GFA), assim como minimizar o efeito do carregamento do vento e melhorar a eficiência energética. Para fazer isso, eles inseriram dados básicos no software paramétrico e alteraram o ângulo para produzir diferentes configurações. A partir deste estudo, eles determinaram que um ângulo A1 de 23,3 graus criou a transição tangencial ideal entre cantos e lados equiláteros. Isso resultou em uma forma de construção suave que poderia ser testada quanto à rotação e escala. A transição de esquina de cada andar da Shanghai Tower, derivada da A1 ideal de 23,3 graus, permaneceria constante em toda a altura do edifício.

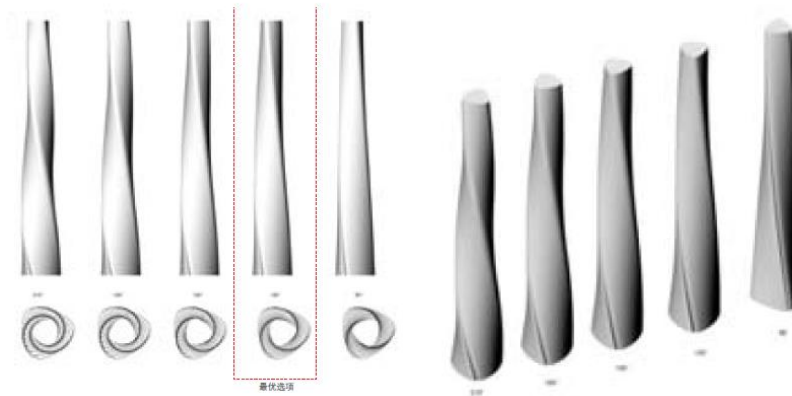
Após esta etapa do processo, foi gerada uma fórmula para determinar a transição da escala entre os pisos e um design interessante para a torre, desenvolvendo um perfil vertical através da rotação e escala estipulados para o edifício. Esta equação utilizada foi a seguinte: $y = e^{z*s}$, onde y = a porcentagem de escala, e = constante matemática (número de Euler), z = elevação e s = escala. Foram realizados testes com redução linear e exponencial e, com isso, foi possível obter e comparar várias combinações através do software paramétrico, e partir desses modelos foram ajustados parâmetro como rotação, escala e elevação. A imagem 9 ilustra esse processo, onde valores da constante “s” abaixo de 100% produziram modelos escalados de baixo para cima, enquanto valores acima de 100% produziram o inverso. Após diversos protótipos e análises, a equipe de projeto escolheu qual seria o modelo definitivo para a torre (destacado na Imagem 10), adotando uma rotação de 120 graus e uma escala de 55% da base para o topo em função de aprimorar questões de funcionabilidade, sustentabilidade e estética.

Imagem 9: Estudos paramétricos da escala da Shanghai Tower.



Fonte: XIA, PENG, 2012.

Imagem 10: modelo escolhido (destacado em vermelho) pela equipe de design após diversos estudos.



Fonte: XIA, PENG, 2012.

Depois de concluída esta etapa inicial de projeções com base em dados puramente geométricos, foi criado um modelo intermediário que incluía e integrava a estrutura de suporte e a fachada do edifício. “Outro fator decorrente, foi a relação geométrica entre os pisos subsequentes, assim como, entre as unidades individuais do painel da fachada, que pode ser entendida, integrada e otimizada.” (XIA, PENG, 2015). Por fim, na etapa final deste processo o modelo associativo foi detalhado e desenvolvido mais profundamente, até compor todos os aspectos e sistemas adjacentes necessários, integrando-os como solução geral para sua construção. Esse processo interativo permitiu à Shanghai Tower economizar US \$58 milhões em aço estrutural necessário.

Em última análise, as ferramentas de design paramétrico permitiram que a arquitetura exclusiva da equipe Gensler fosse construída de forma eficiente e segura, tornando-se uma solução condizente com a intenção do cliente e fornecendo uma imagem icônica para Xangai, que configura sua preocupação com economia e sustentabilidade.

Certificações:

LEED: Em 2015, o U.S. Green Building Council conferiu a Certificação LEED-CS Platinum ao edifício, a mais alta classificação dentro da categoria.

3-Star Green Building Design Identity Certificate: O Ministério da Habitação e Desenvolvimento Urbano-Rural concedeu oficialmente o certificado à Shanghai Tower.

BOMA/COE: Em 2017, a Shanghai Tower passou formalmente nas cinco avaliações da certificação BOMA COE e se tornou o primeiro edifício com sistema internacional de operação e gerenciamento na China.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nas análises dessa nova maneira de projetar na Era Digital considerando a parametrização e os estudos de caso aferidos é possível afirmar que as plataformas de design paramétrico permitem resultados altamente precisos e boa correlação entre modelo e sua forma construída. Foi possível constatar que essas ferramentas, além de flexíveis e adaptáveis, oferecem feedback instantâneo às diversas variáveis e a capacidade de realizar várias alterações simultaneamente. Dessa forma, essa dinâmica possibilita que os projetistas entendam melhor os estudos de massa interativos enquanto observam o impacto relativo no desempenho geral dos sistemas envolvidos, criando resultados com maior eficiência, consequentemente.

Através deste método, formas arquitetônicas cada vez mais complexas puderam ser desenvolvidas nas plataformas de ferramentas paramétricas avançadas, conferindo benefícios ao projeto. Dentre estas vantagens, permitiu visualizar a complexidade do design de um modo mais simples e didático, possibilitando testar as opções de design durante um cronograma muito rápido. Por meio de modelagem paramétrica, o processo de design e concepção do projeto tornou-se exponencialmente mais rápido, ao invés de construir todas as linhas de cada andar, como no modo de projetar tradicional auxiliado por computador.

Além disso, auxiliou no desenvolvimento de uma metodologia que pudesse ser usada nas várias disciplinas necessárias para desenvolver e construir o edifício; fazendo com que profissionais de diferentes campos e o cliente do projeto se comuniquem por meio de modelos desenvolvidos em design paramétrico de forma integrada. Também foi responsável por ressignificar o papel do arquiteto posicionando-o como peça central de contentor das informações dos sistemas e demais atividades dentro desta equação.

Outro motivo importante para o uso do projeto paramétrico nos casos analisados foi sua assistência na criação de edifícios sustentáveis, à medida que atrelou referenciais específicos para seus desenvolvimentos, como a eficiência energética, redução de material ou diminuição das cargas de vento, por exemplo. Esta contribuição para uma arquitetura mais responsável ambientalmente é perceptível e vem sendo aprimorada conforme foi possível constatar através dos órgãos de certificações e suas análises, apesar de suas divergências de metodologias e diversificações.

Assim, a parametrização na arquitetura pode ser considerada como um modelo de inovação e integração, acelerando o desenvolvimento no âmbito da concepção do projeto e sua construção, delineando novas possibilidades e ampliando o campo da profissão.

4. REFERÊNCIAS

- ANG, B. W. **Monitoring changes in economy-wide energy efficiency**: From energy–GDP ratio to composite efficiency index. *Energy Policy*, v. 34, p. 574-582, 2006.
- CELANI, Maria Gabriela Caffarena. PUPO, Regiane Trevisan. **Ensino da prototipagem rápida e fabricação digital para arquitetura e construção no Brasil: definições e estado da arte**. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas: FEC UNICAMP, v. 1, n. 3, 2008.
- ENFLO, K.; HENRIQUES, S. **Bias-corrected estimates of Total Factor Energy Efficiency in OECD and Non-OECD countries 1965-1990**. Department of Economic History Lund University Work in progress, 2007. Disponível em: <<http://www.ekonomiskhistoria.se>>. Acesso em 10 fev. 2020.
- FLORIO, Wilson. **Modelagem paramétrica na concepção de elementos construtivos de edifícios complexos**. Maceio: ENTAC, 2014.
- INMETRO. **Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial**. Disponível em: Acesso em: 08 abr. 2020.

KOLAVERIC, Branko. **Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing**. Oxford: Taylor & Francis, 2004. 314 p. ISBN 0-415-27820-1.

KOLAREVIC, Branko; MALKAWI, Ali M. **Performative Architecture Beyond Instrumentality**. Nova Iorque: Taylor & Francis, 2009.

MARTINS, Iago Longue; PEREIRA FILHO, Zander Ribeiro. **A produção acadêmica sobre a fabricação digital nas escolas brasileiras de arquitetura e urbanismo**. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, SP, v. 10, p. e019007, fev. 2019. ISSN 1980-6809.

NARDELLI, Eduardo Sampaio. **Arquitetura e projeto na era digital**. *Arquiteturarevista* - Vol. 3, nº 1: 28-36, janeiro/junho 2007. ISSN 1008-5741.

PETERS, T.; PETERS B. **Inside Smartgeometry: Expanding the Architectural Possibilities of Computational Design**. AD Smart 1. John Wiley & Sons Ltd: West Sussex, 2013.

SCHMITT, G.: 1999, **Information architecture: basis of CAAD and its future**, A. Saggio (ed), Birkhäuser, Basel, p. 41

SCHOCH, Odilo. **Applying digital smart technologies for a sustainable architecture**. Zurique: J CULT HERIT, 2009.

The New York Times. **Conserving Everyone's Energy but His Own**. Disponível em: <<https://www.nytimes.com/2003/11/23/arts/architecture-conserving-everyone-s-energy-but-his-own.html>>. Acesso em junho de 2020.

UMAKOSHI, E. **Avaliação de Desempenho Ambiental e Arquitetura Paramétrica Generativa para o Projeto do Edifício Alto**. 238p. Tese (Doutorado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

XIA, Jun e PENG, Michael. **The Parametric Design of Shanghai Tower's Form and Façade**. 2012. Original Publication: CTBUH 2012 9th World Congress, Shanghai.

Contatos: isabelasalvajoli@gmail.com e charles.vincent@mackenzie.br.