

Raoni Venâncio \*

# Precedentes Algorítmicos: explorando o potencial criativo do reuso e adaptação de modelos paramétricos

\*

**Raoni Venâncio** é professor efetivo do curso de Arquitetura e Urbanismo da UFCG desde 2013 e líder do Grupo de Pesquisa D-Solar. Sua pesquisa explora a integração de ferramentas digitais e suas implicações epistemológicas no projeto arquitetônico. Possui experiência acadêmica e prática em simulações de desempenho (eficiência energética, conforto térmico, iluminação natural e CFD), otimização evolucionária, modelagem paramétrica e tecnologia BIM. Seu trabalho destaca o uso de tecnologias digitais diversas para aprimorar a concepção de edifícios, unindo teoria e prática para desenvolver soluções inovadoras e eficientes.

<raoni.venancio@professor.ufcg.edu.br>  
ORCID 0000-0002-0183-2031

**Resumo** Esta pesquisa investiga a lógica computacional por trás de formas arquitetônicas geradas parametricamente, visando criar novos modelos com base em princípios lógicos análogos aos casos analisados. Parte-se da premissa de que há uma relação intrínseca entre a forma arquitetônica e as regras matemáticas que as produziram, permitindo a hipótese inversa: ao analisar formas geradas por parametrização, é possível identificar e reproduzir as lógicas computacionais subjacentes. A compreensão dos mecanismos geradores de uma geometria tem o potencial de permitir a identificação, adaptação e transferência de elementos lógicos de um precedente projetual que podem ser reusados e ajustados em novas situações de projeto, produzindo variações geométricas distintas que são geradas por princípios lógicos similares ou análogos. A pesquisa ocorre em duas etapas: primeiro, são selecionados três exemplos arquitetônicos cujas lógicas formais permitem modelagem paramétrica; depois, investiga-se como modelos paramétricos podem gerar novas formas ao reutilizar e adaptar elementos da lógica computacional desses precedentes a partir do estabelecimento de analogias de projeto.

**Palavras-chave** Modelagem Paramétrica, Precedentes, Analogias de Projeto.

### **Algorithmic Precedents: exploring the creative potential of the reuse and adaptation of parametric models**

**Abstract** *This research investigates the computational logic behind parametrically generated architectural forms, aiming to create new models based on logical principles analogous to the analyzed cases. It starts from the premise that there is an intrinsic relationship between architectural form and the mathematical rules that produced it, allowing for the inverse hypothesis: by analyzing forms generated through parameterization, it is possible to identify and reproduce the underlying computational logics. Understanding the generative mechanisms of a geometry has the potential to enable the identification, adaptation, and transfer of logical elements from a design precedent that can be reused and adjusted in new design situations, producing distinct geometric variations generated by similar or analogous logical principles. The research takes place in two stages: first, three architectural examples whose formal logics allow parametric modeling are selected; then, it investigates how parametric models can generate new forms by reusing and adapting elements of the computational logic of these precedents through the establishment of design analogies.*

**Keywords** *Parametric Modeling, Precedents, Analogías de Proyecto.*

### **Precedentes algorítmicos: explorando el potencial creativo de la reutilización y adaptación de modelos paramétricos**

**Resumen** *Esta investigación investiga la lógica computacional detrás de las formas arquitectónicas generadas paramétricamente, con el objetivo de crear nuevos modelos basados en principios lógicos análogos a los casos analizados. Se parte de la premisa de que existe una relación intrínseca entre la forma arquitectónica y las reglas matemáticas que la produjeron, lo que permite plantear la hipótesis inversa: al analizar formas generadas mediante parametrización, es posible identificar y reproducir las lógicas computacionales subyacentes. Comprender los mecanismos generativos de una geometría tiene el potencial de permitir la identificación, adaptación y transferencia de elementos lógicos de un precedente proyectual que pueden ser reutilizados y ajustados en nuevas situaciones de diseño, produciendo variaciones geométricas distintas que son generadas por principios lógicos similares o análogos. La investigación se desarrolla en dos etapas: primero, se seleccionan tres ejemplos arquitectónicos cuyas lógicas formales permiten la modelización paramétrica; luego, se investiga cómo los modelos paramétricos pueden generar nuevas formas al reutilizar y adaptar elementos de la lógica computacional de estos precedentes mediante el establecimiento de analogías de diseño.*

**Palabras clave** *Modelado Paramétrico, Precedentes, Analogías de Diseño.*

## Introdução

Na última década, o uso de recursos de parametrização vem crescendo tanto no âmbito acadêmico quanto na prática de grandes escritórios de arquitetura. O projeto paramétrico é uma abordagem computacional que trata as propriedades geométricas de um projeto como variáveis manipuláveis (SCHUMACHER, 2009). Isso significa que formas, ângulos, relações topológicas, curvaturas, e outras características podem ser ajustados por meio de parâmetros, tornando o objeto projetado extremamente maleável à mudança. O objeto passa, segundo Schumacher (2009), a ser concebido como “*uma rede relações ou interdependências*”.

A geometria final de um projeto paramétrico é a expressão direta das regras e instruções que compõem a lógica interna que a gerou. E se, em vez de traçarmos analogias partindo das características de determinada forma acabada (precedente), usássemos como fonte de conhecimento os princípios lógicos adotados para gerar essa forma (precedente algorítmico)?

O raciocínio analógico aplicado a algoritmos de modelagem paramétrica é um tema pouco explorado e, por essa razão, o objetivo geral deste estudo consiste em *investigar a lógica computacional subjacente a formas arquitetônicas geradas parametricamente, de maneira a viabilizar a criação virtual de novos modelos paramétricos com base em princípios lógicos análogos aos casos analisados.*

Dentre os objetivos específicos deste estudo, destacam-se:

1. Selecionar três projetos arquitetônicos cujas lógicas formais se revelem suficientemente legíveis para futura reconstrução (prospecção);
2. Elaborar modelos paramétricos similares ou análogos a cada um dos projetos selecionados, com base nas informações coletadas (reconstrução);
3. Explorar o potencial do uso desses precedentes algorítmicos para, por meio de analogias com partes de sua lógica computacional ordenadora, gerar novos modelos (reuso e adaptação).

## Uso de precedentes no projeto e raciocínio analógico

Ao estudar soluções pré-existentes, arquitetos podem acessar ideias e conceitos relevantes que podem informar seus projetos atuais (OXMAN, 1994), o que faz com que a atividade de projeto possa ser interpretada como “*um processo dinâmico de adaptação e transformação do conhecimento de experiências anteriores de forma a acomodá-las às contingências do presente*” (OXMAN, 1990).

No processo de uso e adaptação de precedentes, Zarzar (2003) aponta que projetistas analisam o valor de uma estrutura e/ou configuração de um certo artefato em relação a questões específicas que incomodam suas mentes, armazenando essas informações em sua memória ou arquivos. Em seguida, esse precedente será invocado heurísticamente como conhecimento de projeto que vai auxiliá-los no processo criativo.

A transferência de conhecimento entre um protótipo (precedente) e uma solução que se deseja elucidar ocorre com o estabelecimento de analogias. Oxman (1990) aponta que o raciocínio analógico é um processo cognitivo que envolve encontrar semelhanças entre diferentes domínios ou situações. É uma forma de raciocínio que nos permite transferir conhecimentos ou soluções de um contexto para outro. No âmbito do projeto, a autora afirma que o raciocínio analógico envolve combinar conceitos e descrições de um domínio de origem com um domínio de destino.

Casakin (2004) aborda o uso de analogias visuais no processo de projeto de arquitetos e estudantes. O autor destaca que o processo de transferência de conhecimentos de uma situação familiar (fonte) para uma situação que precisa ser elucidada (alvo) é composto por duas etapas:

- (i) *Identificação e recuperação*: os projetistas identificam e representam a situação-alvo, concentrando-se em vários atributos que podem conter princípios abstratos de solução. Essas características servem como dicas para recuperação na memória, permitindo acesso a conhecimentos relevantes sobre situações conhecidas.
- (ii) *Mapeamento e transferência*: os projetistas estabelecem correspondências entre objetos e relações nas situações fonte e alvo, buscando transferir princípios analógicos.

O uso de precedentes permite aos arquitetos acessar ideias e conceitos relevantes, informando seus projetos atuais e facilitando o processo criativo. A literatura aborda o uso de precedentes que podem ser experienciados ou a partir de informações visuais, tanto de edificações quanto de artefatos fora do domínio da arquitetura.

Até que ponto as mesmas teorias são válidas para descrever o uso de algoritmos como precedentes de projeto para gerar novas formas paramétricas é uma questão ainda não abordada pela literatura.

## O projeto paramétrico e suas implicações epistemológicas

O projeto paramétrico é descrito por Hudson (2010) como uma maneira de desenvolver a descrição de um problema de projeto baseada nas relações entre objetos e parâmetros. Ao mudar os parâmetros, são geradas novas variações do projeto.

Woodbury (2010) destaca que o projeto paramétrico depende do estabelecimento de relações e da disposição e capacidade do projetista de considerar essa rede de interdependências como parte integrante do processo de concepção mais amplo. Inicialmente, o projeto paramétrico exige que o projetista interrompa momentaneamente a atividade direta de concepção e se concentre na lógica que conecta os elementos de projeto.

O autor afirma que projetistas precisam prever efeitos persistentes para compreender a diversidade e a estrutura de recursos matemáticos, navegando entre os efeitos pretendidos no projeto e a invenção matemática que os modela. A necessidade de aplicar um novo modo de pensamento, se-

gundo Woodbury (2010), produz o benefício de ampliar o escopo intelectual usado no projeto ao tratar de forma explícita a representação de ideias que eram comumente abordadas intuitivamente. O autor aborda três tipos de raciocínio envolvidos no pensamento paramétrico:

- Pensamento abstrato: potencializa uma abordagem generativa, que produz alternativas em paralelo e permite o reuso de partes de modelos anteriores. Tanto projetistas quanto programadores profissionais utilizam a abstração para tornar seu trabalho mais eficiente e aplicável em diferentes situações. As abstrações são importantes na modelagem porque permitem reutilizar algoritmos e remover elementos excessivamente específicos, tornando os modelos mais adaptáveis e eficientes;
- Pensamento matemático: envolve o uso de teoremas e construções geométricas para definir a linguagem de programação que possibilita a representação e a geração de alternativas. Embora nem todos os projetistas abordem seu trabalho de maneira explicitamente matemática, eles ainda dependem de conceitos e mecanismos matemáticos para informar suas decisões;
- Pensamento algorítmico: o uso de linguagem de programação que estabelece funções para adicionar, repetir, modificar ou remover partes de um modelo paramétrico. O pensamento algorítmico requer a capacidade de decompor um problema em uma série de instruções ou procedimentos sequenciais. É uma abordagem que exige precisão e atenção aos detalhes para não ocorrer falhas no algoritmo.

Oxman (2017) destaca que o pensamento paramétrico baseia-se na síntese de princípios, conceitos e métodos de projeto, com o projetista criando um código para um esquema paramétrico que orienta o processo de projeto. Esse esquema paramétrico representa um modelo matemático único que suporta a geração de formas por meio de processos algorítmicos. Em contraste com processos de concepção tradicionais, a autora é categórica ao abordar o projeto paramétrico como um modelo único e distinto de projeto, que pode ser dividido em duas partes:

- i) *a concepção do esquema paramétrico*: envolve a criação de conjuntos de regras que têm o potencial de gerar diversas soluções aceitáveis. O projetista estabelece as bases para o processo de criação, mas a solução final não é fixa neste estágio.
- ii) *o processo iterativo de modificação dos parâmetros*: neste estágio, os parâmetros do esquema paramétrico são ajustados interativamente para explorar diferentes famílias de soluções.

Oxman (2017) também enfatiza a importância da criação de algoritmos (*scripting*) na concepção projetual, o que demanda habilidades cognitivas e computacionais para formalizar, representar e codificar procedimentos de projeto. Em contraste com os processos tradicionais, onde o foco está na melhoria de uma solução específica, no projeto paramétrico, o processo reflexivo se concentra na definição do esquema e das regras que podem gerar múltiplas soluções aceitáveis.

Assim, a formulação de um esquema paramétrico é uma capacidade cognitiva fundamental que estimula a criatividade do projetista. O esquema paramétrico pode ser adaptado e refinado ao longo de todo o processo de concepção, com mecanismos de exploração e refinamento de decisões. Isso resulta em uma interação entre a forma visual e o código subjacente, onde o modelo paramétrico revela a estrutura lógica que deu origem a cada forma produzida.

Como no projeto paramétrico o projetista concebe um algoritmo para gerar diversas variações de soluções possíveis, há uma evidente mudança do processo reflexivo tal como proposto por Schön (1983). A predominância do desenho, da imagem ou modelo como gatilho do mecanismo denominado pelo autor como uma “*conversa com a situação de projeto*” dá lugar a uma interação entre a forma visual e o código que a origina, ou seja, o modelo paramétrico deixa explícita a estrutura lógica que originou cada forma produzida. A finalidade do processo reflexivo deixa de ser o aperfeiçoamento de uma solução determinada para se concentrar no esquema, conjuntos de regras que podem originar diversas soluções aceitáveis.

Embora o reaproveitamento de códigos seja uma prática comum para um programador – o que requer alto grau de coesão, legibilidade e organização do código, Woodbury (2010) aponta que projetistas tendem a reconstruir algoritmos em vez de reaproveitar. Segundo o autor, projetistas modelam apenas o que precisam, com a confiança e a completude necessárias. Isso significa que eles criam apenas as partes do projeto que são essenciais e necessárias para atingir seus objetivos, sem se preocupar em criar um modelo paramétrico altamente reutilizável ou otimizado. Desse modo, no contexto do design paramétrico, é comum criar códigos “*descartáveis*”, ou seja, que não precisam ser altamente otimizados ou reutilizáveis. Em vez disso, os projetistas paramétricos frequentemente criam códigos que atendem a uma necessidade específica em um determinado momento, sem se preocupar excessivamente com a clareza e a eficiência do código em relação a critérios de programação convencionais.

Embora não seja usual o reuso de partes consideráveis de um determinado modelo, é relativamente comum a cópia de partes de um modelo que executam determinada operação. Assim, operações de copiar-colar determinados elementos e ajustar blocos de códigos inteiros são práticas comuns entre projetistas, mas são consideradas pouco eficientes para um programador profissional (WOODBURY, 2010).

Considerando que o projeto paramétrico tem uma epistemologia própria em comparação com processos tradicionais de concepção e que sua aplicação prática envolve habilidades e conhecimentos específicos, é relevante identificar até que ponto a aquisição desse novo vocabulário e o entendimento sobre princípios lógicos ordenadores da forma podem ser usados de forma criativa em outras situações de projeto.

## Método

Apesar de utilizar recursos de programação na modelagem paramétrica, processos norteados por princípios lógico-matemáticos, a abordagem metodológica deste artigo é essencialmente qualitativa.

O trabalho busca primeiramente reconstruir, partindo da análise de informações gráficas de três estudos de caso, modelos paramétricos que possam produzir formas similares ou idênticas.

Depois desse processo de apreensão e execução computacional da lógica subjacente a cada estudo de caso, na segunda etapa será proposta uma transposição de elementos lógicos de cada um dos três modelos-fonte para uma situação-alvo de projeto correspondente. Esse procedimento envolve a execução de três processos de concepção, método de pesquisa pouco comum no meio acadêmico, mas abordado em profundidade por Pedgley (2007). Vale salientar que algumas simplificações nessa atividade de concepção foram propostas para enfatizar o estabelecimento de analogias de projeto em ambiente de modelagem paramétrica a partir de precedentes algorítmicos. Desse modo, as três situações-alvo de projeto não são pré-definidas nem tampouco foram delimitadas restrições programáticas e condicionantes de projeto. A definição de cada situação-alvo é realizada a partir do modelo-fonte – embora não seja necessário que ambos os projetos compartilhem um mesmo programa arquitetônico. Essa simplificação é importante para garantir que as analogias entre as situações-fonte e alvo não sejam enfraquecidas ou até inviabilizadas pela vasta gama de critérios e necessidades inerentes a qualquer projeto real.

As atividades previstas foram divididas em três etapas, cujas atividades são descritas em seguida:

Parte I - Seleção de projetos a serem reconstruídos parametricamente (prospecção);

Parte II – Modelagem paramétrica dos projetos selecionados (reconstrução virtual);

Parte III - Estabelecimento de analogias para criar novos modelos (reuso e adaptação).

### Parte I: seleção dos projetos (prospecção)

Para ampliar a diversidade de possíveis soluções nas experimentações realizadas, o estudo aborda três categorias de elementos que nortearam a seleção dos três objetos arquitetônicos a serem explorados:

1. **Pele:** elementos físicos que compõem a envoltória da edificação, normalmente permitindo a obstrução da radiação solar, sobretudo quando essas superfícies formam uma segunda camada exterior aos fechamentos dos ambientes;
2. **Forma:** se refere ao volume final da edificação que delimita os espaços internos;

3. **Estrutura:** elementos estruturais individuais que formam um sistema estrutural cuja geometria determina a forma.

Foi selecionado um projeto para cada categoria, desde que obedecessem às seguintes condições:

1. **Legibilidade da lógica computacional:** são soluções cujos princípios ordenadores da forma são passíveis de serem deduzidos pelas imagens do projeto;
2. **Inexistência de material auxiliar:** foram eliminados projetos abordados em vídeos tutoriais ou material de natureza semelhante na data de execução desses procedimentos.

Os seguintes projetos foram selecionados:

**Pele:** Showroom Kiefer Technic (Ernst Giselbrecht + Partner)

O *Kiefer Technic Showroom* é um projeto de Ernst Giselbrecht + Partner, escritório de arquitetura austríaco fundado em 1985 (Figura 1). A edificação conta com ambientes de escritório e espaço expositivo com fachada dinâmica que se adapta às condições externas, otimizando o clima interno, ao mesmo tempo que permite aos usuários personalizar seus próprios espaços com controles individuais. O exterior do edifício é composto por painéis eletrônicos de alumínio perfurado, que podem mudar continuamente, transformando a fachada em uma escultura dinâmica (GISELBRECHT, [s. d.]; VINNITSKAYA, 2010).

**Figura 1:** Proteções solares dobráveis cujo movimento pode ser determinado por lógicas computacionais.

**Fonte:** (GISELBRECHT, [s. d.]).



Como o foco da análise é na identificação dos princípios lógicos que permitem a abertura de cada módulo da fachada, a reconstrução do modelo paramétrico se limita à fachada curva da edificação – tornando desnecessária uma análise de projeto mais ampla e aprofundada.

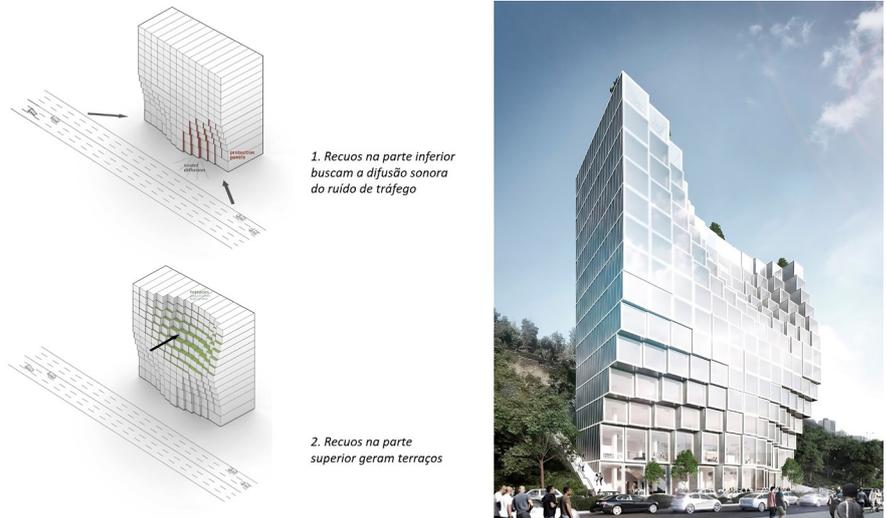
**Forma:** K1299 (uso misto), BAD Architects, Líbano

K1299 é um projeto de edifício de uso misto localizado em Beirute, no Líbano, concebido por BAD Architects (Built by Associative Data) (Figu-

ra 2). O edifício possui um volume esculpido que faz a mediação entre uma rodovia movimentada e um bairro residencial. Os arquitetos usaram um escalonamento de prismas retangulares para atenuar o ruído da rodovia e gerar terraços em alguns módulos (BAD, 2015).

**Figura 2:** Edifício de uso misto no Líbano.

**Fonte:** adaptado de (BAD, 2015).

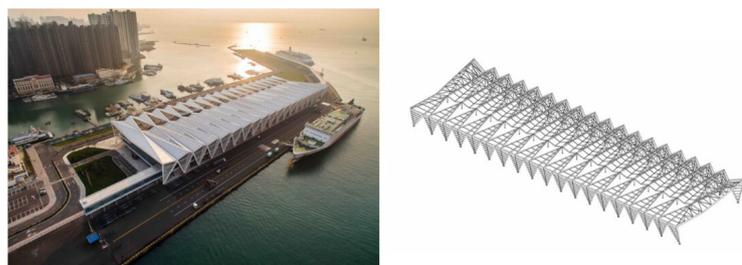


Estrutura: Qingdao Terminal de Cruzeiros / CCDI - MOZHAO Studio + CCDI JING Studio

O Terminal de Cruzeiros de Qingdao é um projeto à beira-mar localizado em Qingdao, China (Figura 3). A edificação está situada no cais que margeia a entrada do principal porto da cidade. O terminal cobre uma área de 59.920 metros quadrados e foi concluído em 2015. O terminal inclui transporte, escritórios, comércio e espaços de exposição (WHAT'S IN PORT, [s. d.]). O desenho do terminal foi inspirado nas velas dos barcos que partiam dos portos próximos (GRIFFITHS, 2017), resultando em uma forma marcada pelas dobras de suas superfícies de cobertura e fachada.

**Figura 3:** Edificação portuária em Qingdao, China.

**Fonte:** adaptado de (ARCHDAILY, 2017)



## Parte II: reproduzindo lógicas computacionais (reconstrução virtual)

A identificação das regras internas que regem as relações entre as partes de cada projeto foi feita a partir da análise de cada forma. Ao identi-

ficar os princípios ordenadores de cada forma, foram elaborados os modelos paramétricos desses projetos.

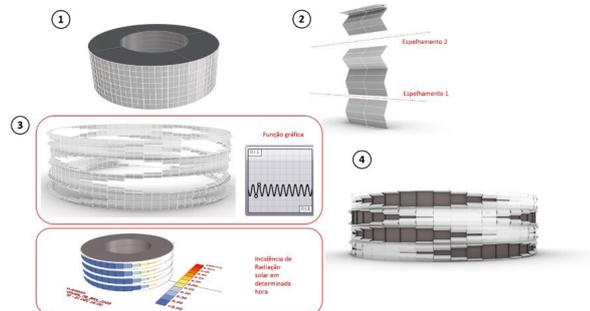
O processo de modelagem paramétrica se dividiu em três etapas:

- (i) análise e apreensão da lógica geradora da forma: são analisadas as relações entre as partes do modelo e padrões de diferenciação para identificação das lógicas subjacentes;
- (ii) concepção do esquema paramétrico: processos com ciclos sucessivos de tentativas e erros necessários para obtenção de um algoritmo que expresse a lógica interna de cada estudo de caso;
- (iii) ajuste de parâmetros: uma vez definido o algoritmo, os parâmetros do modelo são configurados de modo a se obter uma forma final similar à forma do caso original;

Pele: Showroom Kiefer Technic (Ernst Giselbrecht + Partner)

Como o elemento de interesse do projeto é a segunda pele usada na fachada curva, o modelo paramétrico se limita à reconstrução dessa fachada curva. Assim, em vez de modelar todas as partes do projeto, o elemento foi inserido em um volume cilíndrico, o que difere do projeto original, cuja fachada curva não chega a formar um cilindro. A simplificação, entretanto, não compromete a apreensão dos elementos mais relevantes que permitem que cada módulo seja aberto e fechado seguindo regras algorítmicas.

**Figura 4:** Principais partes da modelagem paramétrica.  
**Fonte:** autor.



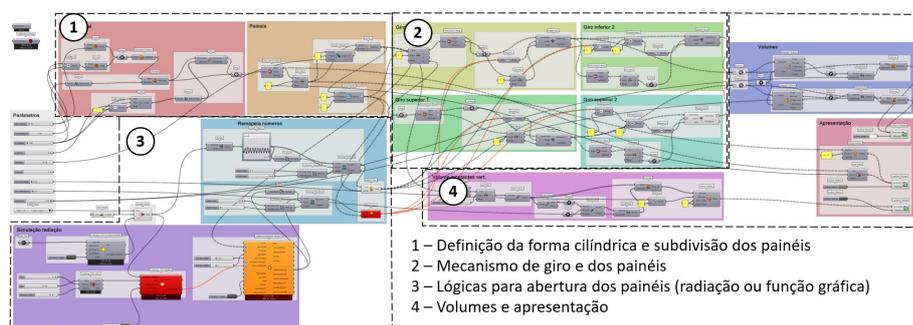
O elemento de controle solar na fachada curva é composto por dois pares de superfícies articuladas que abrem e fecham deslizando ao longo de trilhos verticais. Ao todo, cada pavimento está dividido em quatro partes, divididas ao meio por um eixo de simetria que faz com que o posicionamento das peças inferiores e superiores de cada módulo sejam simétricos.

O mecanismo que permite a dobra desses elementos foi deduzido a partir da relação entre os ângulos formados entre as placas superiores e inferiores e o plano vertical e os ângulos internos que os dois módulos centrais formam com relação ao plano horizontal. As informações foram transpostas e testadas no algoritmo de maneira que a dobra em cada módulo ocorresse simetricamente.

O modelo paramétrico tem sua lógica dividida em quatro procedimentos (Figura 4 e Figura 5). A primeira etapa permite a criação da forma cilíndrica do modelo e a subdivisão da superfície externa em painéis.

**Figura 5:** Algoritmo visual do modelo na categoria pele.

Fonte: autor.



Na segunda etapa, foi identificada a lógica matemática de rotação e deslizamento dos pares de painéis, que foram espelhados em cada pavimento. Cada painel individual pode girar entre 1 e 85°.

Na terceira etapa, foram definidas duas opções de lógicas de ordenamento do fechamento e abertura dos painéis. A primeira opção, adota uma função gráfica que gera valores de angulações de abertura. Os valores variam de acordo com os ângulos de abertura (entre 1 e 85°). Foi adicionada também uma opção de variação de abertura conforme a radiação solar direta no centro de cada área de painel. Os valores de radiação são configurados para gerar valores de angulação. Desse modo, quanto maior for a radiação em determinado ponto central, menor o ângulo de abertura do painel correspondente.

Por fim, na quarta etapa, foram produzidos os volumes dos painéis, montantes verticais e realização de um recuo da fachada para não ocorrer sobreposição de volumes.

Forma: K1299 (uso misto), BAD Architects, Líbano

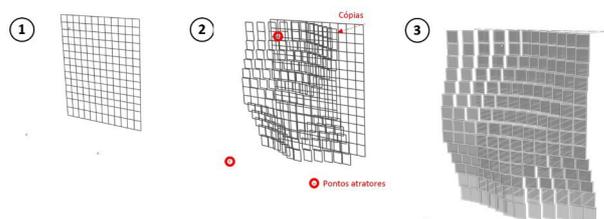
Apesar da complexidade aparente da forma, os mecanismos de diferenciação geométrica podem ser facilmente apreendidos com base nas imagens disponíveis do projeto. A edificação é subdividida em uma malha retangular, formando prismas com profundidades gradualmente variáveis. Percebe-se três grandes reentrâncias na fachada principal da edificação e que alguns prismas não são recuados em relação ao limite frontal do lote.

Diferenciações graduais podem ser estabelecidas parametricamente com o uso de pontos atratores. Com base na distância entre cada módulo e esses pontos, seu posicionamento pode ser mais recuado em relação ao limite máximo de projeção. Como essas distâncias variam em incrementos relativamente pequenos, esse domínio de valores deve ser redimensionado para que os módulos recuem nas dimensões que se pretende adotar.

Assim, foram definidos três pontos atratores na fachada para gerar as três reentrâncias do projeto original (Figura 6). Quanto menor for a distância entre cada módulo e o ponto atrator mais próximo, mais recuado ele será. A partir de determinado limite máximo de distância, os painéis se manterão na posição original, sem recuo – o que faz com que alguns desses módulos permaneçam no limite do lote.

**Figura 6:** Passos da modelagem paramétrica.

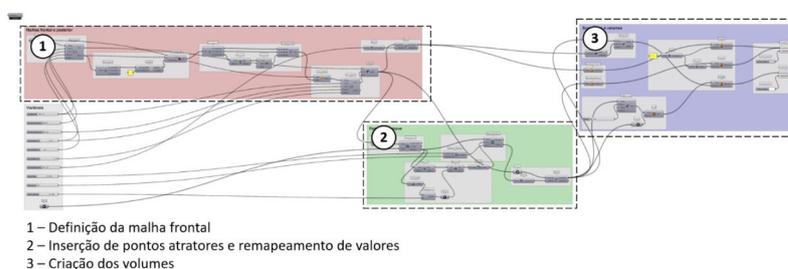
**Fonte:** autor.



A modelagem é composta por três partes (Figura 7). Na primeira etapa, é construída a malha a partir da qual a forma é gerada. A partir da análise do projeto, percebeu-se que os dois primeiros módulos têm pé-direito maior do que os demais. Assim, foram construídas duas malhas que foram unidas em um único elemento. Algumas variáveis permitem a manipulação do número de pavimentos e dimensões da malha bidimensional.

**Figura 7:** Algoritmo visual do modelo na categoria forma.

**Fonte:** autor.



As reentrâncias com recuos graduais podem ser ajustadas a partir da localização dos pontos atratores. Cada módulo retangular é copiado ao longo de um vetor perpendicular a seu plano a uma distância que varia conforme a distância entre o centro de cada módulo e o ponto atrator mais próximo. Quanto menor a distância em relação ao ponto atrator, menor a distância da cópia de cada módulo. Para deixar alguns módulos no limite máximo de ocupação, foi delimitada a distância máxima de cópia para os módulos mais distantes dos pontos atratores.

Na terceira etapa, foram gerados os volumes, com as espessuras de cada módulo e seus fechamentos envidraçados.

Estrutura: Qingdao Terminal de Cruzeiro / CCDI - MOZHAO Studio + CCDI JING Studio

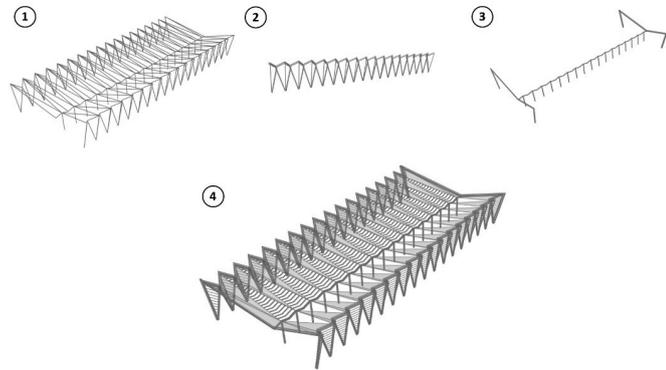
O terceiro projeto, inserido na categoria de estruturas, apresenta uma estrutura de modulação fixa que se desenvolve ao longo de um eixo. Nas duas faces laterais maiores, a estrutura é apoiada por conjuntos de três pilares que se projetam inclinados em relação ao plano vertical. Como o pilar central é mais alto, a junção entre os três pilares define a base da estrutura lateral com dois triângulos em cada módulo. As vigas transversais, partindo de alturas diferentes, se encontram no eixo estrutural central – localizado assimetricamente, formando triângulos também na cobertura.

O algoritmo que gera o modelo é consideravelmente maior em comparação com os casos anteriores, pois a geometria é formada por partes

estruturais independentes que são geradas a partir da manipulação de elementos primitivos, como linhas, planos e pontos.

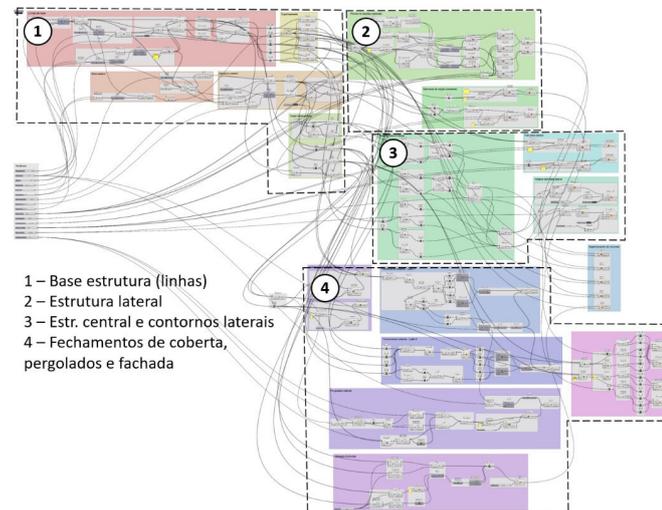
**Figura 8:** Passos da modelagem paramétrica.

**Fonte:** autor.



**Figura 9:** Algoritmo visual do modelo na categoria estrutura.

**Fonte:** autor.



- 1 – Base estrutura (linhas)
- 2 – Estrutura lateral
- 3 – Estr. central e contornos laterais
- 4 – Fechamentos de cobertura, pergolados e fachada

Os procedimentos de modelagem podem ser divididos em quatro etapas (Figura 8 e Figura 9). Primeiramente, a partir de uma linha, são divididos os módulos e são construídos todos os elementos estruturais com linhas. Há possibilidades de alteração paramétrica da altura do ponto superior, inclinação do pilar central, espaçamentos, valor de assimetria do eixo central, entre outros parâmetros.

Na segunda etapa, foram feitos os volumes da estrutura lateral. Como alguns desses pilares têm seção variável, foram definidas as seções nas extremidades das linhas.

A terceira etapa apresenta a construção volumétrica do eixo estrutural central e a construção dos dois pórticos laterais.

Por fim, na quarta etapa, são produzidos os volumes das estruturas transversais, os fechamentos de cobertura e pergolados na cobertura e estrutura lateral.

### Parte III: analogias de projeto (reuso e adaptação)

Processos de analogias de projeto envolvendo modelos paramétricos podem ser descritos com relativa facilidade. Um algoritmo é formado por uma variedade limitada de comandos cujas funções são bem definidas. Por conseguinte, a própria inter-relação entre dois ou mais componentes ocorre segundo regras relacionadas às finalidades específicas de suas partes individuais.

Do ponto de vista da estrutura do algoritmo, o processo aqui descrito de reuso e adaptação de códigos existentes pode se manifestar tanto por adição de novas partes de códigos em um código precedente quanto pela alteração de partes do algoritmo existente por outras que permitem a obtenção de resultados diferentes.

Contudo, do ponto de vista da analogia a elementos de lógica que produzem a forma, essa delimitação é mais fluida, pois o contexto de relações entre elementos geométricos pode ser diferente. Desse modo, é possível aproveitar um elemento relevante da lógica de um modelo paramétrico sem necessariamente partir do algoritmo existente como base para a produção de um novo modelo.

Serão descritos aqui os processos de analogias de projeto envolvendo os três estudos de caso selecionados.

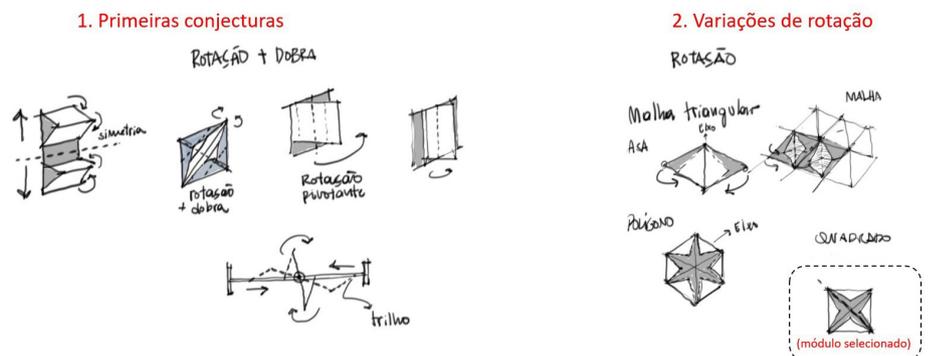
Pele: segunda pele com aberturas triangulares rotacionadas em quatro eixos

A analogia de projeto baseada nos painéis articulados da fachada do projeto *Showroom Kiefer Technic* consiste em solução de segunda pele que poderia ser usada em fachadas parcialmente obstruídas pelo entorno ou até em fachadas curvas, situações que podem apresentar variação de incidência de radiação em uma mesma fachada.

A princípio, se buscou explorar a possibilidade de aproveitamento do principal elemento definidor da lógica do precedente, que é o movimento combinado de rotação, dobra entre duas superfícies e deslizamento sobre trilhos (Figura 10). Entretanto, a ideia foi descartada devido à escala mais reduzida do elemento de fachada em comparação com o precedente, que faz com que o complexo mecanismo da dobra com deslizamento seja desnecessário.

Figura 10: Esboços de concepção do modelo análogo na categoria pele.

Fonte: autor.

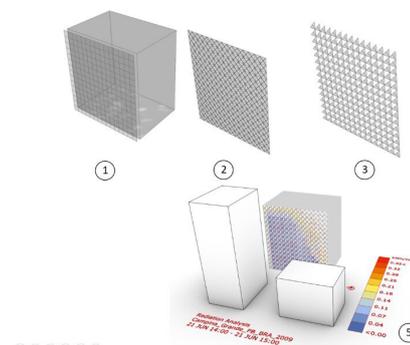


Em um segundo momento, foram investigadas possibilidades de abertura e fechamento de superfícies triangulares a partir da rotação dos triângulos em um dos eixos (Figura 10).

Depois de considerados módulos hexagonais e losangulares (asa), foi optado pelo módulo quadrado por ser mais flexível para adequação a diferentes fachadas. O elemento consiste em camada de segunda pele formada por uma malha quadrada subdividida em quatro superfícies triangulares. O ângulo de abertura em cada módulo pode variar de acordo com a incidência de radiação solar no ponto central de cada módulo, medido por um sensor de radiação solar em haste centralizada. As superfícies triangulares têm como eixos de rotação as quatro arestas do módulo.

Figura 11: Etapas do modelo análogo na categoria pele.

Fonte: autor.

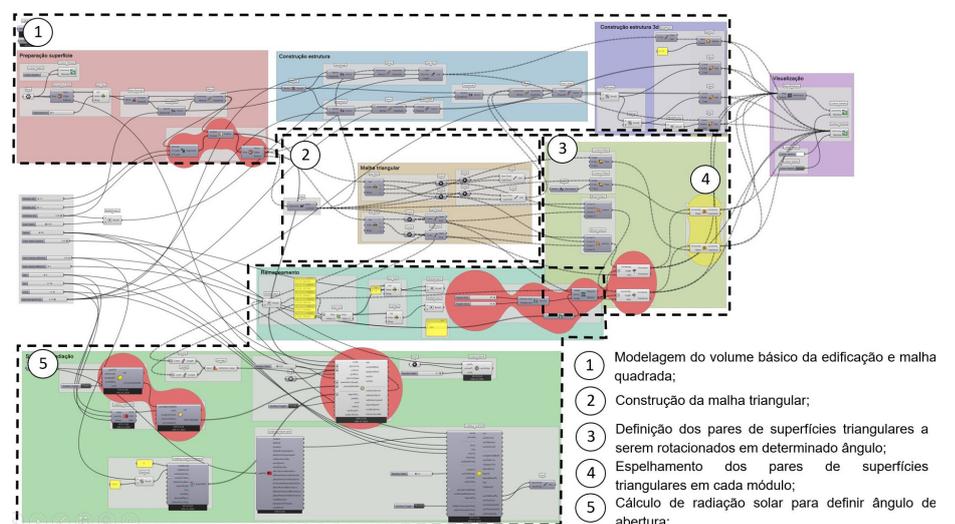


O modelo é formado pelos seguintes processos (Figura 11):

1. Modelagem do volume básico da edificação e construção da malha quadrada;
2. Subdivisão da malha quadrada em quatro triângulos;
3. Definição dos pares de superfícies triangulares a serem rotacionados em determinado ângulo;
4. Espelhamento dos pares de superfícies triangulares em cada módulo;
5. Cálculo de radiação solar nos pontos centrais da malha e remapeamento de números para definir ângulo de abertura.

Figura 12: Algoritmo do modelo análogo na categoria pele: em vermelho, os processos de modelagem idênticos ao precedente.

Fonte: autor.



A elaboração do modelo transfere os seguintes elementos lógicos do modelo anterior:

- i) O mecanismo de abertura a partir do giro de uma superfície tendo como eixo uma de suas arestas;
- ii) Módulos compostos por quatro superfícies que abrem com mesmo ângulo de abertura, em pares espelhados;
- iii) A possibilidade de adoção de ângulos diferentes de abertura em módulos diferentes conforme a incidência de radiação;

O sequenciamento de processos de modelagem pode ser observado na Figura 12. Os processos que são idênticos ao precedente são referentes à subdivisão dos painéis quadrados, ao mecanismo de rotação e ao cálculo de radiação associado ao ângulo de abertura. Embora ambas as soluções envolvam espelhamentos de superfícies, esse processo foi usado explicitamente no modelo análogo, já que no modelo anterior é possível conseguir o efeito de espelhamento apenas com a definição de ângulos iguais de abertura entre painéis inferiores e superiores.

Forma: edifício com varandas de formas variáveis

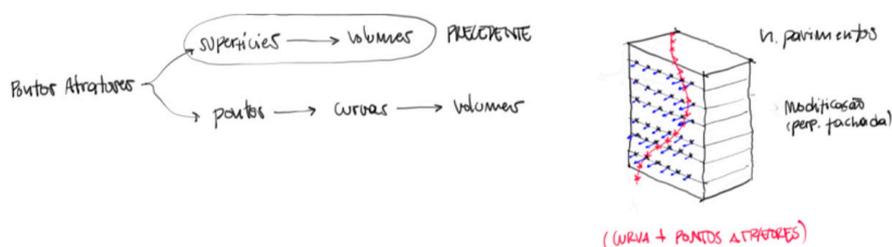
O modelo análogo na categoria forma adota o mesmo princípio lógico do precedente para alterar a forma das varandas em uma das fachadas de uma edificação com múltiplos pavimentos. O uso de pontos atratores para modificar a localização de elementos geométricos é o principal elemento lógico reaproveitado no modelo análogo.

Diferentemente do caso anterior, o processo de concepção não envolveu teste de diferentes alternativas, pois a situação-alvo foi delimitada partindo da premissa de que seria também trabalhada a variação formal em edificação verticalizada, dessa vez usando variações de profundidade em varandas (Figura 13).

A lógica interna para permitir variações de profundidade também usa pontos atratores, mas distribuídos em uma determinada curva desenhada pelo projetista. A distância entre pontos em uma das bordas das lajes de piso de uma varanda e os pontos atratores permite que os pontos na fachada avancem e recuem, formando variações graduais em cada andar.

Figura 13: Esboços de concepção do modelo análogo na categoria forma.

Fonte: autor.



O modelo também permite o ajuste de altura do guarda corpo, do fator de escala que define o recuo das varandas em relação às empenas laterais e a definição das profundidades máximas e mínimas das varandas.

O modelo final foi modelado nas seguintes etapas (Figura 14):

1. Construção das lâminas de piso, prisma retangular da edificação e desenho da curva que será dividida em pontos atratores;
2. Definição das linhas em uma das fachadas da edificação que delimitam as varandas e divisão em pontos que serão movidos com distâncias variáveis;
3. Definição das lógicas de deslocamentos com base na distância entre cada ponto e o ponto atrator mais próximo (deslocamentos podem variar de forma proporcional ou inversamente proporcional às distâncias entre os pontos);
4. Delimitação dos níveis de piso das varandas e junção com pisos da edificação;
5. Modelagem paramétrica dos guarda-corpos e empenas laterais.

As etapas do modelo paramétrico podem ser identificadas na Figura 15. Os processos de modelagem idênticos ao precedente se limitam ao mecanismo de remapeamento de números e alteração do posicionamento de pontos que delimitam a projeção das varandas. Diferentemente do modelo-fonte, os pontos atratores se distribuem em uma curva que pode ser manipulada livremente para gerar os perfis de piso de cada varanda.

Figura 14: Etapas do modelo análogo na categoria forma.

Fonte: autor.

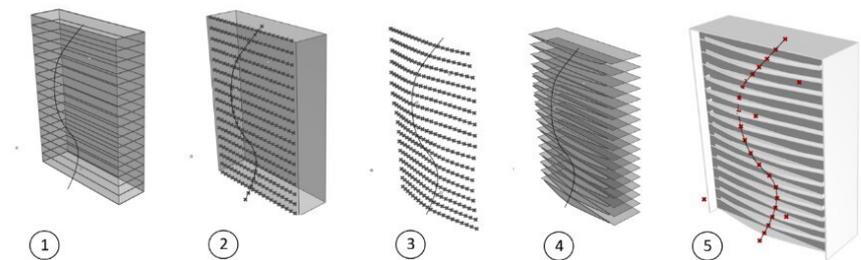
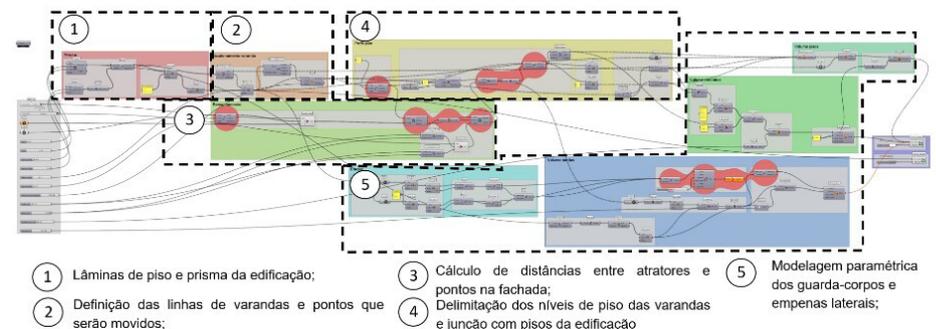


Figura 15: Algoritmo do modelo análogo na categoria forma: em vermelho, os processos de modelagem idênticos ao precedente.

Fonte: autor.



- 1 Lâminas de piso e prisma da edificação;
- 2 Definição das linhas de varandas e pontos que serão movidos;
- 3 Cálculo de distâncias entre atratores e pontos na fachada;
- 4 Delimitação dos níveis de piso das varandas e junção com pisos da edificação;
- 5 Modelagem paramétrica dos guarda-corpos e empenas laterais;

A elaboração do modelo transfere os seguintes elementos lógicos do modelo anterior:

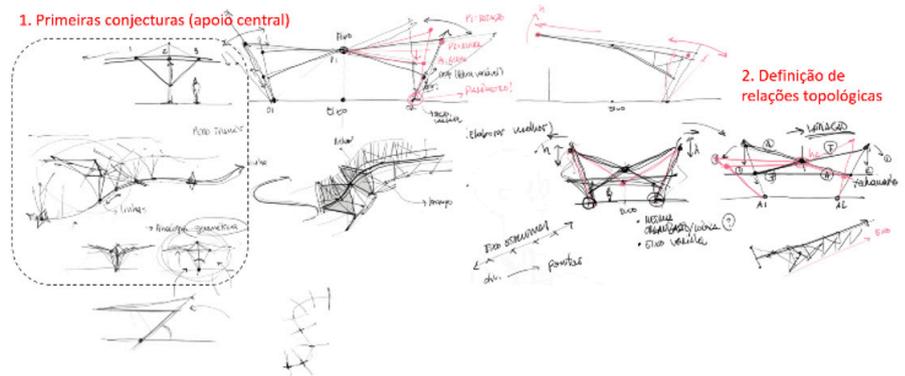
- i) Uso de atratores para deslocar elementos geométricos (pontos) de forma variável;
- ii) Embora seja uma analogia secundária, o mecanismo de extrusão das empenas laterais e laje de cobertura segue a mesma sequência de comandos usadas para gerar os volumes prismáticos usados em cada módulo do modelo precedente: criar cópia paralela (offset) de um contorno fechado, copiar esse perfil de acordo com uma distância e gerar volume combinando os dois perfis;

Estrutura: releitura do sistema estrutural ao longo de curva definida pelo usuário.

Como o modelo fonte não apresenta mecanismos de diferenciação usados nos modelos anteriores, o estabelecimento de uma analogia entre os modelos fonte e alvo se dá segundo a leitura das relações topológicas entre as linhas que formam o sistema estrutural. Assim, o processo de concepção do modelo ocorre a partir da análise dos aspectos da forma identificados como mais relevantes para o estabelecimento de uma analogia.

O processo de concepção (Figura 16) partiu da ideia de se desenvolver um sistema estrutural que pudesse se adaptar a uma curva desenhada e ajustada manualmente pelo usuário. O processo parte da ideia de se usar um apoio central para a estrutura, mas a ideia foi descartada antes mesmo de se tentar traduzir as conjecturas de projeto no ambiente de modelagem paramétrica. O aspecto formal mais trabalhado no modelo análogo consiste na alternância entre alturas da estrutura transversal e longitudinal no modelo precedente. Desse modo, um ponto mais alto da estrutura se conecta a um ponto mais baixo (tanto transversalmente quanto longitudinalmente) e essas diferenças geram a triangulação das superfícies da cobertura.

Figura 16: Esboços de concepção do modelo análogo na categoria estrutura. Fonte: autor.



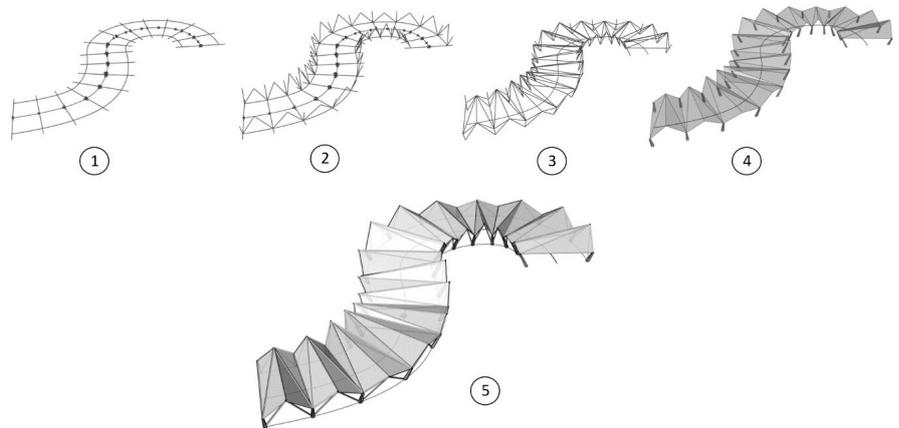
Além das alturas diferentes, o modelo também adota uma função matemática gráfica para que as alturas máximas e mínimas da estrutura oscilem ao longo de seu eixo curvo e sejam invertidas nos dois lados da estrutura, ou seja: os pontos mais altos de um lado se ligarão a pontos mais baixos no lado oposto.

O modelo é construído pelos seguintes passos (Figura 17):

1. A partir do desenho livre de uma linha, são definidos os módulos e eixos estruturais transversais;
2. Apoios laterais inclinados (feita primeiramente com valores uniformes, depois variando conforme função gráfica);
3. Estruturas laterais e ligações transversais;
4. Volumes de pilares com seção variável e da cobertura;
5. Volumes das peças estruturais (perfil circular) e finalização do modelo.

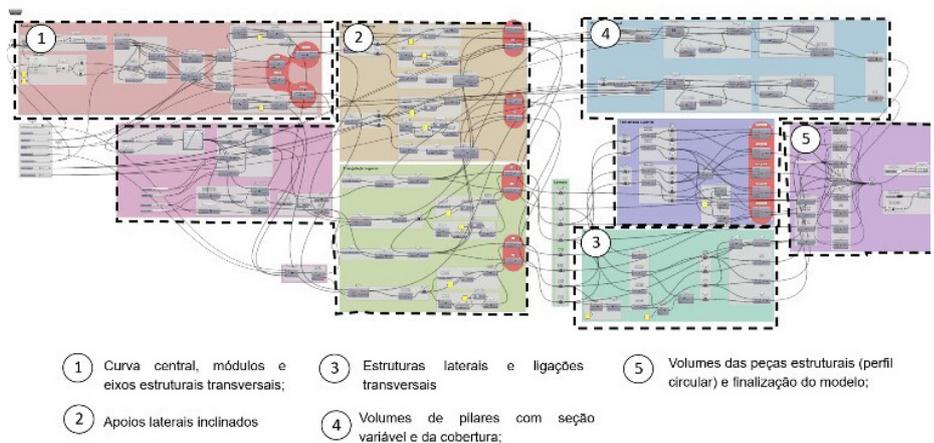
**Figura 17:** Etapas do modelo análogo na categoria estrutura.

**Fonte:** autor.



**Figura 18:** Algoritmo do modelo análogo na categoria estrutura: em vermelho, os processos de modelagem idênticos ao precedente.

**Fonte:** autor.



Embora se desenvolva ao longo de uma curva e apresente mecanismos de diferenciação de altura com base em função matemática gráfica, a analogia de projeto se baseia na similaridade de relações topológicas entre os elementos estruturais. Os principais elementos transferidos do modelo fonte foram (Figura 18):

- i) Alternâncias de alturas nas estruturas laterais (aspecto zigue-zague) e no sentido transversal;
- ii) Cobertura formada por superfícies triangulares;
- iii) Uso de apoios com seções variáveis na estrutura lateral.

## Análise e discussão de resultados

Com as explorações realizadas neste trabalho, é notável que os aspectos lógicos essenciais de um modelo têm potencial para fundamentar o estabelecimento de analogias de projeto, mesmo em níveis básicos de fluência nas ferramentas. O fato de a analogia ser traçada com conjuntos de regras e instruções lógicas e abstratas – em vez de serem motivadas pelas características de uma determinada forma – tem potencial de produzir soluções completamente diferentes da geometria do precedente. É impor-

tante salientar que esse processo pode ocorrer de forma inconsciente pelo projetista, a partir de seu nível de fluência (repertório) na linguagem algorítmica. De forma menos natural, mas não menos efetiva, esse processo também pode partir da pré-disposição por parte do projetista em estabelecer a analogia com elementos lógicos de outros projetos de forma explícita.

Dentre as categorias estudadas, percebe-se que o modelo análogo na categoria “pele” modifica a forma dos elementos a serem abertos, mas replica a lógica de abertura a partir da rotação.

O modelo na categoria “forma” usa pontos atratores para a definição da forma dos contornos de piso de varandas. Entretanto, o formato resultante não é escalonado, como é a proposta do projeto K1299. O modelo análogo adota como atrator os pontos de uma curva. Esses atratores modificam a posição de pontos na face do prisma original da edificação, gerando curvas variáveis.

O caso na categoria “estrutura” apresenta peculiaridades relacionadas ao modo como uma estrutura similar ao Qingdao Terminal de Cruzeiro pode ser modelada parametricamente. Por se tratar de um modelo cuja lógica está relacionada à maneira como elementos primitivos (pontos e linhas) se relacionam entre si, não há, na analogia proposta, grandes repetições de comandos específicos, mas a tentativa de apreender e adaptar a lógica da forma estrutural. Assim, o modelo análogo parte de uma análise da própria forma da estrutura, tentando desenvolvê-la em condições diferentes de contorno. Assim, além de se desenvolver ao longo de uma curva livremente definida, o modelo adiciona uma lógica que ressalta as alternâncias de alturas entre as estruturas externas (laterais) e internas, gerando uma oscilação longitudinal nas alturas máximas e mínimas definida por função gráfica.

Percebemos que a busca por apreender a lógica formal de exemplares arquitetônicos com vistas à criação de novas formas pode beneficiar não somente o usuário iniciante a avançar seu vocabulário de programação, mas possivelmente desenvolver a sensibilidade para explorar, de forma criativa, o uso de qualquer precedente arquitetônico cuja lógica possa ser expressa de forma algorítmica.

## Considerações finais

Esta pesquisa parte da modelagem paramétrica de exemplares arquitetônicos para, a partir do estabelecimento de analogias tomando como referência elementos presentes em suas lógicas internas, produzir novos modelos paramétricos.

A reconstrução dos modelos foi importante para compreensão da lógica formal de cada solução. Em segundo momento, foram traçadas analogias para a concepção de novos modelos paramétricos nas categorias pele, forma e estrutura. Ainda que seja possível, a partir de certo nível de proficiência nas ferramentas, conceber formas paramétricas sem o estabele-

cimento de analogias, percebemos que esse mecanismo tem potencial de nortear o processo de modelagem, sem necessariamente obstruir o exercício criativo. Na medida em que o repertório é ampliado, os processos de modelagem e manipulação da forma podem ser estabelecidos de maneira mais rápida e eficiente, mesmo que o projetista não busque a analogia de forma explícita.

Como a analogia de projeto é feita a partir de regras e instruções abstratas, de natureza lógico-matemática e extremamente passível de se recombinar com outros elementos (lógicos ou geométricos), consideramos que há potencial criativo na analogia com precedentes algorítmicos. Com a popularização de ferramentas de modelagem paramétrica, a simples leitura da lógica geradora de uma forma pode passar a ser um gatilho para o estabelecimento de analogias que se fundamentam na tradução dessas regras que podem gerar incontáveis possibilidades de variações geométricas.

## Referências

BAD. **K1299**. [s. l.], 2015. Disponível em: <https://www.builtbyassociativedata.com/corporate/k1299>. Acesso em: 11 set. 2023.

CASAKIN, Henran. Visual Analogy as a Cognitive Strategy in the Design Process: Expert versus Novice Performance. **Journal of Design Research on Design Expertise**, [S. l.], n. 4 (2), 2004.

GISELBRECHT, Ernst. **Dynamic facade (Kiefer technic showroom) by Ernst Giselbrecht + Partner | Office buildings**. [s. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.architonic.com/en/project/ernst-giselbrecht-partner-dynamic-facade-kiefer-technic-showroom/5100449>. Acesso em: 8 set. 2023.

GRIFFITHS, Alyn. **Qingdao Cruise Terminal's angular facade references boats' sails**. [s. l.], 2017. Disponível em: <https://www.dezeen.com/2017/06/29/qingdao-cruise-terminal-angular-facade-roof-references-boats-sails-mozhao-atelier-jing-studio-architecture-china/>. Acesso em: 11 set. 2023.

HUDSON, Roland. **Strategies for parametric design in architecture**. An application of practice led research. 2010. - University of Bath, UK, [s. l.], 2010.

OXMAN, R. Prior Knowledge in design: a dynamic knowledge-based model of design and creativity. **Design Studies**, [S. l.], 1990.

OXMAN, Rivka. Precedents in design: A computational model for the organization of case knowledge. **Computing in Civil Engineering** (New York), [S. l.], n. 1, p. 438-445, 1994.

OXMAN, Rivka. Thinking difference: Theories and models of parametric design thinking. **Design Studies**, [S. l.], 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.destud.2017.06.001>

PEDGLEY, Owain. Capturing and analysing own design activity. **Design Studies**, [S. l.], v. 28, n. 5, p. 463–483, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.destud.2007.02.004>

**Qingdao Cruise Terminal / CCDI - MOZHAO Studio + CCDI JING Studio** | ArchDaily. . [s. l.], 2017. Disponível em: [https://www.archdaily.com/874265/qingdao-cruise-terminal-ccdi-mozhao-studio-and-jing-studio?ad\\_medium=gallery](https://www.archdaily.com/874265/qingdao-cruise-terminal-ccdi-mozhao-studio-and-jing-studio?ad_medium=gallery). Acesso em: 23 set. 2021.

SCHÖN, D. A. **The reflective practitioner: How professionals think in action**. London: Temple Smith, 1983. E-book.

SCHUMACHER, Patrik. **Parametricism: A new global style for architecture and urban design**. [S. l.: s. n.] Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ad.912>

VINNITSKAYA, Irina. **Kiefer Technic Showroom / Ernst Giselbrecht + Partner** | ArchDaily. [s. l.], 2010. Disponível em: <https://www.archdaily.com/89270/kiefer-technic-showroom-ernst-giselbrecht-partner>. Acesso em: 8 set. 2023.

WHAT'S IN PORT. **Qingdao China Cruise Port Guide**. [s. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.whatsinport.com/Qingdao.htm>. Acesso em: 11 set. 2023.

WOODBURY, Robert. **Elements of Parametric Design**. 1. ed. London and New York: Routledge, 2010. v. 1E-book.

ZARZAR, Karina Moraes. **Use and adaptation of precedents in architectural design: toward an evolutionary design model**. 2003. - Delft University of Technology, Delft, Netherlands, 2003.

**Recebido:** 30 de junho de 2024.

**Aprovado:** 21 de fevereiro de 2025.