

# MODELO URBANO PARAMETRICAMENTE AJUSTÁVEL PARA AVALIAÇÕES LUMÍNICAS E SIMULAÇÕES<sup>1</sup>

PARAMETRICALLY ADJUSTABLE URBAN MODEL FOR  
DAYLIGHT ASSESSMENTS AND SIMULATIONS

PEDRO OSCAR PIZZETTI MARIANO, ALICE THERESINHA CYBIS PEREIRA

## RESUMO

Este artigo trata do desenvolvimento e da análise de um processo paramétrico para a criação de um ambiente urbano cabível de ajustes e de modificações. O objetivo é verificar as mudanças de sombreamento em diversas morfologias urbanas e a possibilidade de utilizar o processo mencionado em outras análises e simulações programáveis. O desenvolvimento desse processo é parte de uma pesquisa que busca a construção e a aplicação de elementos de fachada, bem como a verificação de seu comportamento lumínico. Para a análise mais rápida do comportamento da luz natural diurna em uma gama ampla de ambientes urbanos e em díspares localizações, foi proposta a criação de um ambiente urbano parametricamente ajustável, para que não haja a necessidade de modelar e remodelar inúmeras vezes. Nessa concepção, três etapas foram desenvolvidas: a compreensão e o aprofundamento teórico; o desenvolvimento da programação visual; e a observação e a análise dos cenários recriados. Como resultado, geraram-se diferentes entornos, possibilitando avaliar ambientes urbanos e aproximá-los de urbanidades reais, além de verificar o comportamento da luz natural em diferentes situações. Com a conclusão, foi possível comprovar a eficácia do modelo e identificar as potencialidades da utilização de programação na construção de modelos urbanos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Entorno urbano. Modelo paramétrico. Programação-luminosa.

## ABSTRACT

*This article deals with the development and analysis of a parametric process for the creation of a suitable urban environment for adjustments and modifications, to verify shading changes in several urban morphologies, and the possibility of being used in other programmable analyzes and simulations as well. The development of this process is part of a research that seeks the construction and application of facade elements and the verification of their lighting behavior. For a faster analysis of the behavior of daylight in a wide range of urban environments and in different locations, it was proposed to create a parametrically adjustable urban environment so that there is no need to model and remodel these environments and locations countless times. In the creation of this parametric process, three stages were developed: understanding and theoretical deepening; development of visual programming; and observation and analysis of the recreated scenarios. As a result, different environments were generated, making it possible to evaluate urban settings and bring them closer to actual urban needs, in addition to verifying the behavior of natural light in different situations. As a conclusion, it was possible to prove the model's effectiveness, and to identify the potentialities of using computer programming in the construction of urban models.*

**KEYWORDS:** Urban environment. Parametric model. Daylight programming.

## INTRODUÇÃO

**ESTE ARTIGO É** parte de uma pesquisa que trata da construção e da aplicação de fundamentos da geometria fractal na elaboração de elementos de fachada e na verificação do seu comportamento lumínico. Para a última etapa, averiguação da utilização dos elementos de fachada, é necessário o desenvolvimento de diferentes modelos de entornos urbanos que possibilitem a análise e a comprovação de seu uso. Para economizar tempo na modelagem de diferentes entornos urbanos com características distintas, optou-se por executar um estudo paralelo que possibilitasse a construção de um modelo digital parametricamente ajustável. Esse modelo, por sua vez, permitiria modificar e recriar ambientes com características que compõem um cenário urbano real, propiciando a diminuição do tempo de modelagem e o aumento das possibilidades de composições. O processo paramétrico construído neste artigo também permitiu a comparação com outros modelos semelhantes e com programas já consolidados que fornecem resultados similares; dessa forma, pôde-se avaliar as potencialidades de criação do ambiente digital e das limitações encontradas.

Para o desenvolvimento do ambiente urbano parametricamente ajustável, levou-se em consideração um corpo teórico de trabalhos nacionais e internacionais, os quais buscavam validar processos que criavam cenários semelhantes para outras funções, além de investigar métodos e ferramentas digitais para a construção do processo paramétrico.

Técnicas e ferramentas digitais podem auxiliar no aumento da demanda de implementação de projetos urbanos e de planejamento baseado em normativas, bem como nos estudos de impacto e em outras especificações que carecem de pré-visualizações para sua contextualização. Esses métodos auxiliados por computador favorecem a obtenção de resultados de planejamento mais eficientes e a criação de bancos de dados complexos, a fim de contribuir para a contextualização da proposta (KIM; CLAYTON; YAN, 2011; ZHANG; LIU, 2019).

Ferramentas digitais consolidadas que possibilitam o planejamento com base em regras programadas, como o *CityEngine* – *ArcGIS CityEngine* (ESRI R&D CENTER, 2008), permitem uma gama de ações e de visualizações de contextos urbanos. Contudo, restrições na organização e na gestão dos parâmetros de dados podem criar um banco de dados limitado, o que demonstra inflexibilidade para controlar formas urbanas complexas ou detalhadas (ZHANG; LIU, 2019). Esse tipo de limitação também existe em *plug-ins* para programas BIM e outras interfaces digitais, como *Modelur + SketchUp* e *CityEngine + GIS*; mesmo exibindo resultados satisfatórios (visualizações e dados), as interfaces particulares apresentam dificuldades nas mudanças detalhadas e configuradas em parâmetros (SILVA JUNIOR, 2016).

Uma solução para o desenvolvimento de cenários urbanos digitais que possibilitem modificações detalhadas e pré-visualizações pode ser encontrada na cooperação de programas de modelagem digital com uma interface

de programação; um exemplo dessa colaboração é a utilização do *Rhinoceros 3D* com o *plug-in Grasshopper*. A aplicação dessas ferramentas no desenvolvimento de cenários urbanos regulares ou complexos é descrita em trabalhos como de Silva Junior (2016) e de Zhang e Liu (2019); elas se demonstram como uma interface de codificação visualizada para criar modelos tridimensionais que permitem, além da visualização, a simulação dos resultados por outros programas. A junção de funções de programas digitais para contemplar a criação de urbanismos paramétricos pode ser exemplificada pelo caos dos planos urbanos de *One-North* em Singapura (grupo Zaha Hadid Arquitetos), *Kartal-Pendik* em Istambul (grupo Zaha Hadid Arquitetos), e *Kartal-Pendik* em Londres (Zaha Hadid e Patrik Schumacher) (SILVA; AMORIM, 2010).

Esses trabalhos, os quais apresentam a construção e a análise de modelos urbanos digitais, ampliam o leque de escolhas dos parâmetros e das variações do modelo digital urbano quando utilizam programas que permitem a construção da livre programação. A amostragem mencionada auxiliou na escolha das ferramentas e dos métodos para o desenvolvimento da programação visual proposta por este artigo. Desse modo, sugere-se a identificação e a avaliação das potencialidades e das limitações na construção de um modelo digital parametricamente ajustável em um *software* de programação visual, o qual permite modificar e recriar ambientes e características que compõem um cenário urbano real.

## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a criação do cenário urbano parametricamente modificável, três etapas de estudo e desenvolvimento foram executadas em sequência, sendo elas: compreensão e aprofundamento teórico de temas pertinentes à pesquisa; desenvolvimento da programação parametricamente ajustável em uma plataforma de programação visual; observação e verificação dos cenários cabíveis de modificação. A proposta para o modelo desenvolvido é que este recrie cenários semelhantes a malhas urbana existentes, possibilitando, assim, que os resultados das simulações retratem cenários reais e confiáveis.

A primeira etapa do processo possibilitou o aprimoramento do corpo teórico sobre técnicas e ferramentas digitais; nela, buscou-se compreender a utilização de uma ferramenta paramétrica que, de acordo com Hernandez (2004), é passível de recriar diferentes variações, permitindo reconfigurar, alterar, trocar e modificar partes e características das formas de um projeto. O emprego desse tipo de ferramenta digital está atrelado à compreensão da sua utilização como parte das etapas de construção do partido arquitetônico, não só como um auxílio. Essa ideia é atribuída ao "*design thinking*", descrito por Oxman (2006, 2008) como um conceito que acarretou novos resultados e modelos no campo da arquitetura. Em relação à compreensão da utilização das ferramentas digitais para a construção de um processo paramétrico, também se interpretou um modelo de engenharia de *software*, o Modelo

Interativo incremental (MII). De acordo com Azevedo Junior e Campos (2008) e com Pressman (2016), esse modelo é um método aplicável na construção de programações que estão em processo de aprendizagem, pois potencializam o entendimento e a familiarização de seus desenvolvedores durante a construção.

Na sequência, foi desenvolvido o processo paramétrico, no qual é possível manipular particularidades como: topografia, número de lotes, altura e forma dos edifícios e infraestrutura. Além disso, ele permite a escolha de um lote para adicionar uma construção que poderá ser utilizada para simulações ou para observações. O desenvolvimento dessa etapa é dividido em quatro sub etapas dentro da plataforma de programação visual: caracterização dimensional e topográfica; construção da infraestrutura; dimensionamento das construções; escolha do lote.

Por fim, o processo completo permitiu recriar diferentes entornos urbanos e variar as dimensões gerais do ambiente. Com a criação desses diferentes contextos urbanos, foi possível identificar o comportamento do fenômeno lumínico natural e da radiação consequente, além de visualizar as vantagens do uso de um modelo urbano desenvolvido por meio de uma interface de programação e de possibilitar a adição de novas programações e simulações em sua estrutura base. Para a validação final do modelo paramétrico, outras pesquisas que necessitavam de diferentes cenários urbanos utilizaram o modelo descrito nesse artigo, e em todos os casos apresentaram sucesso e economia de tempo para seus usuários.

## PROCESSO PARAMÉTRICO

Para reproduzir um ambiente urbano parametricamente alterável, diferentes programas e métodos podem ser utilizados. Na pesquisa deste artigo, optou-se pelo emprego de um *software* de programação visual e de *plug-ins* compatíveis. A utilização de ferramentas digitais para trabalhos relacionados à arquitetura e ao *design* é descrita por Marcus e Hernán (2006) como uma percepção diferenciada na produção artística e formal, podendo partir de resultados evolucionários até o desenvolvimento de novas interfaces e interações. Os autores comentam que o desbravar dos conhecimentos já implementados dentro da cultura digital faz surgir, junto com novas ferramentas, profissionais capacitados a testar novos materiais, sistemas, formas e métodos de trabalho.

Com o envolvimento das tecnologias digitais dentro do campo da arquitetura e urbanismo, atividades, estudos computacionais, novas linguagens e funções permitiram uma ruptura da rotina formal construída até o momento. Lima (2011) descreve que a arquitetura já pode ser compreendida como uma extensão proveniente da cultura digital e explica que formas caóticas – as quais eram visualizadas apenas em representações cinematográficas ou artísticas –, podem ser desenvolvidas por diversas tecnologias; assim, o que antes era somente imaginado, agora pode ser desenhado ou projetado.

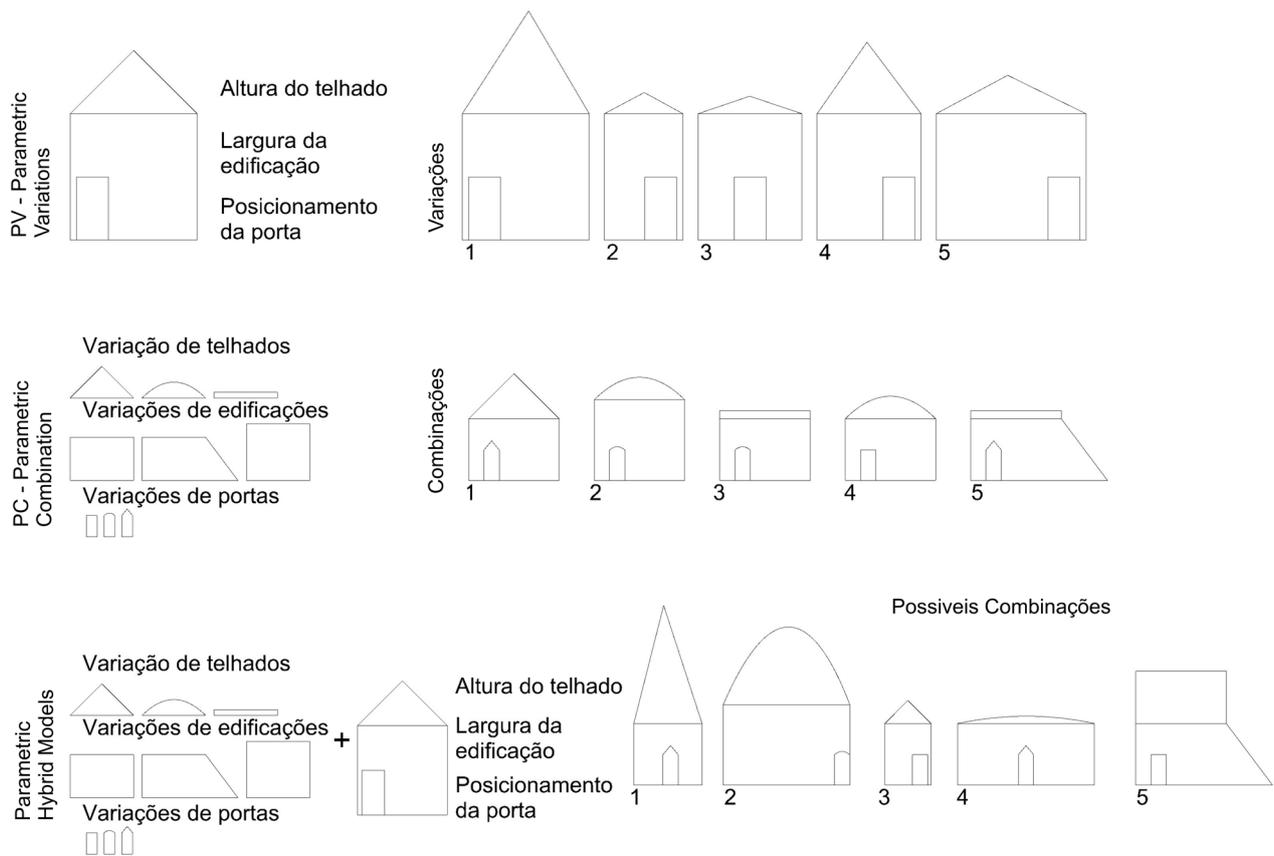
Celani (2018) afirma que a prática do desenvolvimento de processo arquitetônico deveria ser inspirada no desenvolvimento das novas tecnologias, em colaboração com técnicas e com estudos internacionais gerados pelas transformações industriais e tecnológicas atuais. Essas novas práticas estariam atreladas à formação e à atualização de profissionais por meio da adaptação de conceitos multidisciplinares, de técnicas de computação, de inteligência artificial, entre outros métodos e ferramentais que se distanciam da arquitetura tradicional.

Gürbüz, Çağdaş e Alaçam (2010) comentam que a utilização do computador como ferramenta no processo de *design* e arquitetura trouxe para projeto procedimentos paralelos de aplicação. Hernandez (2004) afirma que, nos modelos paramétricos, é possível fixar atributos em suas propriedades e alterá-los de modo que o modelo digital se reconfigure, acompanhando essas modificações. Atualmente, os programas que trabalham com esse tipo de processo disponibilizam uma interface que proporciona a visualização tridimensional instantânea das modificações, possibilitando um feedback imediato das alterações feitas pelo projetista, as quais podem ser classificadas por três modelos: de variações, combinados e híbridos.

O modelo de Variações Paramétrica (*Parametric Variations, PV*) concede ao projetista a possibilidade de criar e de alterar a geometria por meio de suas características e atributos parametrizados por controladores. O segundo modelo paramétrico, o combinado (*Parametric Combination, PC*), também descrito como modelo geométrico associativo (*associative geometry models*) ou modelo relacional (*relational model*), permite que um conjunto de geometrias pré-estabelecidas sejam combinadas com base em regras pré-determinadas. Já o terceiro modelo paramétrico é a combinação dos dois anteriores, gerando o híbrido (*Parametric Hybrid Models*), através do qual é possível obter diferentes combinações entre peças modeladas e parâmetros, aumentando o número de resultados formais (HERNANDEZ, 2004). A *Figura 1* apresenta uma exemplificação dos três modelos.

Além desses três meios de parametrizar modelos, os autores Salim e Burry (2010) descrevem mais dois grupos de designs paramétricos, os que utilizam associações geométricas (*associative-geometry*) e os associados às ferramentas BIM. O primeiro grupo refere-se à parametrização desenvolvida por meio de conceitos matemáticos, de pontos, de curvas, de superfícies, de sólidos etc.; as ferramentas comumente utilizadas para esse padrão incluem *Bentley Generative Components, Rhinoceros 3D* e *Grasshopper*. O segundo grupo pertence às ferramentas focadas na utilização multidisciplinar que não fazem uso de NURBS (ferramenta de modelagem baseada em pontos) para desenvolver seus modelos, como: *Revit Architecture, Revit MEP, Revit Structure* etc.

Para os autores Salim e Burry (2010), a principal manipulação que os *softwares* paramétricos disponibilizam para o processo de design está associado ao tipo de linearidade de seu desenvolvimento, descrito como IPO



**FIGURA 1** – Comparação dos três modelos paramétricos baseados em Hernandez (2004); inicialmente demonstra-se o Modelo de variação paramétrica, na sequência o Modelo combinado, e, por último, o Modelo paramétrico híbrido.

**Fonte:** Elaborada pelos autores (2019).

(“*Input process and output*”). Esse processo difere dos comumente usados no desenvolvimento de projetos por se tratar de uma progressão não linear, a qual pode ser retomada em diferentes pontos de modo cíclico. O desenvolvimento de processos paramétricos requer uma sequência de ações individuais lineares, mas interconectadas entre seus pontos; essas sucessões de processos, nas quais os “*inputs*” (dados de entrada) e os “*outputs*” (dados de saída) estão constantemente abertos, podem receber informações e parâmetros de outras sequências mais avançadas ou não. Dessa forma, mesmo que desenhadas em uma sequência linear, as diferentes partes do processo podem se conectar de modo independente, quebrando essa linearidade.

De acordo com Shea, Aish e Gourtovaia (2005) e Gerber (2007), para desenvolver as simulações, os designs paramétricos são facilitadores, permitindo alterar e variar características geométricas, matemáticas e físicas no desenho de maneira rápida, construindo diferentes possibilidades e alternativas. Gerber e Lin (2013) afirmam que os modelos, os quais possuem características paramétricas, podem ser complementados por outras ferramentas que potencializam as respostas das simulações, como os processos autômatos *GenPOD* (“*generative performance oriented design model*”) e os processos genéticos. Ambos os processos exploram alternativas, integrando outros parâmetros para uma análise com variáveis; contudo, uma interface com múltiplos resultados pode exigir uma equipe multidisciplinar para avaliar as soluções geradas e para identificar possíveis problemas.

## DIGITAL DESIGN THINKING

Práticas profissionais decorrentes do uso de técnicas computadorizadas, softwares e métodos fazem com que as escolas de arquitetura moldem seus conceitos educacionais, trazendo ao mercado de trabalho profissionais com habilidades e conhecimentos distintos dentro dos inúmeros softwares que colaboram com a arquitetura. Essas aplicações dentro da academia, bem como as adaptações sugeridas pelo mercado, incentivam os profissionais no desenvolvimento de um pensamento digital a respeito dos métodos e processos em arquitetura, o que pode ser denominado como “*Digital Design Thinking*” (OXMAN, 2006, 2008).

Para Oxman (2006), a utilização de práticas como o design digital acarretou novos resultados e modelos dentro do campo da arquitetura, do design e das artes. Com a apropriação desse pensamento e de ferramentas, fez-se necessária a reavaliação dos métodos e das teorias existentes em algumas etapas de criação. Mediante a inserção do “*digital design thinking*” e das instrumentações digitais, a capacidade para gerar novas formas diferenciou os resultados formais daqueles constituídos por representações manuais. Esse leque de possibilidades desenvolveu os processos geométricos das formas livres (“*free forms*”), caracterizados pela utilização de formas complexas, matemáticas e híbridas (OXMAN, 2006).

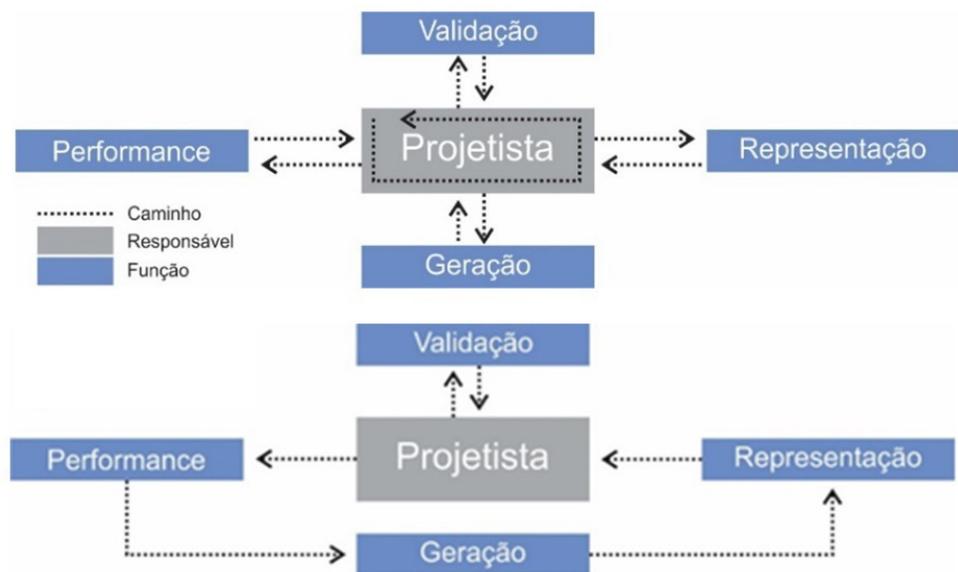
O conceito do *design* digital dentro do campo da arquitetura e urbanismo teve início a partir da quebra da padronização das tipologias e dos programas arquitetônicos, através da transformação de um processo feito de modo manual para um de meio digital. Essa passagem da elaboração de partidos arquitetônicos para um ambiente digital aproximou o modelo de seus desenvolvedores, permitindo que sejam feitas modificações do espaço, entre outras ações, e logo em seguida sejam observados os resultados (MITCHELL, 2005; OXMAN, 2006).

Segundo Oxman (2006), dentro das metodologias estruturadas para o design digital, o centro do desenvolvimento do processo é posto na figura ilustrativa do projetista, que controla quatro funções durante o processo: representação, geração, validação e performance. A figura dele caracteriza, em determinadas funções, um link direto entre estes processos, controlando a comunicação ou repassando funções. Esse método é atribuído a uma linha de projetos tradicionais, em que as ferramentas digitais são utilizadas unicamente como ferramentas de desenho e representação. Diferentemente do modelo tradicional de projeto, o “*performance model*” utiliza uma sequência para a qual a validação da simulação é feita antes do processo de geração da forma, como demonstra a *Figura 2*.

Segundo Salim e Burry (2010), o método pode variar, pois a entrada e saída de informação dentro dos modelos paramétricos são capazes de se modificar e de ordenar novas sequências para o processo. A “*performance model*” é descrito por Oxman (2008) e Oxam, Hammer e Ari (2007), como uma

**FIGURA 2** – Comparação do modelo tradicional de projeto e o *Performance model*.

Fonte: Elaborada pelos autores (2018), baseados em Oxman (2006).



nova visão, em que é possível criar a partir de simulações e de ferramentas computacionais como generativas e paramétricas.

Para ambos os modelos, é necessário, inicialmente, desenvolver o partido e o conceito; em seguida, desconstruir o partido, analisando os principais aspectos e características que influenciam os resultados métricos e estéticos, os custos e os fatores ambientais e sociais. Essa desconstrução também é elaborada para hierarquizar o projeto, fazendo com que, durante a construção do processo, sistemas e subsistemas sejam criados com partes relacionadas, permitindo ao projetista, em alguns casos, quebrar essa hierarquia e reorganizar a programação (RASHAD; ALFARIS, 2010).

### MODELO INTERATIVO INCREMENTAL

Com a escolha de um *software* que possibilita o trabalho com processos paramétricos, o *Grasshopper*, optou-se pelo uso de um método que auxilie e oriente a construção do processo. Priorizou-se, assim, a busca por métodos aplicados à engenharia de software, pois, mesmo que o programa não se organize por códigos escritos (*scripts*), as habilidades necessárias para o seu manuseio possuem semelhança com os processos lógicos da programação em códigos.

O modelo interativo incremental (MII) foi escolhido por apresentar vantagens relacionadas à aprendizagem do *software* escolhido, além de ser um método que permite a visualização e a verificação das etapas do modelo antes da finalização total da programação. Desse modo, os testes fornecem um feedback para o projetista em diversas etapas da programação, evitando que sugestões e mudanças importantes sejam recebidas somente na conclusão do desenvolvimento. Outro ponto positivo desse método é que ele permite o aprendizado da linguagem utilizada, pois possibilita a concentração nas etapas mais simples da programação, propiciando a adaptação e a interpretação da linguagem escolhida (CANTOR, 1998; BONA, 2002).

## DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO PARAMÉTRICO

A construção do ambiente urbano parametricamente alterável é dividida em três partes, sendo uma parcela referente à capacitação para o manuseio da ferramenta, e outras duas a respeito da montagem do cenário digital e da escolha de um lote para a implantação de um objeto externo. Essas duas últimas partes contêm uma série de sub etapas e resultam em um ambiente tridimensional com nove quadras parametrizadas, com construções, com infraestrutura e com um espaço no qual uma construção pode ser inserida e onde, futuramente, serão testados os elementos de fachada.

Para a elaboração do processo paramétrico deste artigo, alguns conceitos comentados anteriormente foram utilizados: desenvolver e aplicar o processo em uma plataforma de programação visual; utilizar um modelo semelhante ao "performance model" na lógica do seu desenvolvimento; criar o modelo utilizando o método do MII, com o intuito de aprimorar os conhecimentos a respeito dos softwares. Todo modelo paramétrico e suas partes foram executados no software *Rhinoceros-3D 6* (McNEEL, 2014) um modelador tridimensional que viabiliza a execução de programações visuais por meio de seu *plug-in Grasshopper* (Rutten e McNeel & Associates, 2004) e de componentes desses programas, como o *DIVA* (SOLLEMMMA, 2014).

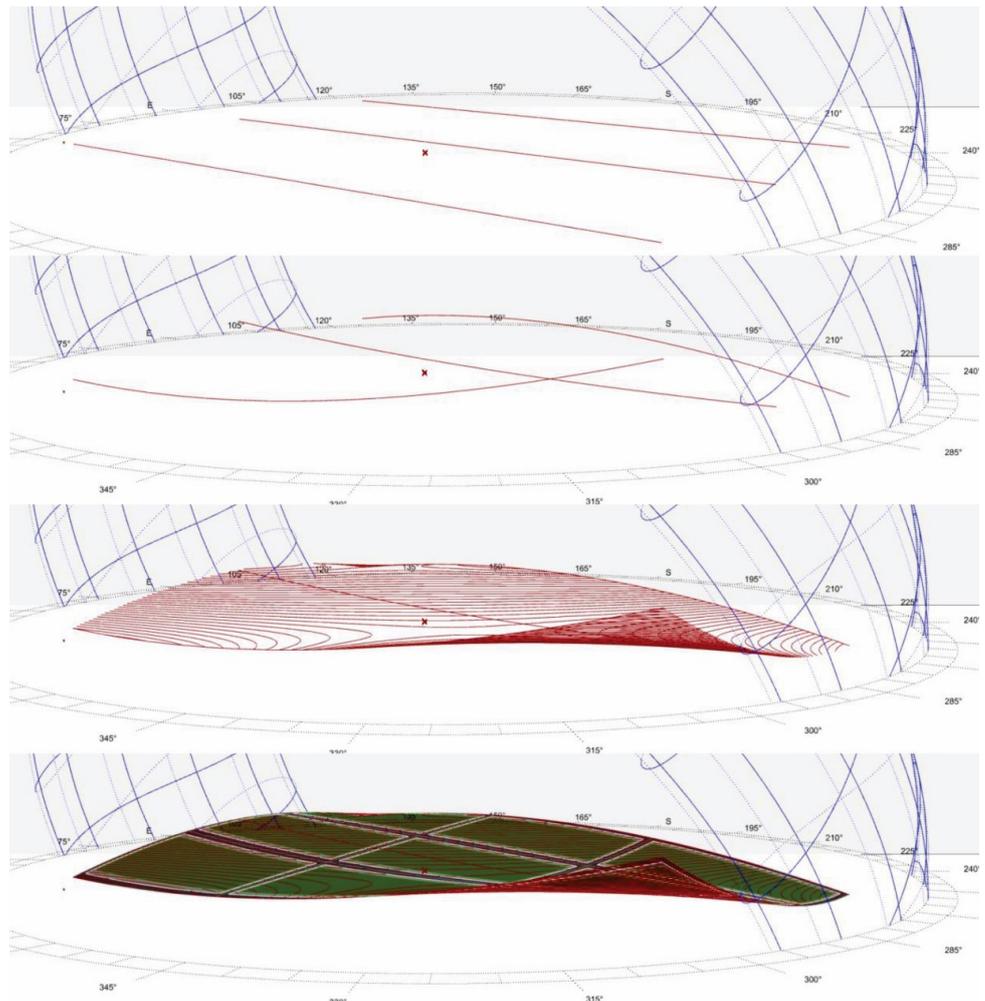
A montagem do entorno possui quatro passos: caracterização dimensional e topográfica; construção da infraestrutura; dimensionamento das construções; escolha do lote. A primeira parte é referente ao desenvolvimento dos parâmetros para a escolha das dimensões horizontais do terreno completo (toda a área que irá abranger o entorno urbano) e à topografia. Para o desenvolvimento da área total, são organizados pontos paralelamente posicionados, que podem ter suas distâncias alteradas dentro dos eixos x e y. Esses pontos são distribuídos de modo que fiquem constantemente paralelos, mantendo os seus cantos com uma abertura angular de 90°; a topografia é definida por três curvas paralelas entre a área definida anteriormente. Essas curvas possuem três pontos ajustáveis, variando sua altura, e a união das geometrias (curvas) por uma superfície molda o relevo do entorno. O resultado topográfico gerado por essa superfície pode ser observado nas curvas de nível que têm sua altura ajustada parametricamente. Para auxiliar na interpretação do modelo, é possível definir uma cor para o terreno (ilustrativa). A *Figura 3* demonstra a sequência dessa etapa.

Com as dimensões e a topografia ajustadas, o passo seguinte é inserir a infraestrutura, podendo-se modificar as dimensões das vias, o número de lotes por quadra, o posicionamento do Norte geográfico e a definição de cores (visualização).

O primeiro modelo programado é referente à dimensão das ruas, as quais após a definição da área do entorno, são divididas em nove quadras (uma matriz de três por três). Os caminhos definidos pelas ruas e os passeios são passíveis de dimensionamento, podendo-se inserir larguras diferentes

**FIGURA 3** – Modelagem da superfície através dos pontos e topografia por meio da união das curvas.

Fonte: Elaborada pelos autores (2018).



a depender de seu eixo. Nesse caso, um exemplo seriam as ruas que estão paralelas ao eixo X e possuem a mesma largura, mas podem ser diferentes das do eixo Y, que, por sua vez, possuem entre si o mesmo dimensionamento.

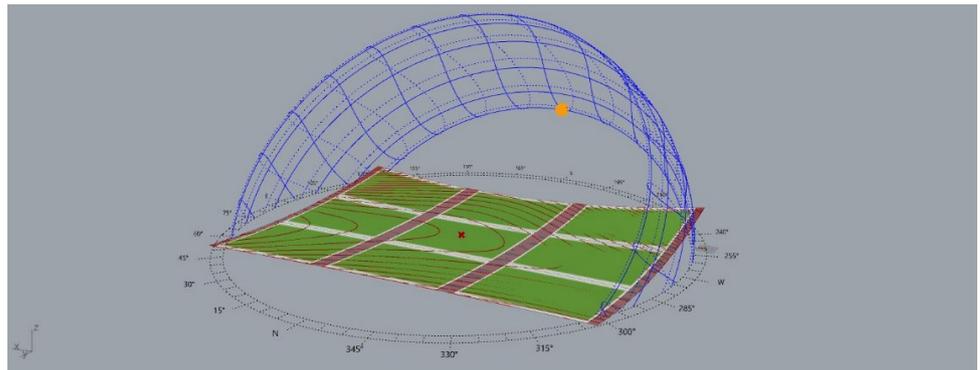
As dimensões das nove quadras são ajustadas para terem tamanho independente dos demais ajustes feitos (largura do passeio e rua). Além desses parâmetros, também há a possibilidade de se modificar a altura do meio fio (permitindo diferenciar o passeio da rua nas ilustrações). Para ajustar o norte geográfico e a geolocalização, usa-se o *plug-in DIVA* para o *Rhinoceros* e *Grasshopper* e seu componente “*Sun Path*”, no qual é possível fixar uma localização e ajustar diferentes parâmetros temporais. O resultado dessa etapa com o posicionamento do Norte pode ser observado na *Figura 4*.

Na sequência, a divisão interna de cada uma das quadras é estabelecida. Nessa separação, pode-se dividir o terreno em até vinte lotes (1x5; 2x10; 2x2 etc.), gerando, assim, diferentes configurações que podem ou não receber construções. A *Figura 5* apresenta uma exemplificação da grelha recorrente dessa divisão dos lotes.

Em seguida, são locadas construções nos limites designados na etapa anterior. Esses volumes podem sofrer modificações como: altura do pavimento

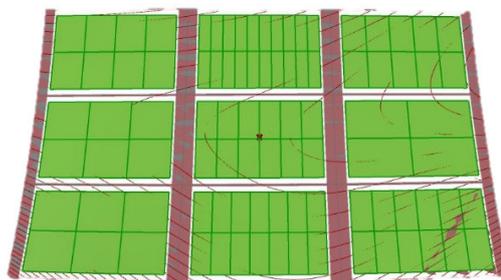
**FIGURA 4** – Terreno parametrizado com infraestrutura e diagrama solar.

Fonte: Elaborada pelos autores (2018).



**FIGURA 5** – Definição dos terrenos nas quadras.

Fonte: Elaborada pelos autores (2018).



térreo; escala da área ocupada pelo primeiro pavimento em relação ao lote – essa característica é definida através da escala da base da edificação reduzida em comparação ao terreno (ex.: 1.00 corresponde a 100% da taxa de ocupação do terreno, 0.75 a 56,75%, 0.5 a 25%), as relações são apresentadas pela *Figura 6*; escala da área ocupada pelo segundo pavimento em relação ao primeiro (obedecendo a mesma escala da *Figura 6*); número de pavimentos após o primeiro andar; altura entre pavimentos (*Tabela 1*).

A etapa que finaliza o processo é a seleção de um dos lotes; nela, pode-se inserir construções ou formas de outros modelos no ambiente urbano criado. Para isso, as curvas que compõem os lotes da quadra central são organizadas, permitindo selecionar um deles por meio de um controlador. Com a escolha do terreno, as funções anteriores atribuídas a ele devem ser desabilitadas (de forma manual), deixando-o livre (sem construções), para que ele seja utilizado nas próximas etapas do processo.

Em um panorama geral da construção do modelo, diferentes dados de entrada (*inputs*) foram criados e podem ser trocados dentro de um intervalo de valores. As modificações desses parâmetros proporcionam a alteração de algum aspecto específico do modelo urbano, transformando significativamente, ou não, sua paisagem. Todos os parâmetros desenvolvidos nas diferentes etapas foram agrupados no início da programação visual, e a união das geometrias resultantes da utilização desses controladores parametricamente ajustáveis (*outputs*) formam um entorno urbano. No *Quadro 1*, é possível verificar os intervalos numéricos de todos os parâmetros de entrada desenvolvidos, bem como a geometria resultante.

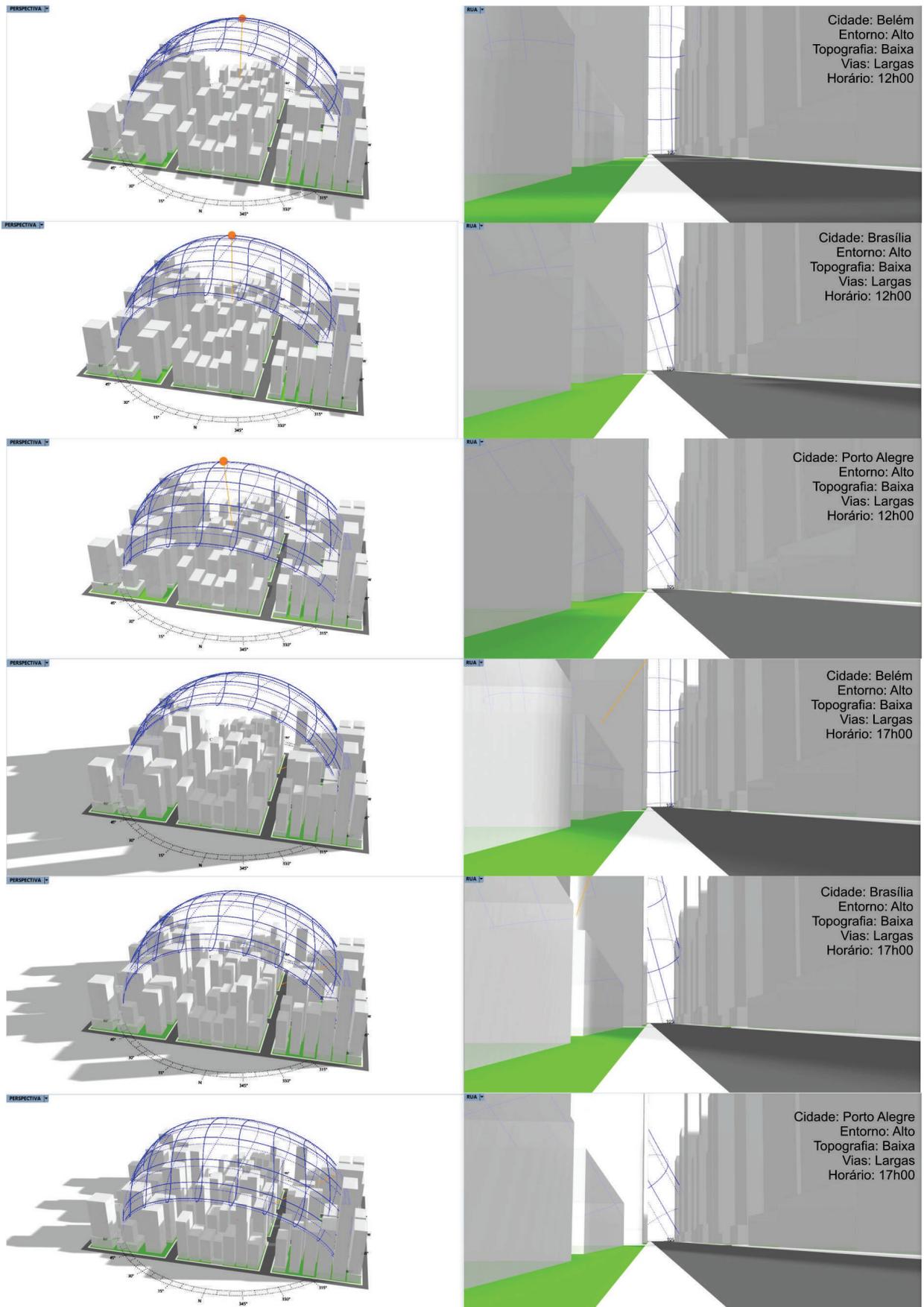


FIGURA 6 – Exemplos de composições urbana com entorno alto (entre 10 a 30 andares).

Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

**TABELA 1** – Relação entre escala da área ocupada pelo primeiro pavimento com a área do terreno.

Taxa de ocupação (%)	Escala
100	1,000
90	0,950
80	0,895
70	0,835
60	0,775
50	0,710
40	0,633
30	0,550
20	0,450
10	0,317

Fonte: Elaborada pelos autores (2018).

**QUADRO 1** – Parâmetros, intervalos numéricos e geometria resultante.

Nome do Parâmetro	Intervalo de valores (input)	Geometria (output)
Profundidade XY	Entre 1 e 500	Dimensionamento das quadras
H. pontos 0, 1 e 2	Entre 0 e 50	Altura da topografia em cada um dos 9 pontos de intervenção
Curvas de nível	Entre 0 e 2	Gráfica as curvas de nível
Ruas Eixo X e Y	Entre 1 e 20	Largura da rua
Altura MF	Entre 0.0 e 1	Altura do meio fio
Largura do passeio X e Y	Entre 1 e 20	Largura do Passeio
Norte	Entre 1 e 360	Ângulo do Norte Solar
Quadra de 1 a 9	Entre 1 e 20	Divisão de lotes por quadra
Lote Escolhido	Entre 0 e 19	Lote Escolhido na quadra central
Altura Primeiro Pav. 1 a 20	Entre 2 e 30	Altura do primeiro pavimento
Escala em relação ao terreno	Entre 0.10 e 1.00	Escala ocupada pelo primeiro pavimento em relação ao lote
Escala em relação ao 1º pav	Entre 0.10 e 1.00	Escala ocupada pelo segundo pavimento em relação ao primeiro
Altura dos andares	Entre 2.0 e 6.0	Altura do pé direito a partir do segundo pavimento
Nº de Lajes	Entre 0 e 100	Número de pavimentos após o primeiro andar

Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

## RESULTADOS

Como resultado, um ambiente urbano parametricamente ajustável é formado, sendo capaz de se assemelhar a urbanidades já existentes ou de recriá-las. Essas modificações são passíveis de alterações e ajustes por meio dos parâmetros controláveis desenvolvidos.

O processo paramétrico se mostrou satisfatório ao ter a capacidade de recriar um conjunto com nove quadras ortogonais, em que é possível manipular a topografia, o número de lotes por quadra (individualmente), a infraestrutura (passeio e vias) e as diferentes características das construções.

Como descrito por Zhang e Liu (2019) e Silva Junior (2016), o desenvolvimento do entorno urbano em um ambiente com liberdade de programação permite que alterações nas características essenciais sejam desenvolvidas especificamente para o trabalho, de acordo com a intenção do projetista. Assim, torna-se possível criar intervalo de valores específicos para determinados parâmetros e focar em geometrias e em situações mais relevantes.

Para verificar os resultados, diferentes composições urbanas foram recriadas com intuito de assimilá-las com desenhos já existentes. Essa verificação buscava, além de outros aspectos, identificar e corrigir possíveis erros e testar sua capacidade de uso. Para isso, foram executados diferentes parâmetros, de forma randômica e peculiar, para investigar as potencialidades do modelo, como: diferenciar as dimensões da base do terreno; alterar significativamente a topografia; modificar a composição das quadras aleatoriamente; trocar a posição geográfica; alterar a infraestrutura viária e os passeios. Alguns desses testes foram ilustrados para comparação por meio da figura apresentada a seguir (*Figuras 6 e 7*) – uma sequência de exemplos de situações em perspectivas e em imagens ampliadas do ponto de vista do observador.

A fim de conferir as formações e seus resultados em diferentes coordenadas geográficas, foram selecionados dois tipos de entorno urbano: o primeiro com prédios em altura, vias largas e com topografia plana; o segundo com prédios em baixa altura, vias estreitas e topografia acentuada. As formações foram testadas em três capitais do Brasil, Porto Alegre, Brasília e Belém, e em dois horários diferenciados, às 12:00 e às 17:00 para o dia 21 de dezembro de 2019 (solstício de verão). As localizações e os horários para a amostragem no artigo são exemplos de contextos urbanos que podem ser criados com o processo desenvolvido. Assim, foram escolhidas cidades em que há uma base de dados climáticos consolidada (como TRY, TMY e INMT) e estudos que verificam a veracidade dos resultados, como Maciel (2002), Cintra (2011) e Zemero (2016). O *Quadro 2* apresenta os principais parâmetros utilizados para fazer as imagens ilustrativas.

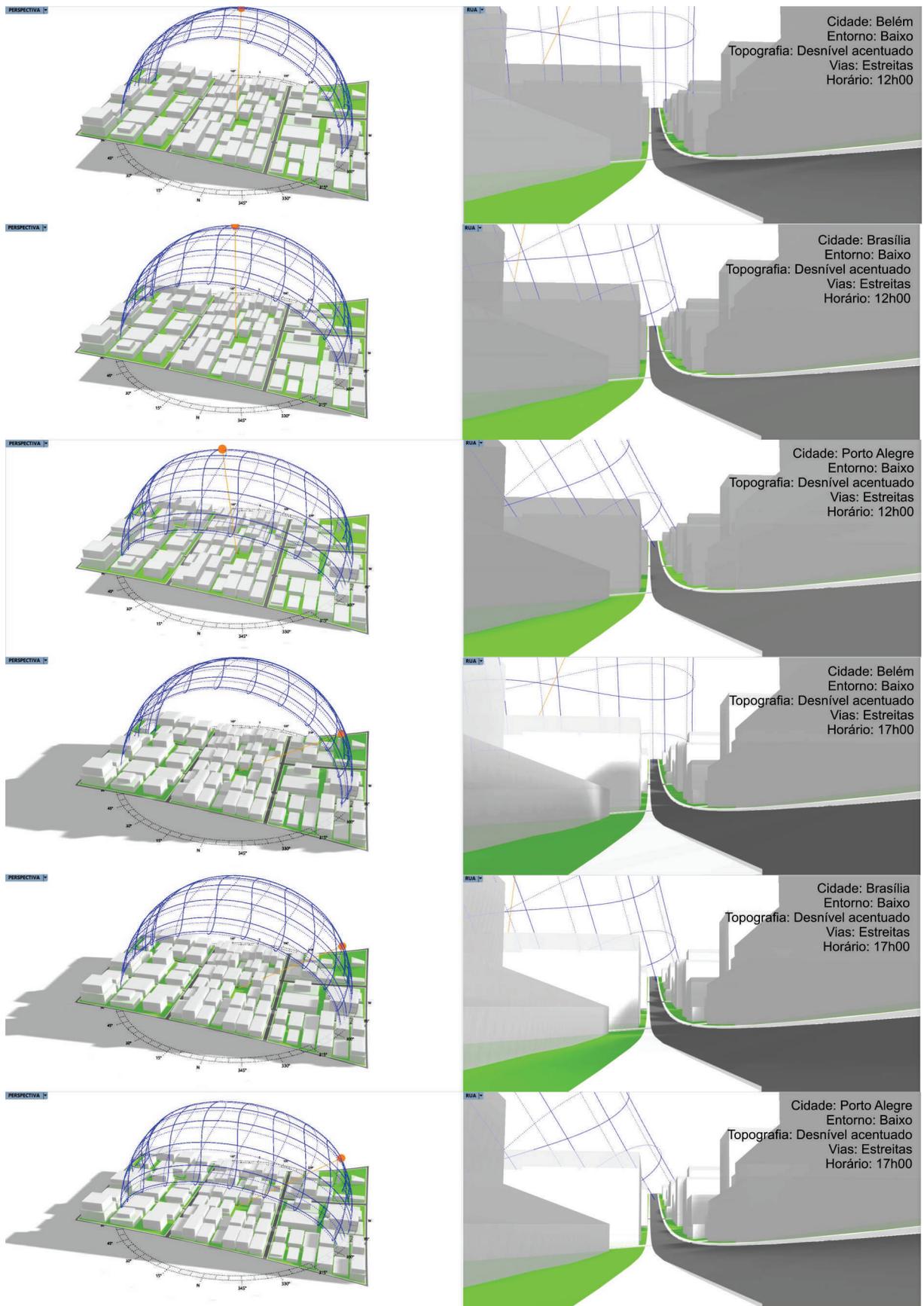


FIGURA 7 – Exemplos de composições urbana com entorno baixo (entre 2 e 5 andares).

Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

**QUADRO 2** – Parâmetros gerais utilizados nas imagens do entorno urbano.

Cidades	Altura dos edifícios	Horários	Largura do passeio	Topografia
Porto Alegre (RS)	Alta: entre 10 e 30 pavimentos	12:00	Entorno alto: via 12m passeio 2m – total 16m	Entorno alto: 0
Brasília (DF)	Baixa: entre 2 e 5 pavimentos	17:00	Entorno baixo: via 6m passeio 1m – total 8m	Entorno baixo: variável entre 0 e 30
Belém (PA)				

Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os resultados dos diferentes testes, constataram-se as vantagens sobre a utilização do ambiente paramétrico desenvolvido e possíveis limitações para o desenvolvimento de alguns cenários. A construção completa do processo por meio de uma interface de programação demonstrou ser capaz de sofrer ajustes e adições por quem o programa ou por terceiros. Desse modo, permite a adição de novas partes de programação, a fim de reproduzir diferentes aspectos e fenômenos que podem ser visualizados ou testados por simulações, como: vento, luz natural, radiação, ofuscamento, sombreamento, acústica, consumo energético e formais (averiguação de uma maquete digital feita em um modelo externo e aplicada no ambiente urbano paramétrico).

A partir dos resultados, pode-se verificar que o ajuste da topografia e da infraestrutura urbana, realizado pelo modelo, é capaz de alterar significativamente o resultado de análises do comportamento lumínico natural de um ambiente. Além disso, possibilita que a alteração seja rapidamente observada, sem a necessidade de remodelar de maneira manual pequenas ou significativas alterações. Essa constatação pode ser observada de modo mais contundente, uma vez que, no desenvolvimento da programação, um intervalo numérico maior foi ajustado para o parâmetro topográfico, o que possibilitou um leque mais amplo de testes envolvendo modificações no terreno. Essas mudanças só puderam ser ajustadas desse modo porque a programação foi construída de forma direcionada às características, as quais poderiam influenciar a iluminação natural. Isso demonstra que, mesmo necessitando de uma demanda maior de tempo para a programação ou de uma equipe de especialistas para essa função, a utilização de um ambiente livre para a construção de parâmetros é limitada apenas pela capacidade técnica de seus desenvolvedores, não estando atrelada a critérios já desenvolvidos por programas.

Outra vantagem identificada na utilização do modelo paramétrico foi a constatação da rápida velocidade para alterar as diferentes características do ambiente. Mesmo que o desenvolvimento do processo paramétrico requeira uma disponibilidade maior de tempo do que em uma modelagem manual, caso ele seja planejado adequadamente e os objetivos do modelo sejam bem

traçados, é nítida a vantagem relacionada à economia de tempo. Embora o modelo apresentando possua uma quantidade significativa de parâmetros a serem modificados, sua alteração é rápida, pois apresenta geometrias simples, requerendo pouca capacidade de processamento do computador.

Os casos em que o modelo parametricamente alterável não se mostrou eficaz em recriar cenários particulares do meio urbano foram aqueles que não apresentam aspectos ortogonais, devido a limitações de parâmetros não desenvolvidos. Isso aconteceu, pois, a programação do entorno urbano foi desenvolvida com foco na verificação de iluminação natural de uma determinada combinação de alturas e topografia, não considerando de modo significativo os diferentes tipos de estrutura urbana ou as formações ortogonais. Mesmo sendo um limitador para recriar entornos urbanos reais, essa limitação foi uma escolha dos autores, que direcionaram o enfoque em outras características urbanas e na velocidade das alterações. Quanto mais características e modificações forem programadas, maior será o tempo de processamento do hardware utilizado.

Além disso, foi possível identificar parâmetros que podem ser ajustados para desenvolver atualizações, em etapas futuras, com intuito de aumentar a diversidade de composições urbanas, como: manipular e modificar as nove quadras (3x3), pois não há alternativa para alterar essa quantidade; modificar as angulações, as curvas e as linhas que compõem as quadras, já que se pode modificar suas dimensões gerais, mas de modo ortogonal, sem alterar os ângulos perpendiculares ou utilizar desenhos curvos; e adicionar elementos externos aos lotes desenvolvidos, permitindo simulações e interoperabilidade com outros programas.

Essas vantagens se mostraram verídicas com a utilização dos processos em distintos trabalhos, para além do seu objetivo inicial. Uma vez que a programação disponibilizava um ambiente neutro (não preenchido com outras geometrias), este pôde ser usado por outras pesquisas, adaptando o que seria simulado ou alterando outros aspectos da programação, como automatização e coleta de dados. O ambiente urbano gerado no trabalho foi utilizado na avaliação de elementos de fachada, com características fractais no trabalho de Mariano (2018) e no desenvolvimento de outros trabalhos já aceitos em congressos. Como exemplo, cita-se a Mariano *et al.* (2020), – pesquisa sobre composições fractais orientadas pela radiação na fachada – e Pereira *et al.* (2020), – desenvolvimento de um modelo simplificado para a verificação da iluminação natural em residências no Brasil), além de revistas como *Gestão Tecnologia e Processos (GTP)* – organização de grandes elementos de fachada com base na radiação incidente –, e *Building Simulation* (pesquisa desenvolvida a partir de uma base dados e avaliada por estatística de resultados da luz natural). O processo parametrizado deste artigo também serviu de base para a programação do ambiente urbano para as simulações e para a criação do banco de dados da atualização da NBR 15-575, sofrendo adaptações e adições de

novas programações. Isso demonstra que o processo pode ser utilizado como estrutura para o desenvolvimento de novos trabalhos e programações.

## AGRADECIMENTO

Os autores gostariam de agradecer ao programa de Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), responsável por fornecer o auxílio necessário para o desenvolvimento deste trabalho, e ao Hiperlab, por propiciar o ambiente e os demais recursos intelectuais imprescindíveis para que o presente trabalho fosse concluído.

## NOTA

1. Artigo elaborado a partir da dissertação de P. O. P. MARIANO, intitulada “Processo de projeto paramétrico de elementos de fachada com características da geometria fractal”. Universidade Federal de Santa Catarina, 2018.  
Apoio/Support: Parte desse trabalho teve auxílio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

## REFERÊNCIAS

- AZEVEDO JUNIOR, D. P.; CAMPOS, R. Definição de requisitos de *software* baseada numa arquitetura de modelagem de negócios. *Production*, v. 18, n. 1, p. 26-46, 2008. <https://doi.org/10.1590/s0103-65132008000100003>
- BONA, C. *Avaliação de processos de software: um estudo de caso em XP e ICONIX*. 2002. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.
- CANTOR, M. *Object-Oriented Project Management with UML*. [S.l.]: Wiley, 1998.
- CELANI, M. G. C. Uma nova era para a Arquitetura. In: CELANI, M. G. C.; SEDREZ, M. (org.). *Arquitetura contemporânea e automação: prática e reflexão*. São Paulo: ProBooks, 2018. p. 17-20.
- CINTRA, M. S. *Arquitetura e luz natural: a influência da profundidade de ambientes em edificações residenciais*. 2011. 158 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Brasília, 2011.
- ESRI R&D CENTER. *CityEngine*. Switzerland: ESRI, 2008. Proprietary (Node-Locked or floating).
- GERBER, D. J. *Parametric practices: models for design exploration in architecture*. 2007. 310 f. Thesis (PhD in Design) – Harvard University, Cambridge, 2007. 2 v.
- GERBER, D. J.; LIN, S-H. E. Designing in complexity: simulation, integration, and multidisciplinary design optimization for architecture. *Simulation*, v. 90, n. 8, p. 936-959, 2013. <https://doi.org/10.1177/0037549713482027>.
- GÜRBÜZ, E.; ÇAĞDAŞ, G.; ALAÇAM, S. A generative design model for gaziantep's traditional pattern. *City Modelling: Ecaade*, v. 28, n. [1], p. 841-849, 2010.
- HERNANDEZ, C. R. B. Parametric Gaudi. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, 8., 2004, Porto Alegre. *Anais [...]*. Porto Alegre: Unisinos, 2004. p. 213-215.
- KIM, J. B.; CLAYTON, M. J.; YAN, W. Parametric form-based codes: incorporation of land-use regulations and object-oriented parametric modeling of bim. In: ACADIA REGIONAL 2011, Lincoln. *Proceedings [...]*. Calgary: Association for Computer Aided Design in Architecture, 2011. v. 31, p. 217-223

LIMA, F. F. Novas fronteiras espaciais: hibridização entre arte e arquitetura digital. *Revista Estética e Semiótica*, v. 1, n. 1, p. 65-77, 2011.

MACIEL, A. A. *Projeto bioclimático em Brasília: estudo de caso em edifício de escritórios*. 2002. 151 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

MARCUS, C.; HERNÁN, D. A. Emergent models of architectural practice. *Perspecta: Architecture After All*, v. 38, p. 57-68, 2006.

MARIANO, P. O. P. Processo de projeto paramétrico de elementos de fachada com características da geometria fractal con. 2018. 189 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

MARIANO, P. O. P. et al. Autonomous parametric process for daylight simulation applied to the proposal of a daylighting of buildings performance tool: transformative design. In: SIGRADI, 19., 2020, Medellín. *Proceedings* [...]. Medellín: Sigradi, 2020. p. 534-539.

McNEEL. *Rhinoceros 3D modelling software*. [S.l.]: McNeel, 2014. v. 5.

MCNEEL, R. RUTTEN MCNEEL & ASSOCIATES *Grasshopper 3D*, [S.l.], 2004. Available from: [www.grasshopper3d.com](http://www.grasshopper3d.com). Cited: Sept. 4, 2020.

MITCHELL, W. J. Constructing complexity. In: COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN FUTURES 2005, Vienna, 2005. *Proceedings* [...]. Switzerland: Springer-Verlag, 2005. p. 41-50. [https://doi.org/10.1007/1-4020-3698-1\\_3](https://doi.org/10.1007/1-4020-3698-1_3).

OXMAN, R. Theory and design in the first digital age. *Design Studies*, v. 27, n. 3, p. 229-265, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2005.11.002>.

OXMAN, R. Digital architecture as a challenge for design pedagogy: theory, knowledge, models and medium. *Design Studies*, v. 29, n. 2, p. 99-120, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2007.12.003>.

OXMAN, R.; HAMMER, R.; ARI, S. B. Performative design in architecture: employment of virtual prototyping as a simulation environment in design generation. *Ecaade 25*, v. [1], n. [1], p. 227-234, 2007.

PEREIRA, F. O. et al. Ferramenta simplificada para a estimativa do desempenho da iluminação natural em edificações residenciais. In: ENTAC 2020, 18., 2020, Porto Alegre. *Anais* [...]. Porto Alegre: Entac, 2020. p. 1-8.

PRESSMAN, R. S. *Engenharia de software: uma abordagem profissional*. 8. ed. São Paulo: Amgh, 2016.

RASHAD, A.; ALFARIS, A. A performance based generative design system methodology for sustainable Design in practice. In: CONFERENCE ON TECHNOLOGY & SUSTAINABILITY IN THE BUILT ENVIRONMENT, 2010, Riyadh. *Proceedings* [...]. Riyadh: Kings Saud University, 2010. p. 181-200.

SOLLEMMMA. *DIVA for Rhino: software for buildings daylight analysis for*. 2014. v. 2.0.2014

SALIM, F. D.; BURRY, J. Software openness: evaluating parameters of parametric modeling tools to support creativity and multidisciplinary design integration. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTATIONAL SCIENCE AND ITS APPLICATIONS, 2010, [S.l.]. *Proceedings* [...]. 2010. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2010. p. 483-497. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-12179-1\\_40](https://doi.org/10.1007/978-3-642-12179-1_40).

SILVA, R. C.; AMORIM, L. M. E. Urbanismo paramétrico: emergência, limites e perspectivas de nova corrente de desenho urbano fundamentada em sistemas de desenho paramétrico. *Virus*, n. 3, 2010. Disponível em: <http://www.nomads.usp.br/virus/virus03/submitted/layout.php?item=2&lang=pt>. Acesso em: 20 ag. 2020.

SILVA JUNIOR, E. R. Urbanismo paramétrico: experimentos para uma cidade compacta e sustentável. In: CONGRESS OF THE IBEROAMERICAN SOCIETY OF DIGITAL GRAPHICS: SIGRADI 2016, 2016, Buenos Aires. *Anais [...]*. Buenos Aires: SIGRADI, 2016. p. 519-527.

SHEA, K.; AISH, R.; GOURTOVAIA, M. Towards integrated performance-driven generative design tools. *Automation In Construction*, v. 14, n. 2, p. 253-264, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2004.07.002>

ZEMERO, B. R. *Análise da aplicabilidade da tecnologia BIM em projetos sustentáveis e etiquetagem de edificações no Brasil*. 2016. 183 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.

ZHANG, Y.; LIU, C. Parametric Modeling for Form-Based Planning in Dense Urban Environments. *Sustainability*, v. 11, n. 20, p. 1-14, 2019.

### **PEDRO OSCAR PIZZETTI MARIANO**

 <http://orcid.org/0000-0002-0552-7018> | Universidade Federal de Santa Catarina | Departamento de Arquitetura e Urbanismo | Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo | Florianópolis, SC, Brasil.

### **ALICE THERESINHA CYBIS PEREIRA**

 <http://orcid.org/0000-0001-9056-8182> | Universidade Federal de Santa Catarina | Departamento de Arquitetura e Urbanismo | Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo | R. Eng. Agrônomo Andrei Cristian Ferreira, 662, Carvoeira, 88040-535, Florianópolis, SC, Brasil | *E-mail:acybis@gmail.com*

### **COLABORAÇÃO**

P. O. P. MARIANO e A. T. C. PEREIRA colaboraram igualmente na concepção, projeto, interpretação dos dados, redação do artigo e crítica do conteúdo intelectual.

### **COMO CITAR ESTE ARTIGO/HOW TO CITE THIS ARTICLE**

MARIANO, P. O. P.; PEREIRA, A. T. C. Modelo urbano parametricamente ajustável para avaliações lumínicas e simulações. *Oculum Ensaios*, v. 19, e224821, 2022. <https://doi.org/10.24220/2318-0919v19e2022a4821>

RECEBIDO EM  
3/1/2020

REAPRESENTADO EM  
9/12/2020

APROVADO EM  
10/5/2021