

LÓGICA ALGORÍTMICA-PARAMÉTRICA E URBANISMO: UMA REVISÃO TÉORICA E DE MODELOS COMPUTACIONAIS PARA PROJETOS URBANOS

ARTIGO

Algorithmic-parametric logic and urbanism: a theoretical and a computational model review for urban design

Fernando Lima¹, Frederico Ribeiro Costa¹, Ashiley Rosa¹

RESUMO: A utilização de recursos algorítmico-paramétricos no contexto do pensamento urbano constitui uma perspectiva relativamente nova para o planejamento e o projeto das cidades. No campo do urbanismo, estas aplicações, apesar de estarem em franca ascensão, ainda se encontram ou em menor quantidade, ou não tão desenvolvidas quanto aquelas voltadas ao campo da arquitetura. Neste contexto, o objetivo deste artigo é abordar diferentes modelos de aplicações computacionais orientados para contextos urbanísticos, de maneira a estabelecer um enquadramento sobre a aplicação destes recursos e de modelos computacionais orientados a soluções de questões urbanas, organizando um cenário de pesquisas já desenvolvidas nesta área e sistematizando-os por meio de um quadro comparativo. A análise comparativa dos modelos permitiu identificar as limitações, bem como as potencialidades e os contextos de aplicação de cada modelo. Assim, pode-se concluir a partir desta abordagem que os modelos analisados têm um grande potencial a ser explorado para gerir questões complexas do planejamento urbano, uma vez que permitem a construção de cenários e modificações no ambiente construído de forma paramétrica, ou seja, permitem a análise e a retroalimentação do projeto ainda no ambiente virtual.

ABSTRACT: The use of algorithmic-parametric resources in urban context is a relatively new perspective for the planning and design of cities. In the field of urbanism, although growing, they are either in a smaller number or not as developed as those focused on the field of architecture. In this context, the aim of this paper is to address different computational applications models oriented to urbanistic contexts, in order to establish a framework on the application of these resources and computational systems aimed at urban problem solving, and to build a scenario of researches already developed in this area, systematizing them through a comparative table. Thus, it is possible to conclude that the analyzed models have great potential to manage complex urban planning issues, since they allow the construction of scenarios and modifications in a parametrical environment, that is, to allow the analysis and feedback of the project still in virtual environment.

¹ Universidade Federal de Juiz de Fora

How to cite this article:

LIMA, F.; COSTA, F.R.; ROSA, A. Lógica algorítmica-paramétrica e urbanismo: uma revisão teórica e de modelos computacionais para projetos urbanos. **Gestão e Tecnologia de Projetos**. São Carlos, v15, n. 2, p.84-97, 2020. <http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v15i2.162710>

Fonte de Financiamento:

Fonte de Financiamento: CAPES.

Conflito de Interesse:

Declara não haver.

Submetido em: 27/09/2019

Aceito em: 21/02/2020



INTRODUÇÃO

O ato de projetar, enquanto disciplina, é uma abordagem baseada em abstração e em avaliação de possíveis cenários, alternativas de configuração e concretizações, sem a necessidade de se realizar fisicamente cada uma das soluções possíveis (MENGES, 2006). Tradicionalmente, a solução para determinado problema era obtida por meio da materialização de desenhos realizados sobre o papel, enquanto na arquitetura contemporânea ela se dá por meio da implementação de métodos e técnicas digitais, desenvolvendo sistemas com alto nível de complexidade (MITCHELL, 2005). Neste sentido, Mitchell (1977) expõe que o desenho computacional vai além apenas da representação, produzindo alternativas de soluções por meio da análise de dados. Para Mitchell e McCullough (1991) a introdução de métodos computacionais foi responsável por apresentar uma alternativa aos processos convencionais de projeto, dado sua alta capacidade de processamento de dados, parâmetros e interações, permitindo visualizar (e avaliar) de maneira mais rápida e dinâmica, diferentes alternativas e soluções para um problema abordado. Segundo Kotnik (2010, p.4, tradução nossa), os computadores “estão moldando ativamente a maneira como os usuários abordam a questão do design”, com os métodos computacionais sendo responsáveis por viabilizar aos arquitetos (ou outros atores envolvidos com processos projetuais) integrar informações de projeto cada vez mais complexas, enquanto as lógicas convencionais estão se tornando cada vez mais obsoletas em um contexto social composto por sistemas em rede (MENGES, 2012).

Os recursos computacionais, no âmbito de processos criativos, se distinguem em duas possíveis posturas frente à sua utilização. A primeira é aquela que entende o computador apenas como uma ferramenta que utiliza recursos avançados, capazes de gerar resultados sofisticados e maior domínio de soluções. Neste raciocínio, infere-se que, ainda que o computador altere significativamente a natureza dos resultados obtidos, não é necessário ou mesmo desejável o aprofundamento em aspectos de seus processos internos.

Já a segunda postura considera inevitável o aprofundamento em questões de programação e dos processos internos algorítmicos para conferir um uso mais frutífero aos recursos computacionais em atividades criativas (PICON, 2006). Para Kotnik (2010, p.13, tradução nossa), “o computador não é uma ferramenta neutra, atuando ativamente e moldando a maneira como os projetistas estão abordando as questões projetuais”. Neste sentido, cabe destacar a diferença entre os termos computação e computadorização. Para Terzidis (2003), enquanto a computação é o processo de calcular, determinar algo por métodos matemáticos ou lógicos, computadorização é o ato de entrada, processamento ou armazenamento de informações em um computador ou sistema computacional. Assim, pode-se compreender também computação como um processo generativo de informações e de resultados intangíveis, enquanto a computadorização limita-se a digitalização das informações e a resultados tangíveis.

O presente trabalho se alinha com a segunda postura apresentada, por entender que o conhecimento básico de programação e o conhecimento de lógica algorítmica para abordagem de problemas tem por objetivo “não limitar o conjunto das soluções consideradas apenas a experiências pré-definidas, mas, pelo contrário, explorar uma ampla gama de soluções potenciais, em contextos menos restritivos” (LIMA, 2017, p.83).

A aplicação de recursos computacionais em contexto urbanístico constitui uma possibilidade relativamente nova para o planejamento e o projeto das cidades. Ainda que a introdução de ferramentas digitais no campo da arquitetura date do final da década de 1960 (HENRIQUES, 2013), com um impacto crescente na prática de projeto arquitetônico, não se encontra, até os dias de hoje, um reatamento equivalente no contexto do projeto e do planejamento urbano. Aplicações computacionais no campo do urbanismo, apesar de crescentes, ainda se encontram ou em menor quantidade, ou não tão abordadas quanto aquelas desenvolvidas no campo da arquitetura (STEINØ e VEIRUM, 2005; GIL et al., 2010; DUARTE et al., 2012; LIMA, 2017).

Entretanto, esses recursos possuem grande potencial para contribuir signi-

ficativamente no suporte a solução de problemas das cidades, pois, entre outros aspectos, podem proporcionar um controle mais dinâmico (intervenção, atualização e avaliação de modificações) das partes componentes de um sistema complexo, como é o caso dos centros urbanos.

Diante do exposto, este trabalho, um desdobramento da tese de doutoramento de Lima (2017) e vinculado a um projeto de pesquisa do Laboratório de Investigação em Arquitetura e Urbanismo – DOMVS, da Universidade Federal de Juiz de Fora, tem como objetivo contribuir para uma maior disseminação de práticas computacionais no contexto do projeto e do planejamento urbano, ao passo que procura estabelecer uma reflexão por meio da abordagem de três conceitos intimamente relacionados: a lógica algorítmica; a modelagem paramétrica; e a lógica algorítmico-paramétrica. Assim, sobre seus aspectos metodológicos, o presente artigo expõe uma pesquisa qualitativa, a partir de: (i) revisão dos conceitos supracitados; seguidos de (ii) uma revisão de modelos¹ computacionais aplicados em contexto urbano e de um (iii) quadro comparativo destes modelos, de maneira a apresentar esta revisão teórica e conceitual de forma sintetizada. Por fim, serão apresentadas (vi) as considerações finais e as discussões acerca dos modelos apresentados e de seus impactos no planejamento urbano, enquanto recursos ainda a serem mais extensamente difundidos e explorados no campo urbanismo e de gestão das cidades.

LÓGICA ALGORÍTMICA

Terzidis (2006) define algoritmo como um procedimento que utiliza uma sequência finita de instruções para resolver um determinado problema, enquanto Tedeschi (2014) acrescenta que o algoritmo pode ser definido como uma sequência finita de instruções bem definidas, utilizada para prover uma solução a uma pergunta ou para realizar uma determinada tarefa. Ou seja: trabalhar com algoritmos ou na lógica algorítmica significa decompor um determinado problema em um conjunto de etapas simples, que possam ser computadas e associadas de maneira a fornecer, por meio de um conjunto de instruções bem definidas, uma solução ao problema proposto. Isto implica em adotar um pensamento abstrato e associativo, além de clareza na hierarquização de informações.

Neste cenário, Kilkelly (2015) coloca que o pensamento algorítmico é o inverso do pensamento intuitivo, uma vez que consiste em um processo com procedimentos definidos para a resolução de um determinado problema. Neste senso, a ênfase está no objetivo - o problema é resolvido ou não. Isto é, programar requer pensamento algorítmico e pode constituir uma forma eficiente de auxílio a soluções para questões urbanas.

No contexto da arquitetura e do urbanismo, diversos autores consideram que associar o uso de algoritmos com a capacidade de processamento do computador, permite gerenciar de maneira mais eficiente uma grande quantidade de dados, cálculos e interações, potencializando as possibilidades analíticas e propositivas do homem e criando novos cenários criativos e de avaliação (MITCHELL, 1977; OXMAN, 2006; TERZIDIS, 2006; WOODBURY, 2010; SCHEER, 2014; TEDESCHI 2014; VEREBES, 2014).

Assim, adotar a lógica algorítmica como um recurso de suporte a tarefas de projeto urbano pode significar uma postura mais eficiente e dinâmica para o gerenciamento e a proposição de soluções para problemas complexos das cidades. Este paradigma, suportado pelo uso de regras e padrões para lidar com grande fluxo de informações, e baseado na possibilidade de implementar ferramentas ou instrumentos especificamente desenvolvidos (ou modificados) para abordar um ou mais problemas em particular, pode ser empregado em diversos contextos e objetivos. Ou seja, trata-se de uma abordagem ampla (pois potencialmente pode ser aplicada em situações de diversas naturezas) e, ao mesmo tempo, específica (porque pode ser customizada de acordo com diferentes situações) para a procura por soluções.

¹ No contexto do presente trabalho, este termo se refere a abordagem de um problema por meio do método da Modelagem Matemática (páginas 5 e 6).

MODELAGEM PARAMÉTRICA

Velten (2009) descreve a modelagem matemática (ou simplesmente modelagem) como a área do conhecimento que utiliza modelos matemáticos para a simulação de sistemas reais, com o objetivo de prever seu comportamento. Neste cenário, e de uma maneira geral, a modelagem matemática pode ser definida como uma abordagem metodológica que pretende descrever um determinado fenômeno (e. g. distribuição de cargas em um edifício, comportamento aerodinâmico de um automóvel, entre outros) para que se obtenha previsões (ou informações) acerca de seu comportamento. A este respeito, Minsky (1968) acrescenta que para um observador B, um objeto A' é um modelo de um objeto A, na medida em que B pode usar A' para responder às perguntas que lhe interessam sobre A.

A modelagem paramétrica, no entanto, se apresenta como introdutora de uma modificação fundamental aos paradigmas de modelagem convencional, uma vez que possibilita que as partes de um dado modelo se relacionem e se modifiquem juntamente, de maneira coordenada.

Modelar parametricamente, portanto, significa definir os parâmetros necessários para uma especificação completa ou relevante de um modelo (WOODBURY, 2010), o que demanda algumas habilidades, entre elas: i) conceber fluxos de dados; ii) pensar abstratamente; iii) pensar matematicamente, e; iv) pensar algoritmicamente. Parametrizar significa definir os parâmetros necessários para uma especificação completa ou relevante de um modelo ou objeto geométrico (SILVA, 2010).

Para Silva e Amorim (2010), a modelagem paramétrica é regulada pela declaração dos parâmetros de um objeto particular. Isto é, a modelagem paramétrica apresenta uma abordagem essencialmente sistêmica, que permite considerar relações entre os diversos elementos de um código, possibilitando constituir um verdadeiro complexo de elementos em interação - um todo que se caracteriza através das interrelações entre suas diversas partes constituintes. Henriques e Bueno (2010) entendem que a modelagem paramétrica em contexto algorítmico corresponde à codificação de um conjunto de regras ou relações lógicas, geométricas e paramétricas, em uma determinada sequência, para resolver um problema específico.

Para Silva (2010), a aplicação da modelagem paramétrica como suporte a tarefas de planejamento urbano possui grande potencial para melhorar a sistemática de avaliação e subsequente argumentação para propostas realizadas em áreas urbanas, uma vez que os componentes constituintes de um modelo urbano também compartilham similaridades que podem ser definidas parametricamente. Atributos como densidade, uso, forma, espaço e tipologia - que tipicamente pertencem ao planejamento urbano - podem ser definidos parametricamente (STEINØ e VEIRUM, 2005). Sendo assim, é possível não apenas contribuir para processos de projeto do espaço urbano mais eficientes e dinâmicos, mas também avaliar os prós e contras de cenários com diversos ajustes para diferentes parâmetros e atributos.

LÓGICA ALGORÍTMICO-PARAMÉTRICA

O termo “lógica algorítmico-paramétrica” é utilizado, no contexto deste trabalho, para se referir a uma abordagem metodológica que pressupõe a associação entre a lógica algorítmica e a modelagem paramétrica, ou seja: a uma forma de pensamento que preconiza o aprofundamento em questões de programação para conferir um uso mais frutífero aos recursos computacionais em atividades criativas (ou, mais especificamente, em atividades de análise e proposição em contextos urbanísticos) por meio de, basicamente: i) a decomposição de

uma determinada questão em um conjunto de etapas simples, que possam ser computadas e associadas de maneira a fornecer, por meio de um conjunto de instruções ou ferramentas, uma resposta a uma questão colocada ou uma solução a um problema proposto, e; ii) a definição dos atributos (ou parâmetros) necessários para uma especificação completa ou relevante de um modelo que se pretende elaborar, possibilitando que diferentes partes deste modelo se relacionem e modifiquem juntamente, de maneira coordenada.

Em resumo, a lógica algorítmico-paramétrica é aquela que implica na especificação dos parâmetros de um objeto particular e que corresponde à codificação de um conjunto de regras ou relações lógicas, cuja a intenção é a programação, a alteração, a combinação e o compartilhamento de códigos para gerenciar dados e realizar operações lógicas, de maneira a fornecer suporte à diversas tarefas de planejamento urbano.

Implementar a lógica algorítmico-paramétrica ou construir algoritmos parametricamente, neste senso, significa relacionar dados, condições e variáveis, o que implica em pensar na relação entre as partes e nas decorrências de recomposições destas relações. Relacionar e recompor impõem modificações fundamentais na maneira pela qual se empregam os recursos computacionais em tarefas de projeto e planejamento urbano. Sob esta ótica, modelos paramétricos diferem essencialmente dos sistemas tradicionais de modelagem digital, por permitirem a elaboração de propostas flexíveis, capazes de responder a modificações diversas e por manterem a capacidade de um dado modelo alterar-se constantemente, bem como por permitirem gerar (e testar) grande quantidade de versões dentro de um ambiente controlado, a partir da alteração de um ou mais parâmetros específicos.

MODELOS DE APLICAÇÕES COMPUTACIONAIS NO CONTEXTO URBANO

A presente seção tem o objetivo de examinar diferentes modelos de aplicações computacionais orientados para contextos urbanísticos, de maneira a estabelecer um enquadramento sobre a aplicação destes recursos, mais especificamente aqueles que podem se relacionar com a lógica algorítmico-paramétrica e de sistemas² computacionais voltados a soluções de problemas urbanos, com o intuito de sistematizar um cenário de pesquisas já desenvolvidas nesta área. Vale ressaltar que, durante o processo de revisão narrativa realizado, foi encontrado apenas um modelo brasileiro direcionado a atuar com problemas urbanos adotando as lógicas abordadas por este trabalho.

URBAN NETWORK ANALYSIS – (SEVTSUK E MEKONNEN, 2012; SEVTSUK E KALVO, 2015)

O *Urban Network Analysis* (UNA) consiste em um conjunto de ferramentas desenvolvido inicialmente para atuar junto a plataforma *ArcGIS* (Sevtsuk e Mekonnen, 2012), que mais tarde foi aprimorado para operar parametricamente, junto ao software *Rhinoceros3D* (Sevtsuk e Kalvo, 2015). Os modelos foram desenvolvidos no âmbito do *City Form Lab* (Universidade de Havard - Cambridge, Estados Unidos), com funcionalidades que permitem avaliar distâncias, acessibilidade e encontros entre pessoas ou lugares ao longo de redes espaciais urbanas, visando a tornar a modelagem quantitativa igualmente acessível para a mobilidade de pedestres e bicicletas como é para o veículo motorizado (SEVTSUK e KALVO, 2015; SEVTSUK, 2018).

De acordo com Sevtsuk e Mekonnen (2012), ao contrário das ferramentas de análise de redes urbanas anteriores que operam com dois elementos de rede

² O termo “sistema” pode se referir a um “conjunto de elementos distintos, com características e funções específicas, organizadas de forma natural ou por meios artificiais” (MICHAELIS, 1998). No contexto deste paper, este termo se refere de forma mais específica a um conjunto de estratégias, procedimentos, ferramentas e etapas estritamente articulados para auxiliar em tarefas de análise e de otimização de desempenho em configurações formais de áreas urbanas.

(nós e arestas), as ferramentas UNA incluem um terceiro elemento de rede, os edifícios, que podem ser utilizados como unidades espaciais de análise para todas as ferramentas (Figura 01), podendo ser ponderados de acordo com suas características particulares, e por consequência, obtendo resultados mais precisos e confiáveis.

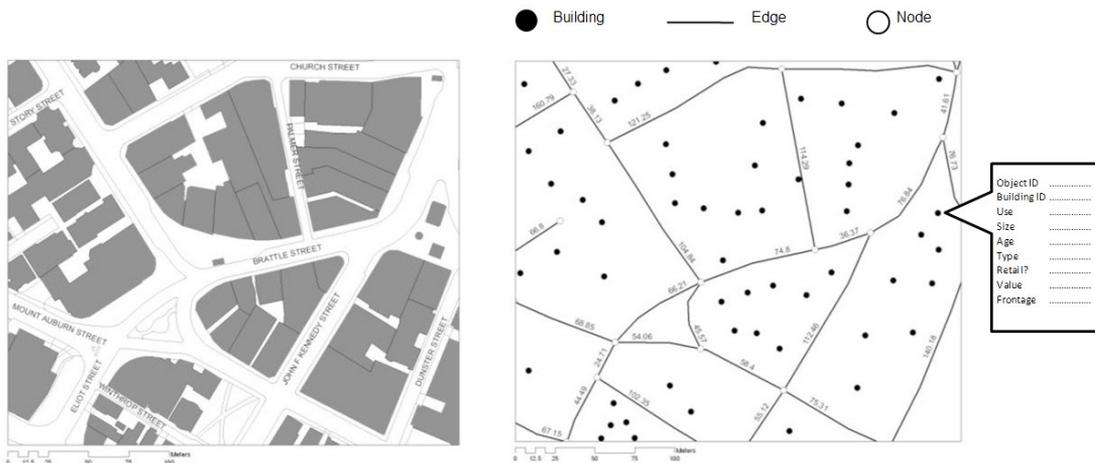


Figura 1: Esquerda: Desenho do plano da Harvard Square em Cambridge, MA. Direita: uma representação gráfica do mesmo desenho do plano no ArcGIS.

Fonte: MIT City Form Lab.

Todas as análises realizadas pelas ferramentas do UNA exigem que os usuários forneçam três *inputs*: (i) uma rede (dados em GIS, CAD ou *Open Streetmap*), ao longo da qual o movimento é analisado, (ii) as origens da viagem e (iii) os destinos da viagem. As origens e destinos podem, opcionalmente, carregar dados numéricos para atribuir pesos diferentes para as análises, como indicar o número de residentes em cada edifício, por exemplo. É possível, também, avaliar as estimativas de acessibilidade, fluxo de pedestres ou a viabilidade de uma infraestrutura (SEVTSUK, 2018).

Sevtsuk e Kalvo (2015) afirmam ainda que o conjunto de ferramentas do UNA para *Rhinoceros3D* é significativamente mais rápida que no GIS, tendo a capacidade de criar e editar redes mais rapidamente a partir de qualquer “curva” no software e tornando o processo de projeto e de análise mais simples e intuitivo, em que as redes podem ser projetadas, avaliadas e redesenhadas em ciclos contínuos para melhorar suas configurações. Neste sentido, as opções analíticas disponíveis para o usuário na versão para *Rhinoceros3D* se expandiram para 21 ferramentas, possibilitando um controle mais preciso dos resultados e da análise urbana como um todo (Figura 02).



Figura 2: Interface UNA Toolbar para Rhinoceros3D.

Fonte: MIT City Form Lab

O conjunto de ferramentas do UNA para *Rhinoceros3D* inclui funções-chave que produzem resultados de análise de rede, são elas: (i) *Accessibility Indices*, (ii) *Service Area*, (iii) *Redundant Paths*, (iv) *Betweenness*, (v) *Closest Facility*, (vi) *Find Patronage*, (vii) *Distribute Weights* e (viii) *Clusters*. Neste contexto, Sevtsuk (2018) aponta que essas funções-chave disponíveis permitem: analisar como um determinado conjunto de destinos é acessível a partir de um determinado conjunto de origens ao longo das redes; entender a demanda de viagem não-motorizada; avaliar quais segmentos de rua ou caminhos para pedestres podem ser utilizados em viagens; estimar quantos usuários tendem a frequentar os serviços ao longo do caminho; detectar grupos de destinos próximos na rede, destacando quais conjuntos de serviços e facilidades podem funcionar como aglomerações, atraindo mais visitantes; informar que locais em uma cidade são melhores ou piores para determinados usos e atividades; estimar quantos e que

tipos de usuários os espaços públicos ou investimentos em infraestrutura podem beneficiar, bem como; analisar como uma mudança na forma construída ou nos padrões de uso do solo pode influenciar a atividade dos pedestres e a demanda de serviços em outros locais.

CITYMAKER - BEIRÃO (2012)

O *CityMaker*, um produto da tese³ de doutoramento de José Beirão, foi desenvolvido no âmbito da faculdade de arquitetura da Universidade Técnica de Delft. A pesquisa, que se concentrou na elaboração de ferramentas generativas desenvolvidas para atuar especificamente em contextos urbanos, também é parte integrante do projeto de pesquisa *City Induction*⁴ (DUARTE et al., 2012), e articula ferramentas baseadas em gramáticas da forma (Stiny e Gips, 1972), com uma orientação especial em atuar suportando a realização de tarefas de planejamento urbano. O nome *CityMaker* remete ao conceito de CIM (*City Information Modeling*), uma abordagem que estende o conceito de BIM (*Building Information Modeling*) para o espaço urbano (AMORIM, 2015).

O modelo desenvolvido por Beirão (2012) procura conceber soluções alternativas para um determinado contexto urbano, por meio da combinação de um conjunto de padrões formais de projeto e da “codificação de movimentos tipicamente utilizados em tarefas de projeto urbano” (p.13, tradução nossa). A combinação de padrões objetiva obter diferentes layouts, que podem ser ajustados por meio da manipulação de diversos parâmetros, considerando vários indicadores. Ainda segundo Beirão (2012), o desenvolvimento dos padrões implementados no modelo foi elaborado tomando como base a observação de procedimentos típicos de projeto urbano, codificando-os como gramáticas discursivas e posteriormente transformando-os, por meio da lógica algorítmico-paramétrica, em padrões de projeto.

Em síntese, o modelo *CityMaker* permite que as possibilidades de soluções em um projeto sejam encontradas por meio de um conjunto de premissas programáticas. Dessa forma, as soluções são modificadas de acordo com a alteração dos parâmetros, ao mesmo tempo em que é possível verificar as alterações dinamicamente nos indicadores urbanos referentes a cada uma das soluções avaliada. A Figura 03 ilustra a utilização de *CityMaker* em contexto algorítmico-paramétrico, sob a plataforma do plugin *Grasshopper*, para *Rhinoceros3D*.

³ BEIRÃO, J. *CityMaker / Designing Grammars for Urban Design*. 2012. 272 f. Tese (Doutorado em Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Delft University of Technology, Delft, 2012.

⁴ Além de José Beirão, também atuaram no projeto de pesquisa *City Induction* os pesquisadores José Pinto Duarte, Nuno Montenegro e Jorge Gil. O projeto foi desenvolvido no âmbito do grupo de pesquisa *Design Computation Group*, da Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa.

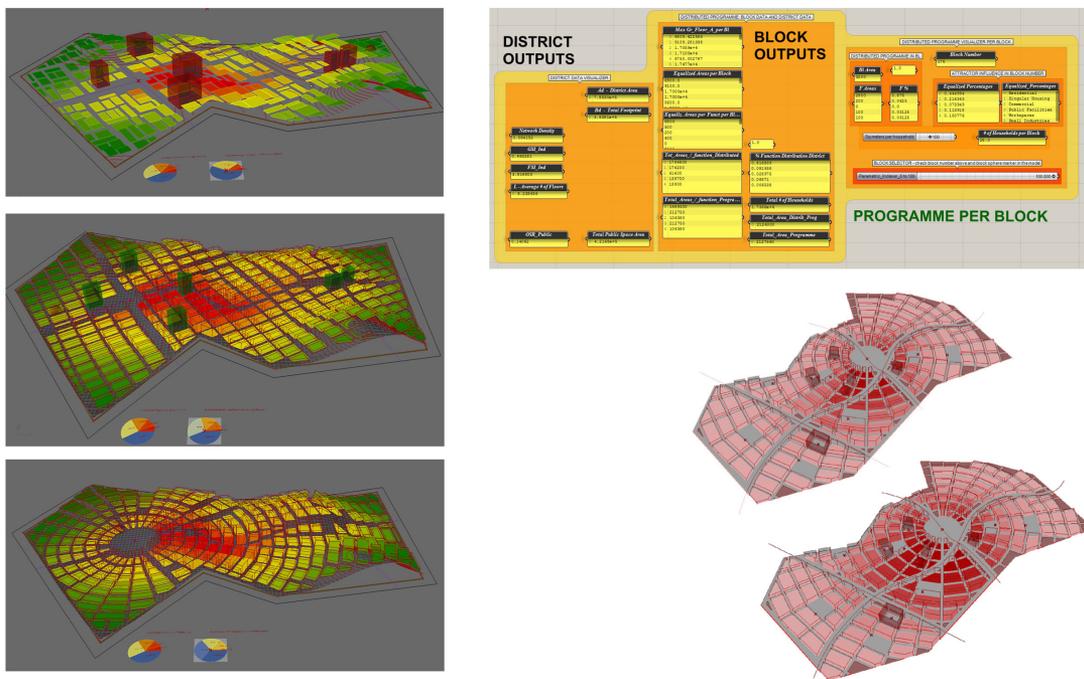


Figura 3: Prova de conceito de CityMaker elaborada por Beirão (2012). As três imagens à esquerda mostram três alternativas para a malha urbana. O canto superior direito apresenta a interface de dados em que os indicadores de densidade são mostrados em escalas separadas (neste caso, distrito e quadra). O canto inferior direito apresenta a variação dos usos na malha proposta (uso comercial e residencial).

Fonte: Beirão (2012, p. 213).

CONFIGURBANIST - NOURIAN ET AL. (2015)

O modelo foi desenvolvido por Pirouz Nourian, após algumas ideias articuladas junto de José Beirão (autor do modelo *CityMaker*) em projetos desenvolvidos no ano de 2011 (BEIRÃO, NOURIAN e VAN WALDERVEEN, 2011; BEIRÃO, NOURIAN e MASHHOODI, 2011). O *Configurbanist* foi apresentado em 2015 no eCAADe (*Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe*), em um artigo submetido por Pirouz Nourian, Samaneh Rezvani, Sevil Sariyildiz e Frank van der Hoeven, todos pesquisadores da Universidade Técnica de Delft.

É composto por um conjunto de ferramentas algorítmico-paramétricas associadas (Figura 04) que, segundo os autores, possui como objetivo contribuir para o desenvolvimento de um método abrangente de se planejar espaços urbanos, respondendo dois questionamentos básicos: “como definir uma localização mais apropriada para facilitar a acessibilidade ao ciclismo para um número de famílias e localidades relevantes?” e “como é possível planejar uma rede de ciclismo, levando em conta a preferências dos usuários para essa ciclovia?” (NOURIAN et al., 2015, p.554, tradução nossa).

Considerando as duas perguntas que impulsionaram o seu desenvolvimento, o modelo pretende contribuir “para análise de redes urbanas, considerando aspectos cognitivos e físicos relacionados às atividades de caminhar e do ciclismo, em relação à configuração espacial urbana, sob aspectos físicos e topológicos” (NOURIAN et al., 2015, p.554, tradução nossa).

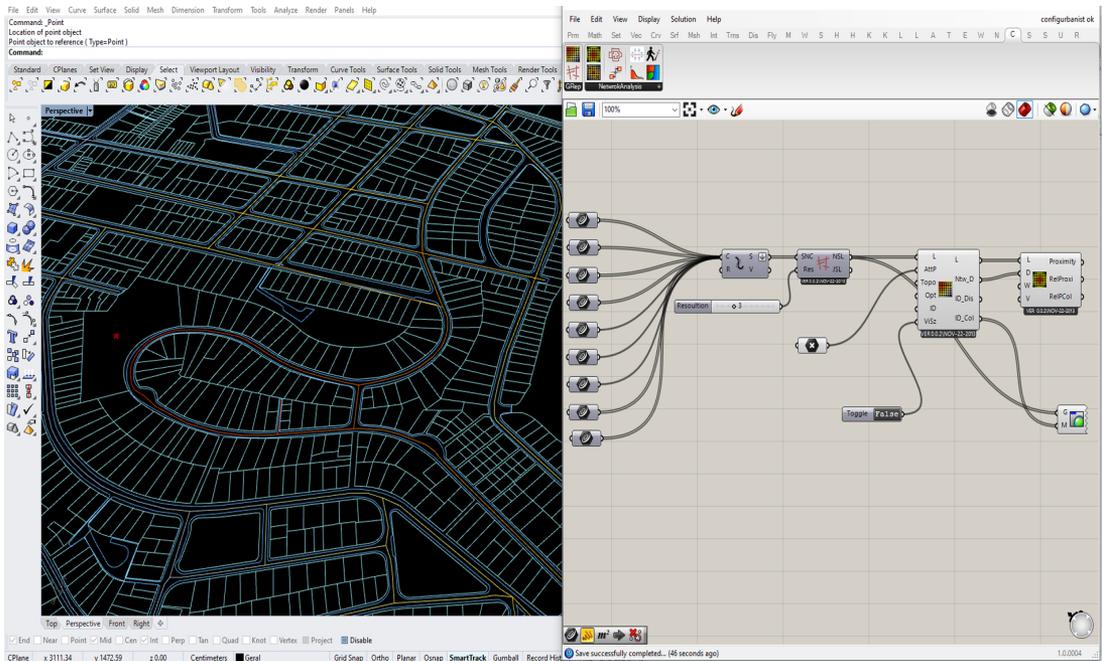


Figura 4: O plugin Cheetah-The Configurbanist em funcionamento.

Fonte: Dos autores.

CITYMETRICS - LIMA (2017)

O modelo *CityMetrics*, um produto da tese⁵ de doutoramento de Lima (2017), foi desenvolvido no âmbito do programa PROURB (Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal do Rio de Janeiro) e na Faculdade de Arquitetura de Lisboa⁶, sob orientação de José Kós, Rodrigo Paraízo e Nuno Montenegro. Se apresenta como um sistema que articula métricas de avaliação de desempenho a recursos e funcionalidades algorítmico-paramétricas, desenvolvido para atuar dentro do plugin *Grasshopper*. O modelo foi desenvolvido para auxiliar tarefas de análise e planejamento urbano, viabilizando inclusive otimizações em diferentes aspectos relativos ao grau de eficiência e às possibilidades de operação de configurações geométricas e algébricas de uma área urbana (Figura 05). O sistema foi elaborado para mensurar e otimizar o desempenho de configurações urbanas por meio de métricas relacionadas a princípios mensuráveis, derivados do DOTS - Desenvolvimento Orientado pelo Transporte Sustentável, utilizando para a construção de Sistemas Generativos a lógica da Linguagem de Programação Visual (LIMA et al., 2019).

⁵LIMA, F. Métricas Urbanas: Sistema (para)métrico para análise e otimização de configurações urbanas de acordo com métricas de avaliação de desempenho. Rio de Janeiro, 2017. Tese (Doutorado em Urbanismo) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

⁶O doutoramento em questão contou com estágio doutoral na Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa.

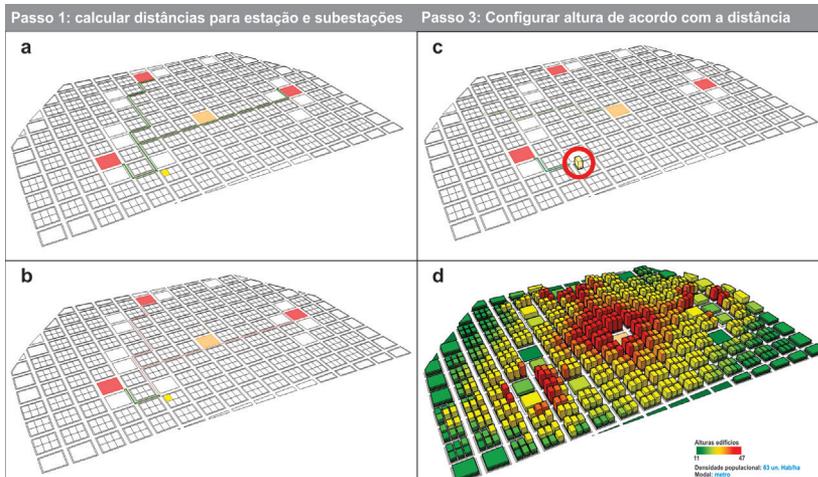


Figura 5: Exemplo de utilização de CityMetrics.

Fonte: Dos autores.

Deste modo, o sistema computacional *CityMetrics* desdobra-se nos seguintes algoritmos (LIMA, 2017): (i) Algoritmo de Proximidade Física (APF) - mede a distância entre um alvo (uma amenidade) e um (ou todos) locais em uma vizinhança (origens). Nesse sentido, o algoritmo proposto calcula o(s) caminho(s) com distância(s) física(s) menor(es) entre um alvo e um (ou todos) destino(s) em um dado recorte urbano, considerando declive(s) no(s) caminho(s); (ii) Algoritmo de Proximidade Topológica (APT) - calcula a proximidade considerando métricas topológicas, usando conceitos da teoria da Sintaxe Espacial (Hillier e Hanson, 1984); (iii) Algoritmo de Variedade de Serviços - calcula as distâncias médias entre uma determinada fonte e todos os alvos próximos em uma determinada categoria de serviços urbanos; (iv) Algoritmo de Recorrência de Serviços (ARS) - calcula a proporção do número de alvos relatados (em cada categoria de serviços) e o número total de locais em uma área pesquisada; (v) Algoritmo de Uso Misto (AMXI) - calcula a proporção entre a soma de todas as áreas residenciais e não residenciais de uma localidade, fazendo uma comparação dessas proporções (Hoek, 2008); e (vi) Algoritmo de Indicadores *Spacematrix* - calcula os atributos de densidade das áreas estudadas, informando três indicadores fundamentais propostos por Pont e Haupt (2010): intensidade (*Floor Space Index*, FSI), Cobertura (*Ground Space Index*, GSI) e Densidade de Rede (*Network Density*, N).

Lima et al. (2019) ressaltam que o *CityMetrics* não se destina a atuar como um solucionador automático independente e nem se restringe a implementações exclusivas do DOT, sendo o papel dos muitos atores envolvidos nas tarefas de planejamento urbano indispensável, uma vez que, serão esses os responsáveis em estabelecer os objetivos, alimentar o sistema e considerar aspectos não-programáveis e subjetivos da análise urbana.

URBANO TOOLBOX - DOGAN et al. (2018)

O Urbano Toolbox, modelo desenvolvido por Dogan, Samaranayake e Saraf, (2018), foi apresentado em 2018 no SimAUD (Simpósio de Simulação para Arquitetura e Planejamento Urbano) como um modelo computacional paramétrico, ou um conjunto de ferramentas paramétricas, que permitem mensurar indicadores urbanos relacionados ao transporte ativo. Esse conjunto de ferramentas opera no ambiente CAD Rhinoceros3D, e pode ser executado por meio de um plugin para a plataforma de linguagem de programação visual (VPL) Grasshopper (Figura 6), onde o projetista cria um modelo paramétrico de mobilidade urbana, executando análises de rede e simulações de transporte por meio de uma plataforma computacional.



Figura 6: Interface do plugin dentro do Rhinoceros3D.

Fonte: Dogan, Samaranyake e Saraf (2018, p. 274).

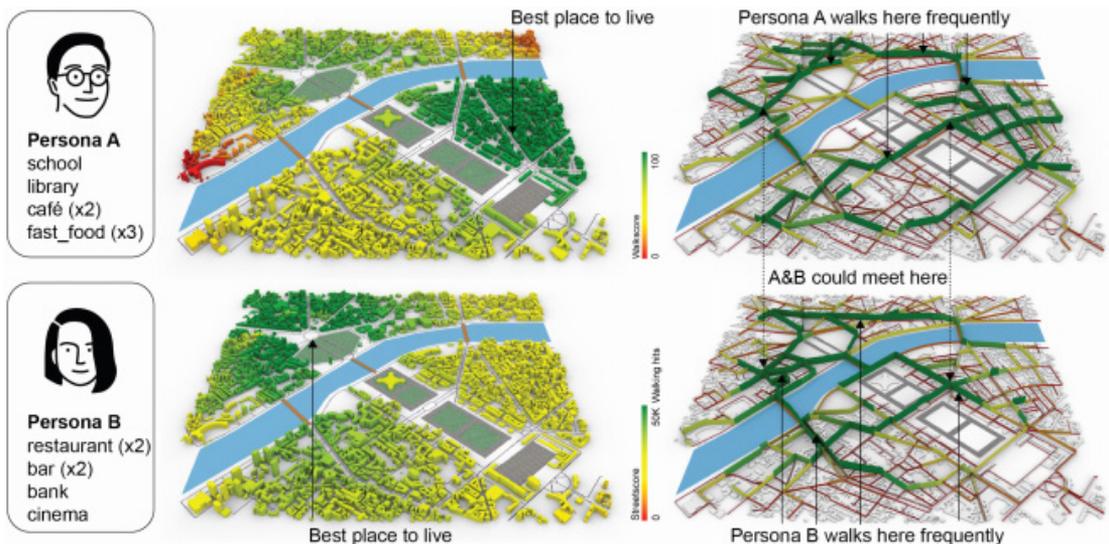
O Urbano Toolbox articula três métricas básicas: (i) Walkscore (BREWSTER et al., 2009): versão específica adaptada ao modelo; (ii) Amenityscore: métrica que computa a demanda geral por serviços urbanos que deve ser esperada, evitando que se adicionem serviços em excesso para equilibrar o Walkscore; (iii) Streetscore: métrica de quantas pessoas usam cada rua, que também é calculada durante as simulações. Isso permite que o projetista meça a utilização dos pedestres de cada rua, o que auxilia decisões como a largura de calçada, posicionamento de faixas de pedestres e até mesmo considerar a criação de ruas exclusivas para o uso de pedestres.

A partir da rede de ruas e dos contornos das edificações (dois requisitos fundamentais para alimentar o sistema), é possível construir um modelo de viagem com as informações mínimas necessárias. O Urbano pode importar esses dados de fontes existentes, como shapefiles, dados GIS municipais e Open Streetmap. Por meio das geometrias estabelecidas no Rhinoceros3D, o projetista começa então a modelar: o sistema de mobilidade (modelo de viagem) é criado a partir da geometria e dos metadados fornecidos e, em seguida, é possível executar as simulações e visualizar os resultados dentro da estrutura Rhinoceros3D + Grasshopper. O modelo procura encontrar a viagem mais curta entre dois pontos ou encontrar uma viagem entre determinada origem e seu serviço urbano mais próximo, considerando uma atividade específica.

Os resultados encontrados pelo modelo (Walkscore, Amenityscore e Streetscore) estão diretamente relacionados com a densidade e a distribuição de serviços urbanos, bem como com a conectividade dentro da rede urbana, o que facilita a compreensão da lógica do sistema e qualifica o modelo ao suporte de análises urbanas e como ferramenta de auxílio à tomada de decisões (Figura 7). O modelo também permite a máxima extensibilidade em termos dos diferentes tipos de simulação que o usuário é capaz de executar, além das métricas que podem ser calculadas. Considerando que o grupo de usuários-alvo é familiarizado com a plataforma Rhinoceros3D e Grasshopper, o Urbano Toolbox pode ser implementado sem muitas dificuldades, reduzindo significativamente as barreiras de entrada planejadores urbanos não especializados que queiram aplicá-lo a um caso de estudo.

Figura 7: Visão geral dos elementos de uma simulação no Urbano Toolbox.

Fonte: Dogan et al. (2018, p. 278)



ANÁLISE COMPARATIVA DOS MODELOS

Os modelos elaborados por Beirão (*CityMaker*), e Nourian et al. (*Configurbanist*), além de confirmarem a grande potencialidade da aplicação computacional em situações urbanas, possuem em comum o fato de se apresentarem sob a forma de sistemas. Em paralelo, o modelo computacional de Lima (*CityMetrics*), é um sistema que apresenta a peculiaridade de avançar na implementação algorítmico-paramétrica de atributos de avaliação de desempenho em tarefas de análise e otimização de configurações geométricas urbanas, visando a tornar estas tarefas mais dinâmicas e eficientes, suportando a tomada de decisão em processos de projeto urbano. No entanto, nem o modelo de Beirão (*CityMaker*) e nem o de Lima (*CityMetrics*) se apresentam sob a forma de plugins, o que restringe as possibilidades de popularização destes sistemas. O modelo de Sevtsuk et al. - um plugin - (*Urban Network Analysis*) pode ser implementado em duas plataformas diferentes (*Rhinoceros3D* e *ArcGIS*), podendo atuar apenas de forma paramétrica ou também sob a lógica algorítmico-paramétrica, enquanto o modelo de Dogan et al. (*Urbano Toolbox*) se apresenta sob a forma de um plugin que pode ser utilizado apenas na plataforma *Rhinoceros3D + Grasshopper*.

Sob o ponto de vista do escopo dos modelos, é possível perceber que: i) o *Urban Network Analysis* aborda questões relacionadas à acessibilidade urbana, ao fluxo e ao encontro de pessoas; ii) o *CityMaker* possui um direcionamento mais voltado para a aplicação da Gramática da Forma e para a elaboração automatizada de desenhos urbanos; iii) o *CityMetrics* aborda mais especificamente ferramentas relacionadas à acessibilidade ao transporte, à caminhabilidade, à diversidade de usos e à densidade; iv) o *Configurbanist* é mais diretamente relacionado à questões de transporte ativo (caminhada e bicicleta) e; v) o *Urbano Toolbox* permite mensurar indicadores urbanos relacionados ao transporte ativo. O Quadro 01 sintetiza as análises comparativas realizadas entre os modelos.

Modelos	É um plugin?	Natureza da abordagem	O que aborda:	Software compatível:
Urban Network Analysis	Sim	Paramétrico / Algorítmico-paramétrico	Acessibilidade / encontros e fluxos de pessoas	ArcGIS e Rhinoceros3D
CityMaker	Não	Algorítmico-paramétrico	Desenho Urbano / Gramática da Forma	Rhinoceros3D / Grasshopper
Configurbanist	Sim	Algorítmico-paramétrico	Caminhabilidade	Rhinoceros3D / Grasshopper
CityMetrics	Não	Algorítmico-paramétrico	Caminhabilidade, Diversidade e Densidade	Rhinoceros3D / Grasshopper
Urbano Toolbox	Sim	Algorítmico-paramétrico	Caminhabilidade	Rhinoceros3D / Grasshopper

Quadro 1: Comparativo dos modelos abordados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de ainda não se encontrarem tão frequentemente implementadas como no campo específico da arquitetura, as aplicações computacionais especificamente elaboradas para o contexto urbanístico (mais especificamente aquelas relacionadas à lógica algorítmico-paramétrica) têm sido crescentemente desenvolvidas, uma vez que os componentes constituintes de um bairro ou de uma cidade também compartilham similaridades que podem ser definidas parametricamente. Neste panorama, é fundamental que haja clareza quanto à importância de se utilizar aplicações computacionais nas mais diversas tarefas relativas ao planejamento e ao projeto de bairros e cidades, não como substituta ou suplantadora da atividade humana no processo, mas como ferramentas que podem auxiliar no aprimoramento das possibilidades de análise e proposição em contextos urbanísticos.

Neste cenário, os autores reconhecem que há, no escopo do projeto e do

planejamento urbano, aspectos relativos à temporalidade, precisão, limites e incompletudes (entre outras, como os atores envolvidos) que tornam a natureza do projetar urbanístico significativamente diferente daquela que se refere à elaboração de um objeto arquitetônico isolado, por exemplo. Neste sentido, os processos de projeto e de planejamento urbano podem – e devem – ser beneficiados por métodos (e instrumentos) computacionais especificamente elaborados para sua potencialização.

Cabe ainda mencionar que, dos cinco modelos selecionados, apenas um é brasileiro, o que expõe uma certa lacuna de conhecimento na área da produção científica nacional. Essa escassez pode se dar pelo fato de que os modelos analisados possuem uma relação direta de troca de conhecimentos, como é o caso de *CityMaker* e *Configurbanist*, da inserção do *CityMaker* no projeto mais amplo *City Induction*, e da relação de pesquisa entre os autores envolvidos, fazendo-se necessário aprofundar os estudos nessa área, para estreitarmos nossa relação científica com esse campo.

Em síntese, este trabalho descreve e compara algumas contribuições científicas e objetiva contribuir para a discussão sobre o tema e para uma maior disseminação desta lógica, principalmente no que diz respeito à realidade brasileira e sul-americana de pesquisa e inovação.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDER, C.; ISHIKAWA, S.; SILVERSTEIN, M. **A Pattern Language: Towns, Buildings, Construction**. Nova York: Oxford University Press, 1977.
- AMORIM, A. Discutindo City Information Modeling (CIM) e conceitos correlatos. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v.10, n.2, p.87-100, 6 nov. 2015.
- BEIRÃO, J. **CityMaker / Designing Grammars for Urban Design**. 2012. 272 f. Tese (Doutorado em Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Delft University of Technology, Delft, 2012.
- BREWSTER, M.; HURTADO, D.; OLSON, S.; YEN, J. **Walkscore.com: A new methodology to explore associations between neighborhood resources, race, and health**. APHA 137th Annual Meeting, Philadelphia: Pennsylvania, 2009. Disponível em: <https://apha.confex.com/apha/137am/webprogram/Paper205082.html>. Acesso em 16 de jun. 2019.
- DOGAN, T.; SAMARANAYAKE, S.; SARAF, N. **Urbano: A New Tool to Promote Mobility-Aware Urban Design**, Active Transportation Modeling and Access Analysis for Amenities and Public Transport. Proceedings of the Symposium for Architecture and Urban Design. Delft, Netherlands, 2018. DOI: 10.22360/simaud.2018.simaud.028.
- DUARTE, J. P.; BEIRÃO, J. N.; MONTENEGRO, N.; GIL, J. City Induction: A Model for Formulating, Generating, and Evaluating Urban Designs. In: ARISONA, S.; ASCHWANDEN, G.; HALATSCH, J.; WONKA, P. (Eds.). **Digital Urban Modeling and Simulation**. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2012. p. 73-98.
- GIL, J.; BEIRÃO, J.; MONTENEGRO, N.; DUARTE, J. **Assessing computational tools for urban design: Towards a “City Information Model”**. FUTURE CITIES [28th eCAADe Conference Proceedings / ISBN 978-0-9541183-9-6] ETH Zurich (Switzerland) 15-18 September 2010, pp.361-369.
- HENRIQUES, G. **TetraScript: sistema de aberturas responsivo para controlar a luz, de acordo com fatores externos e internos**. 2013. 448 f. Tese (Doutorado em arquitetura) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa. 2013.
- HENRIQUES, G.; BUENO, E. **Geometrias complexas e desenho paramétrico**. DROPS Ano 10, fevereiro de 2010. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/drops/10.030/2109>. Acesso em: 14 de jul. 2010.
- HILLIER, B.; HANSON, J. **The social logic of space**. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.
- KILKELLY, M. **5 razões para arquitetos aprenderem programação**. Archdaily, 2015. Disponível em: <http://www.archdaily.com.br/br/764687/5-razoes-de-por-que-os-arquitetos-devem-aprender-a-programar-sofware>. Acesso em 15 de jun. de 2019.
- KOTNIK, T. Digital Architectural Design

as Exploration of Computable Functions. In: **International Journal of Architectural Computing**, v.8, n.01, 16 p., 2010.

LIMA, F. **Métricas Urbanas**: Sistema (para)métrico para análise e otimização de configurações urbanas de acordo com métricas de avaliação de desempenho. Rio de Janeiro, 2017. Tese (Doutorado em Urbanismo) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

LIMA, F. T. A.; MONTENEGRO, N.; PARRAIZO, R. C.; KÓS, J. R. Citymetrics: sistema (para)métrico para análise e otimização de configurações urbanas. **Oculum Ensaios**, v.16, n.2, p.409-427, 2019. <http://dx.doi.org/10.24220/2318-0919v16n2a4163>

MENGES, A. **Instrumental Geometry. Architectural Design. Techniques and Technologies in Morphogenetic Design**. Londres: Editorial Offices, v. 76, n. 2, 2006.

MICHAELIS. **Moderno dicionário da língua portuguesa**. São Paulo: Melhoramentos, 1998. Dicionários Michaelis, 2259 p.

MINSKY, M. **Semantic Information Processing**. Cambridge: MIT Press, 1968.

MITCHELL, W. **Computer-aided architectural design**. Nova York: Van Nostrand Reinhold, 1977.

MITCHELL, W; McCULLOUGH, M. **Digital Design Media**. Nova York: Van Nostrand Reinhold, 1991.

MONTENEGRO, N. **CityPlan**: Contributo para o desenvolvimento de uma metodologia e ferramenta computacional para apoio ao desenho urbano. 2015. 440 f. Tese (Doutorado em Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2015.

NOURIAN, P.; REZVANI, S.; SARIYILDIZ, S.; HOEVEN, F. **Configurbanist**: Urban Configuration Analysis for Walking and Cycling via Easiest Paths. In: 33rd eCAADe CONFERENCE, 2015. Viena, Áustria. Anais da 33ª Conferência eCAADe. Viena, Áustria: Universidade Técnica de Viena, 2015. 553-564.

OXMAN, R. **Theory and design in the first digital age**. *Design Studies*, 27, p. 229-265, 2006.

PICON, A. Foreword. In TERZIDIS, K. **Algorithmic Architecture**. Nova York: Routledge, 2006.

SCHERER, D. **The death of drawing**: Architecture in the age of Simulation. Nova York: Routledge, 2014.

SEVTSUK, A. **Urban Network Analysis**: Tools for Modeling Pedestrian and Bicycle Trips in Cities. Cambridge, MA: Harvard Graduate School of Design, 2018. Disponível em: https://www.dropbox.com/s/pr0g3r1j6x0m89y/UNA_user_guide_2018.pdf?dl=0. Acesso em 17 jul. 2019.

SEVTSUK, A.; KALVO, R. **Urban Network Analysis Toolbox for Rhinoceros 3D**. Singapore: City Form Lab, 2015. Disponível em: https://urbanterrainsdigitalab.files.wordpress.com/2015/11/cityformlab_una_eng.pdf. Acesso em 17 jul. 2019.

SEVTSUK, A.; MEKONNEN, M. **Urban Network Analysis Toolbox**. *International Journal of Geomatics and Spatial Analysis*, 22(2), 2012, 287-305. DOI:10.3166/RIG.22.287-305.

SILVA, R. **Urbanismo paramétrico**: parametrizando urbanidade. Recife: Editora UFPE, 2010.

SILVA, R.; AMORIM, L. **Urbanismo paramétrico**: emergência, limites e perspectivas de nova corrente de desenho urbano fundamentada em sistemas de desenho paramétrico. In VIRUS. N. 3. São Carlos: Nomads USP, 2010.

STEINØ, N.; VEIRUM, N. **A Parametric Approach to Urban Design**. In: 23rd eCAADe CONFERENCE, 2005. Lisboa, Portugal. Anais da 23ª Conferência eCAADe. Lisboa, Portugal: Universidade Técnica de Lisboa, 2005. 679-686.

STINY, G.; GIPS, J. **Shape grammars and the generative specification of painting and sculpture**. In *Information Processing 71*, 1460-1465. North-Holland Publishing Company, 1972.

TEDESCHI, A. **Algorithms-aided design**: parametric strategies using grasshopper. Brianza: Le Penseur, 2014.

TERZIDIS, K. **Algorithmic architecture**. In: TERZIDIS, K. **Expressive Form**: a conceptual approach to computational design. Nova York: Spon Press, 2003, 67-77.

TERZIDIS, K. **Algorithmic architecture**. Nova York: Routledge, 2006.

VELTEN, K. **Mathematical modeling and simulation**: Introduction for scientists and engineers. Weinheim: Wiley-VCH, 2009.

VEREBES, T. **Masterplanning**: the adaptive city. Nova York: Routledge, 2014.

WOODBURY, R. **Elements of parametric design**. Nova York: Routledge, 2010.