

**Usabilidade de plugins de design paramétrico como ferramenta de  
suporte em urbanismo e CIM**

*Usabilidad de los plugins de diseño paramétrico como herramienta de apoyo  
en urbanismo y CIM*

**Daniel Zimmermann Machado**

Mestrando, Atitus Educação, Brasil  
1108587@atitus.edu.br

**Andréa Quadrado Mussi**

Professora Doutora, Atitus Educação, Brasil  
andrea.mussi@atitus.edu.br

## RESUMO

O rápido crescimento de cidades médias e grandes tem levado a uma crescente demanda por soluções inovadoras e inteligentes de design urbano e infraestrutura. A utilização de Modelagem de Informação da Cidade (CIM) e softwares de design paramétrico tem sido uma das soluções implementadas, permitindo maior agilidade no processo e integração a bancos de dados para recriar uma estrutura urbana digital e simular cenários complexos. No entanto, essas ferramentas ainda são pouco conhecidas entre os designers urbanos. Esta pesquisa teve como objetivo reconhecer essas práticas recentes no uso de design algorítmico-paramétrico em escala urbana e na gestão de projetos CIM, por meio de uma revisão sistemática da literatura baseada em artigos científicos. Dos 240 resultados da pesquisa, 70 artigos foram selecionados para uma busca mais detalhada nos resumos, metodologias, resultados e discussões, resultando em 37 artigos. As ferramentas mais utilizadas foram para eficiência energética urbana, planejamento de tráfego e caminhabilidade, análise de morfologia urbana e tipologias e densidade de edifícios. Aplicativos e plugins de design algorítmico-paramétrico foram identificados para auxiliar principalmente em análises de fluxo, desempenho, conforto e modelagens da cidade. Além disso, foram identificados 23 bancos de dados estatísticos e geográficos responsáveis por gerar volumes e espaços de terra e massa ou realizar processamento de dados de análise de desempenho. A adoção dessas ferramentas deve ser incentivada pelos gestores públicos, uma vez que os dados mostram a importância que as ferramentas de linguagem de programação visual estão ganhando no planejamento urbano.

**PALAVRAS-CHAVE:** Urbano. Design paramétrico. CIM.

## RESUMEN

*El rápido crecimiento de las ciudades ha llevado a una creciente demanda de soluciones innovadoras para el diseño urbano y la infraestructura. El uso de la Modelización de Información de la Ciudad (CIM) y el software de diseño paramétrico ha sido soluciones implementadas, permitiendo una mayor agilidad en el proceso e integración con bases de datos para recrear una estructura urbana digital y simular escenarios complejos. Sin embargo, estas herramientas todavía son poco conocidas entre los diseñadores urbanos. Esta investigación tuvo como objetivo reconocer estas prácticas recientes en el uso de diseño algorítmico-paramétrico a escala urbana y en la gestión de proyectos CIM, mediante una revisión sistemática de la literatura basada en artículos científicos. De los 240 resultados de búsqueda, se seleccionaron 70 artículos para una búsqueda más detallada en los resúmenes, metodologías, resultados y discusiones, resultando en 37 artículos. Las herramientas más utilizadas fueron para la eficiencia energética urbana, la planificación del tráfico y la accesibilidad peatonal, el análisis de la morfología urbana, las tipologías y densidad de edificios. Se identificaron aplicaciones de diseño algorítmico-paramétrico para ayudar principalmente en análisis de flujo, desempeño, confort y modelado de ciudades. Además, se identificaron 23 bases de datos estadísticas y geográficas que generan espacios de terreno y masa o realizan el procesamiento de datos de análisis de desempeño. La adopción de estas herramientas debe ser alentada por los gerentes públicos, ya que los datos muestran la importancia que están ganando las herramientas de lenguaje de programación visual en la planificación urbana.*

**PALABRAS CLAVE:** Urbano. Diseño paramétrico. CIM.

## 1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de programação algorítmico-paramétricos vêm ganhando espaço em todos os setores de modelagem de projetos da arquitetura, engenharia e construção (AEC), e tem a oferecer aplicações também nos setores de planejamento urbano com a interdisciplinaridade de projetos da morfologia, de infraestrutura e de análise de desempenho energético. Conseqüentemente a busca por profissionais e ferramentas especializadas tem tendência de crescimento, visto que estes aplicativos possuem um potencial de aplicabilidade de funções paramétricas capazes de trabalhar com eficiência e estabilidade os grandes volumes de dados que um modelo de uma cidade ou recorte urbano exigem. A categoria de projeto urbano é frequentemente regida pelas diretrizes projetuais estabelecidas pela administração pública. Embora a administração pública possa ser vista como um potencial interessado em buscar aplicações de modelagem urbana, é importante ressaltar que as ferramentas de projeto utilizadas pelas gestões governamentais ainda não acompanham adequadamente o ritmo da expansão territorial e de infraestrutura urbana. Isso expõe uma insuficiência global de recursos humanos, tecnológicos e legislativos, que precisam ser aprimorados para lidar de forma mais eficiente com os desafios do planejamento urbano contemporâneo (ALMEIDA; ANDRADE, 2018). Ma et al. (2019) apresentaram um estudo que inclui a identificação de recorrentes barreiras no gerenciamento e implementação de um projeto urbano, onde é revelado que ainda há de se enfrentar políticas públicas que priorizam condições orçamentárias que impedem inovações futuras e resultam em comunicação ineficiente entre as aplicações e seus projetos complementares.

Wang et al. (2020) sugere que as cidades devem ser tratadas como dispositivos, e que podem ser administradas a partir de sistemas como o CIM (*City Information Modeling*), que permitem projetar e melhorar a cidade através de processos em modelos integrados e interdisciplinares. O conceito dos modelos CIM, conforme Stojanovski (2013), remete a uma analogia de associação entre um modelo BIM (*Building Information Modeling*) e um modelo GIS (*Geographic Information System*), com um propósito de unificar e cruzar dados estatísticos e construtivos da cidade em uma base de dados colaborativa. Nesse processo estão envolvidas etapas como a concentração de dados urbanos em bancos de dados estruturados, com uma posterior investigação das possibilidades de uso das ferramentas e plugins, podendo muitas vezes ser necessária uma associação desses dados com sistemas paramétricos para análises mais flexíveis e capazes de criar novas perspectivas de soluções através de simulações no espaço urbano.

Tal integração deve permitir o processamento de dados extraídos, por exemplo, de relações estatísticas, como congestionamentos de trânsito ou desastres naturais, ou diretamente da experiência do cidadão, tais como fluxo, percursos e conforto ambiental. Esses conjuntos de dados podem ser trabalhados para gerar simulações de desempenho de determinadas regiões da cidade ou de agrupamentos de edificações, situação tal que seria inviável de ser executada por um projetista em processos manuais. A partir disso passa a ser necessária a realização de análises paramétricas que são capazes de gerar projeções de um número de possibilidades de soluções que podem auxiliar nas tomadas de decisão para intervenções e planejamento futuros (THOMPSON et al., 2016; DALL’O, ZICHI, TORRI, 2020).

Lima (2017) explica que o uso de ferramentas de design paramétrico é algo ainda relativamente novo no processo de projeto e planejamento urbano, sendo pouco adotado mesmo por escritórios especializados na área de planejamento urbano. Com base na visão de Mitchell e McCullough (1991), a introdução de métodos computacionais vem em tendência de substituição aos métodos convencionais de projeto, principalmente devido a sua capacidade superior de processamento de informações e parâmetros dos elementos construídos, e isso permite visualizar, interagir e avaliar de maneira mais aberta as possíveis soluções para um problema. Kolarevic (2000) entende que o processo de projeto do urbanismo paramétrico está mais relacionado à especificação de parâmetros de um objeto do que à sua definição geométrica em si, em contraste a um software convencional CAD baseado em desenho "*polygon-to-polygon*" que não costuma deixar rastros do processo de desenvolvimento do modelo, uma vez que o foco é somente voltado ao aspecto visual (OXMAN, 2015).

Mesmo que os setores de projetos de arquitetura e urbanismo venham ganhando inovação em ferramentas de projeto desde a década de 1960, essas novas tecnologias têm sido majoritariamente voltadas aos projetistas de obras da construção civil, indo parar nas mãos de arquitetos e engenheiros. Portanto quando comparado ao setor de projetos construtivos, o avanço tecnológico no campo do urbanismo é menos expressivo para projetistas urbanistas. Mesmo assim, novas técnicas e tecnologias de desenho paramétrico vêm surgindo e gradativamente estão sendo adotadas pelo segmento de desenho urbano de larga escala, sob a perspectiva de que os sistemas paramétricos possibilitam gerar, rapidamente, diferentes alternativas de desenho a partir da simples alteração de valores de um parâmetro, permitindo a geração de diferentes cenários arquitetônicos e urbanos para serem posteriormente avaliados. Nesse sentido, é possível trazer à essa categoria de projetos o uso de ferramentas de design paramétrico, que tem mostrado potencial baseados em abordagens capazes de gerar projetos mais complexos e levantamentos de dados mais organizados e compreensíveis. Essa abordagem permite a criação de soluções personalizadas e adaptadas às necessidades específicas de cada cidade, levando em conta fatores como a as condições climáticas, conforto acústico e limitações orçamentárias, além de permitir definir e analisar atributos como densidade, uso, forma, espaço e tipologia, que em geral pertencem à categoria de planejamento urbano (STEINØ; VEIRUM, 2005).

Essa técnica tem sido aplicada com sucesso em projetos urbanísticos inovadores e contemporâneos, principalmente para gerenciamento de dados envolvendo praças, parques, complexos esportivos e infraestruturas urbanas, permitindo a criação de estruturas otimizadas e sustentáveis. Silva e Amorim (2010) destacam que há alguns escritórios atuantes como referência nesse modelo, a exemplo do Zaha Hadid *Architects*, que com a frente do arquiteto Patrick Schumacher, tem desenvolvido projetos urbanos com a exploração de aplicações paramétricas para identificar formas urbanas funcionais e inovadoras. Como resultados, perceberam maior eficácia na identificação da linguagem das tipologias das construções, dos espaços de uso coletivo, dos aspectos geométricos e de conforto ambiental através de sistemas de desenho algorítmicos com base em processos que vêm sendo chamados de "urbanismo paramétrico".

O termo "lógica algorítmico-paramétrica" é tratado por Lima (2017) como uma abordagem metodológica que leva em conta uma associação entre a lógica algorítmica e a

modelagem paramétrica. Essa abordagem sugere o aprofundamento em linguagens de programação para provisão de maior efetividade aos recursos das ferramentas paramétricas em trabalhos criativos em contextos urbanísticos por meio de dois fatores. O primeiro é a decomposição da Lógica algorítmica-paramétrica e dos dados urbanísticos em uma revisão teórica e de modelos computacionais para projetos urbanos. Nas etapas seguintes, devem ser definidas instruções textuais para gerar uma solução a um problema proposto, com posterior conversão dessas instruções na linguagem paramétrica necessária para uma especificação completa de um modelo que se pretende elaborar, possibilitando que diferentes partes deste modelo se relacionem e modifiquem juntamente, de maneira coordenada. Este tipo de modelagem, traz uma mudança nos conceitos de modelagem tradicionais, visto que as funções e suas variáveis podem ser posteriormente compreendidas em sua integralidade por qualquer profissional que tenha domínio do sistema de programação visual do determinado software, ficando assim uma “herança” de informação do processo projetual deixada pelo criador do projeto, o que é benéfico quando o trabalho em equipe (LIMA, COSTA, ROSA, 2020).

A partir desse cenário de constante surgimento de novas aplicações, propõe-se realizar uma pesquisa objetivando a identificação das recentes práticas do uso do design paramétrico em análises complementares ao planejamento urbano e aos projetos CIM por arquitetos, engenheiros e urbanistas envolvidos com a gestão de planejamento e análises da cidade e sua infraestrutura.

## 2 METODOLOGIA

Para o processo metodológico, foi feita uma revisão sistemática da bibliografia a partir de artigos científicos para identificação do uso predominante dos aplicativos de design paramétrico por arquitetos e urbanistas. Para tal, foram utilizadas três bases de dados reconhecidas internacionalmente, sendo estas a “CuminCAD”, que reúne importantes periódicos voltados à tecnologia de projetos de arquitetura e urbanismo, a “Science Direct” e a “MDPI”, que concentram periódicos de tecnologia e inovação. Para obtenção de dados de tecnologias atualizados, a faixa temporal da pesquisa foi definida como a partir de 2019 a 2023, e os critérios para seleção dos artigos foram a escolha de projetos e análises na escala da cidade ou de recortes urbanos, e que fazem uso de aplicativos e plugins de modelagem algorítmico-paramétricos com idiomas em inglês, português e espanhol. Foram pesquisadas as *strings* “parametric design”, “City Information Modeling” e “Urban”, conforme descrito na tabela 1.

Tabela 1 - Artigos analisados

Base de dados	Palavras-chave	Resultados obtidos	Artigos usados
ScienceDirect Journals	<i>parametric AND Urban or CIM</i>	58	8
MDPI	<i>Parametric AND City Information Modeling OR Urban</i>	88	10
CuminCAD	<i>"Parametric design" "City Information Modeling" "Urban plugin" {summary} =~ m/urban/i</i>	94	19
<b>TOTAL</b>		<b>240</b>	<b>37</b>

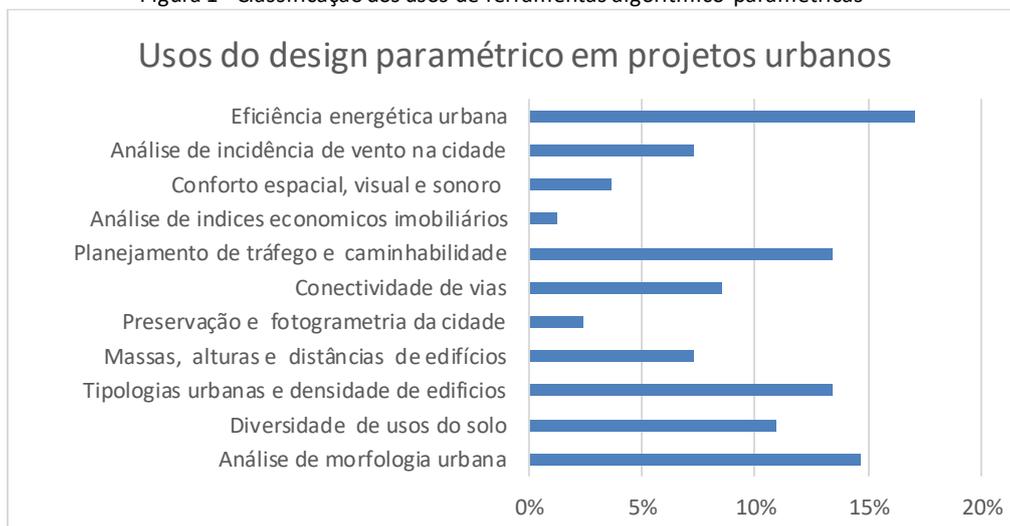
Fonte: Autor (2023)

Dos 240 resultados da pesquisa, 70 artigos atenderam aos critérios de seleção com o tema de projeto, intervenção e análise em escala urbana, e foram selecionados para uma busca mais detalhada. Com o objetivo de identificar se estes artigos faziam uso de ferramentas de design paramétrico, foram buscadas as palavras chave “*parametric*” “*urban*” e “*tool*” nos resumos, metodologias, resultados e discussões, o que resultou em 37 artigos atendendo aos critérios da pesquisa. Em cada artigo foram registrados o tema de pesquisa, ferramenta de modelagem e visualização, plugin de design paramétrico, plugins complementares, os bancos de dados utilizados para gerar o modelo ou análise, e então os temas foram classificados em 11 categorias, conforme a similaridade dos usos e dos mapas gráficos gerados nos trabalhos. Os bancos de dados foram registrados conforme seus usos específicos, e então foram classificados conforme a frequência em que foram aplicados nos trabalhos, sendo considerada “Baixa” frequência quando tem seu uso aplicado entre 0% e 2,9% dos trabalhos, “Média” quando é aplicado entre 3,0% e 8,9% dos trabalhos, e “Alta” quando tem seu uso aplicado entre 9,0% e 14% dos trabalhos. Não houveram bancos de dados usados em mais de 15% dos trabalhos.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A revisão sistemática permitiu identificar a intensidade de uso de cada categoria de projeto/análise urbana envolvendo design paramétrico como ferramenta complementar ao projeto urbano ou sistemas CIM, onde obteve-se uma classificação conforme o número de artigos científicos que fazem uso de uma ou mais categorias (Figura 1).

Figura 1 - Classificação dos usos de ferramentas algorítmico-paramétricas



Fonte: Autor (2023)

A categoria na qual foi registrado maior número de trabalhos foi a de “Eficiência energética urbana”, presente em 17,1% dos trabalhos. Nesta categoria de projetos os autores foram capazes de gerar análises climáticas nos espaços públicos, com a obtenção de temperaturas médias nas vias públicas, parques e no entorno de conjuntos de edifícios em altura, o que ainda permite identificar alguns padrões de tipologias urbanas que geram

determinadas circunstâncias climáticas. Foram ainda identificados trabalhos envolvendo a análise da demanda de consumo energética de recortes urbanos a partir de arquétipos de dados e de dados “*Digimap*” dos edifícios existentes, que já predefinem valores de consumo conforme registros históricos. Ainda há, entre as possibilidades de usos, a identificação da influência da reflexão solar da pavimentação urbana na temperatura média local, a identificação dos efeitos climáticos da vegetação urbana, estudos para projetos de estruturação de rede de placas fotovoltaicas em um bairro, e análises de sustentabilidade em projetos CIM. Os autores fizeram uso principalmente dos plugin “*Ladybug*” (Ladybug Tools, 2023), “*Honeybee*” (Ladybug Tools, 2023) “*Dragonfly*” (Ladybug Tools, 2023) e “*Eddy3D*” (Dogan; Kastner, 2018) para Grasshopper com a finalidade de simular condições térmicas e gerar gráficos de demanda energética e de conforto térmico em espaços públicos. Outro plugin para o *Grasshopper* é o “*UMI*” (Reinhart et al., 2013) que permite a simulação em escala de vizinhança da demanda de energia e luz do dia. Há também o uso de aplicações como o “*Canyon Air Temperature (CAT)*” com funções algorítmico-paramétricas para análise de temperatura nas vias urbanas, e do “*TRNSYS*” (TRNSYS, 2023), software de engenharia com funções algorítmico-paramétricas para análises energéticas e otimização de projetos.

O próximo item de pesquisa, o de “Análise de morfologia urbana”, esteve presente em 15,1% dos projetos analisados, englobando o projeto e análise das tipologias e geometrias dos quarteirões de bairros ou cidades inteiras, com uma complexidade de informações algorítmico-paramétricas para gerar modelos a partir de dados GIS e mapas normalmente disponibilizados pela gestão municipal ou por dados estatísticos governamentais. Os trabalhos envolvem planejamento e simulação de padrões de formas urbanas, sintaxe da forma, análise morfológica dos assentamentos urbanos, mapeamento e classificação morfológica das zonas da cidade, e conceitos de concepção de projeto paramétrico. As principais ferramentas usadas por projetistas incluem o “*Dragonfly*” (Ladybug Tools, 2023) para *Grasshopper*, que permite gerar geometrias e malhas urbanas a partir de bancos de dados, ou simular através de algoritmos novas possibilidades, e o “*Citymetrics*” (Lima, 2017) e “*Citymaker*”, que geram geometrias, simulações e mapas gráficos relacionadas à morfologia urbana, topografia, uso do solo, edificações e vias urbanas. Há ainda opções como o “*CityEngine*” (Esri R&D, 2008), utilizado no software *ArcGis*, para modelagem procedural da cidade a partir de bases de dados GIS, e o plugin “*Dynamo*”, para o software *Revit*, com aplicação mais voltada para desenvolvimento de projetos e desenho de malhas urbanas em CIM.

A categoria de “Planejamento de tráfego e caminhabilidade” teve uso identificado em 13,1% dos trabalhos, envolvendo a análise de fluxo de veículos a partir de modelos algorítmico-paramétricos com base em dados estatísticos governamentais e em bases de dados colaborativas como a “*Open Street Maps*”, para previsão de futuras demandas e o planejamento de alargamentos viários. É possível ainda gerar simulações de ciclovias, redes de caminhabilidade em passeios públicos e pistas de caminhada em parques urbanos, para uma busca de um maior número de alternativas de soluções de percurso conforme a demanda de fluxo em cada trecho, para auxiliar na tomada de decisão do caminho de largura de vias mais adequados. Outra funcionalidade envolve gerar mapas de hierarquias de intensidade de fluxos para prever pontos críticos de aglomeração de pessoas e de intenso tráfego de veículos em centralidades urbanas, o que pode vir a auxiliar na determinação das vias mais relevantes e

estratégicas para receber movimentação intensa e consequentemente receber as principais áreas comerciais em um planejamento de diretrizes urbanísticas pela gestão de cidades. Alguns plugins, que operam dentro do *Rhinoceros/Grasshopper*, são capazes de gerar tais funções, sendo um deles o “*Citymetrics*” (Lima, 2017), que é capaz de gerar soluções geométricas para encontrar alternativas de percursos mais adequadas para os pedestres e veículos, havendo possibilidade de se fazer uso de dados obtidos por sensores, câmeras de trânsito e ainda de redes sociais. O “*Configurbanist*” (Nourian, 2015) permite a identificação de pontos ideais na cidade para implementação de redes de ciclovia e mapas de zonas de usos, o “*Urbano Toolbox*” (Dogan et al., 2018) permite realizar simulações de redes de transportes através de indicadores urbanos incluindo simulação de tempo de percurso entre pontos da cidade, o “*Shortest Walk*”, (Piacentino, 2011) que possibilita calcular a distância mais otimizada entre dois pontos da cidade, e o “*Simic*”, que permite gerar simulações de tráfego urbano, sistemas de transporte coletivo e sistemas de compartilhamento de veículos e bicicletas. Há ainda opções de softwares como o “*MATSim*” (MATSim Community, 2023), que permite criar modelos de simulação de tráfego em tempo real para ajudar no planejamento de transporte, e o plugin “*Urban Network Analysis -UNA*” (Sevtsuk, 2018), que opera no *Rhinoceros* através de dados geoespaciais de bancos de dados ou por levantamentos de informações realizados pelo projetista no local, e permite analisar a conectividade e acessibilidade da rede urbana, gerando dados e estimativas de fluxos de pessoas e veículos, sendo uma ferramenta capaz de auxiliar em expansões de infraestrutura e implementação de acessibilidade urbana. Para a Soltani et al. (2019) a análise de acessibilidade no UNA mostrou um padrão diferente quando usados diferentes pontos de atração, e também teve o diferencial de permitir focar no layout do edifício, enquanto isso não era possível em outros softwares. Um software aliado ao desenvolvimento de soluções de fluxo urbano é o *CityEngine* (Esri R&D, 2008), que além de permitir obter soluções de projeto urbano, é capaz de gerar simulações de tráfego de pedestres e veículos em diferentes cenários, levando em conta largura de vias, cruzamentos e semáforos gerados por bancos de dados.

A modalidade seguinte de trabalhos envolve as “Tipologias urbanas e densidade de edifícios”, presente em 13,1% dos trabalhos. Muitos dos projetos consistem na análise dos padrões de tipologias de edifícios existentes, normalmente gerados em bases de dados colaborativas, como “*Open Street Maps*”, bases de dados GIS ou banco de dados municipais onde são analisados os impactos da alta densidade nas centralidades urbanas, normalmente relacionados ao conforto visual e térmico. Outra funcionalidade para a gestão urbana envolve simulações de alturas e volumes de edifícios em diferentes parâmetros, através de categorização por mapas gráficos com legendas em cores, para simular o cenário resultante das aplicações dos índices urbanísticos da cidade e planejar os índices construtivos ideais para futuro uso do solo. A categoria seguinte trata de “Diversidade de uso do solo”, presente em 11,1% dos projetos analisados, envolvendo mapeamentos e categorização paramétrica das edificações existentes a partir de bancos de dados do “*Open Street Maps*” ou de bases de dados municipais para gerar modelos 3D em cores representativas com as devidas legendas identificando e classificando as edificações em usos comerciais, residenciais, educacionais, de saúde, parques urbanos, e as demais funções sociais do espaço e das edificações. Na categoria “Massas, alturas e distâncias de edifícios”, encontradas em 7,1% dos projetos, em geral são trabalhadas simulações para geração parametrizada de edifícios com volumes e alturas aleatórias, para

permitir estudos de análises de cidades fictícias ou mesmo para uso em renderizações 3D. Ainda podem ser feitos estudos para calcular a relação entre massa e distância entre edifícios existentes, para posteriores análises de conforto. Estes trabalhos de análises de tipologias, massas e de usos do solo podem ser realizados através de plugins de modelagem algorítmico-paramétrica para o *Rhinoceros/Grasshopper*, tais como o “*Citymaker*” (Beirão, 2012), o “*Citymetrics*” (Lima, 2017), o “*Configurbanist*” (Nourian, 2015), o “*Elk*” (Logan, 2012), o “*Urban Network Analysis*” (Sevtsuk, 2018), e ainda através do *CityEngine* (Esri R&D, 2008), que opera pelo *ArcGis* para modelagem urbana, e o *software OGOS+* (Chatzi; Wesseler, 2020), para estudos de massas de conjuntos de edifícios.

A categoria de análise de “Conectividade de vias”, encontrada em 9,1% dos estudos urbanos, foca em analisar percursos e classificar a relevância das vias urbanas com relação aos centros urbanos, tendo como resultado mapas com a demarcação das ruas representadas através de “nós” de conectividade e de fluxogramas, com as possibilidades de se chegar em um mesmo destino por diversos possíveis caminhos conforme o grau de dificuldade, e as consequências geradas nos espaços onde há maior fluxo. Estudos de conectividade normalmente apresentam o grau de dificuldade de percurso, não somente com base na distância, mas também ao número de passos topológicos e desvios necessários para se chegar ao destino, o que permite classificar determinados bairros como de fácil ou difícil acesso. Um exemplo é o aplicativo “*DecodingSpaces Toolbox*”, para o *Grasshopper*, que permite criar os pontos de interesse a partir de “nós”, e com isso são geradas possíveis conectividades entre bairros e centralidades, juntamente de mapas de fluxo.

Há também uma categoria que concentra “Análises de incidência de ventos na cidade”, que foi identificada em 7,1% dos trabalhos, envolvendo a análise dos ventos nos espaços urbanos e sua relação com os agrupamentos de edifícios em altura, visando propiciar conforto às pessoas, principalmente com os plugins para *Grasshopper* “*InFraRed*” (Kabošová, 2021) e o “*Swift*” (ODS Engineering, 2017), e o aplicativo “*TRNSYS*” (TRNSYS, 2023), que também envolve interligações entre elementos com base em “*nodes*”. Outra categoria identificada nos trabalhos é a de “Conforto espacial, visual e sonoro”, em 4,1% das pesquisas, envolvendo a qualidade visual dos espaços, como campos de visibilidade dos céus e das áreas verdes, e o ruído causado por veículos e por drones aéreos nos espaços públicos. Há ainda a modalidade de “Preservação e fotogrametria da cidade” com análises da preservação histórica dos espaços urbanos envolvendo levantamentos fotogramétricos da cidade e de edifícios para modelagem dos espaços públicos com base em tecnologias de nuvens de pontos com tecnologia “*Ildar*”, que estabelecem fidelidade de geometrias e de texturas. A área que gerou menor número de resultados foi a de “Análise de índices econômicos imobiliários”, que envolve a associação dos terrenos à índices econômicos do mercado imobiliário, sendo uma área com muitas possibilidades de análises e que carece de mais estudos.

Entre as ferramentas identificadas e listadas, somam-se aplicações e plugins de design algorítmico-paramétrico capazes de auxiliar em diferentes tipos de projetos urbanos. Destas, as ferramentas mais recentes encontradas incluem o *ArcGis Urban* (Esri R&D, 2019) para planejamento de cenários e avaliação de impacto; o *OSMKIT* (Cheng; Hou, 2019) para modelagem urbana; o *UAM Flight Path Generator* (Ortner; Huang, 2020) para mobilidade aérea urbana; o *UAM Noise Generator* (Ortner; Huang, 2020) para análise de conforto acústico em

espaços urbanos; o *InFraRed* (Kabošová, 2021) para simulação de vento em escala urbana e o OGOS+ (2020) para estudos de massa de edifícios.

Como pode ser observado a seguir, no quadro 1, as aplicações analisadas são majoritariamente desenvolvidas para as plataformas de modelagem e design paramétrico *Rhinceros/Grasshopper*, que por suas capacidades de processamento de geometrias com grandes quantidades de dados, e por disponibilizarem ferramentas completas para funções de análises de dados, podem ser vistas entre as mais indicadas para este tipo de estudo e análise projeto. Estas ferramentas também podem ser subdivididas em três grandes campos comuns, que em linhas gerais envolvem modelagens, análises de fluxos e análises de conforto ao usuário.

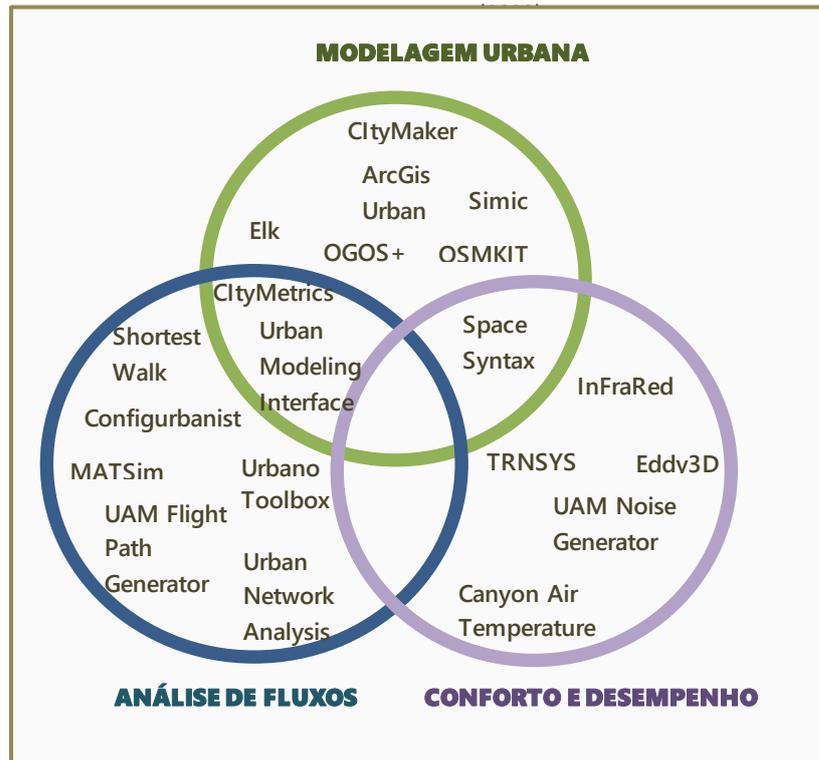
Quadro 1- Ferramentas algorítmico-paramétricas para projeto e análise urbana

Plugin/ aplicativo	Ano	Operação	Aplicações	Software compatível
ArcGis Urban	2019	Aplicativo	Planejamento de cenário, avaliação de impacto	
ArcGis CityEngine	2008	Aplicativo	Modelagem urbana	
Canyon Air Temperature (CAT)	2006	Aplicativo	Temperatura nas vias urbanas	
CityMaker	2012	Plugin	Modelagem urbana, gramática da forma	Rhinceros/ Grasshopper
CityMetrics	2017	Plugin	Caminhabilidade, diversidade e densidade	Rhinceros/ Grasshopper
Configurbanist	2015	Plugin	Caminhabilidade, ciclismo	Rhinceros/ Grasshopper
DecodingSpaces Toolbox	2017	Plugin	Rede de vias, loteamentos e edifícios	Rhinceros/ Grasshopper
Eddy3D	2018	Plugin	Simulação climática, circulação de ar	Rhinceros/ Grasshopper
Elk	2012	Plugin	Mapas e topografias	Rhinceros/ Grasshopper
Gismo	2012	Plugin	Análise espacial, solar, isovista, morfologia	Rhinceros/ Grasshopper
InFraRed	2021	Plugin	Simulação de ventos	Rhinceros/ Grasshopper
MATSim.	2013	Plugin	Simulação de tráfego	Rhinceros/ Grasshopper
OGOS+	2020	Plugin	Estudo de massas de edifícios	Rhinceros/ Grasshopper
OSMKIT	2019	Plugin	Modelagem urbana	Rhinceros/ Grasshopper
Shortest Walk	2011	Plugin	Caminhabilidade	Rhinceros/ Grasshopper
Simic	2018	Plugin	Modelagem da informação da cidade	Qgis/ Rhinceros/ Grasshopper
Swift	2017	Plugin	Simulação de ventos	Rhinceros/ Grasshopper
TRNSYS	1976	Aplicativo	Simulação de ventos	
UAM Flight Path Generator	2020	Plugin	Mobilidade urbana aérea	Rhinceros/ Grasshopper
UAM Noise Generator	2020	Plugin	Conforto sonoro	Rhinceros/ Grasshopper
Urban Modeling Interface (UMI)	2013	Plugin	Modelagem urbana, caminhabilidade, Análise ambiental	Rhinceros/ Grasshopper

Urban Network Analysis (UNA)	2012	Plugin	Conectividade, acessibilidade e fluxos de veículos e pessoas	ArcGIS/ Rhinoceros
Urbano Toolbox	2018	Plugin	Caminhabilidade, acessibilidade, redes viárias	Rhinoceros/ Grasshopper

Fonte: Autor (2023)

Figura 2 - Usos das ferramentas de design paramétrico



Um importante pilar do design paramétrico urbano que tem demonstrado destaque é a projeção e análise dos fluxos de veículos automotores, da operacionalidade das ciclovias e da caminhabilidade nas vias públicas, que costumam ser levantadas a partir do acesso a bases de dados geradas por pesquisas públicas que avaliam a experiência do usuário e fazem registros oficiais de fluxos de veículos. Essas informações permitem a identificação das reais necessidades de implementação de novas vias, ciclofaixas ou da previsão de um alargamento viário após simulações que indiquem tendências de aumento de fluxo em determinadas regiões da cidade. É possível ainda destacar como ponto forte do design paramétrico a execução de análises de eficiência energética, que conforme os dados de pesquisa, podem abranger incidência solar, demanda de energia das edificações, aproveitamento de energias térmicas e temperaturas médias em determinadas regiões da cidade, havendo ainda profissionais que avaliam a influência dos ventos nas edificações tendo como resultados relatórios detalhados do impacto destas simulações. Para criar esses cenários virtuais, diferentes tipos de bancos de dados podem ser utilizados, conforme o tipo de análise ou simulação a ser realizada (Quadro 2).

Quadro 2 - Principais bases de dados usadas em projetos urbanos

Tipos de dados	Funcionalidade	Frequência de uso
CCI-Reanalyzer	Dados com informações sobre o clima da Terra	Baixa
CGA scripting language	Linguagem de programação para criar modelos de edifícios em 3D	Baixa
CityGML	Dados em XML para modelagem 3D de geometria/topologia de cidades	Baixa
Dados aerofotogramétricos	Dados coletados por meio de fotografias	Média
Dados CFD	Dinâmica dos Fluidos Computacional	Média
Dados climáticos	Registros coletados sobre as condições meteorológicas	Média
Dados de arquétipos de edifícios	Banco de dados criado com base em códigos de energia locais	Baixa
Dados MRT	Dados de sistemas de transporte de massa	Baixa
Dados oficiais governamentais	Bases de dados fornecidos por instituições governamentais	Média
Dados rasterizados	Dados espaciais para representar informações de superfícies contínuas	Baixa
Dados TMY	Conjunto de dados meteorológicos resumidos	Baixa
Digimap	Serviço de mapas digitais e dados geoespaciais	Baixa
<i>EnergyPlus weather</i>	Conjunto de dados meteorológicos utilizados pelo EnergyPlus	Baixa
ENERGYui	Gera etiquetas de eficiência energética de edifícios no "EnergyPlus"	Baixa
GIS databases	Bases de dados geográficos	Alta
Informação pública de veículos	Dados estatísticos coletados de transporte e veículos	Baixa
Mapas de satélites	Dados de mapeamentos a partir de satélites	Baixa
MathNet.Numerics	Biblioteca numérica que fornece funções matemáticas	Baixa
Nuvem de pontos por tec. LiDAR	Levantamento de dados tridimensionais com tecnologia a laser	Baixa
<i>Open Street maps</i>	Plataforma de dados geoespaciais	Alta
<i>Open Topography</i>	Plataforma de dados topográficos	Baixa
Pesquisas locais	Levantamento de dados pelo autor do projeto	Média
PostgreSQL	Sistema gerenciador de banco de dados relacional (RDBMS)	Baixa

Fonte: Autor (2023)

Esses bancos de dados são utilizados por diversos plugins, como *Grasshopper* (McNeel, 200), *ghPython*, *Elk* (Logan, 2012) e *Lunchbox*, para codificação e coleta de dados. Eles são utilizados para criar modelos e simulações de energia, luz natural, vento, fluxo de drones, entre outros, que podem gerar simulações de cenários alternativos a partir de dados estatísticos para avaliar as mudanças nas intervenções urbanas e auxiliar no planejamento urbano sustentável.

Lima, Costa e Rosa (2020) ressaltam que tais aplicações não devem ser vistas como substitutas da atividade humana no processo de desenvolvimento e análise de projeto, mas sim como ferramentas disponíveis que podem ser utilizadas para aprimorar as habilidades de análise e planejamento em contextos urbanísticos, e contribuir para a compreensão e solução dos desafios urbanos contemporâneos, tais como a mobilidade urbana e o planejamento do uso do solo.

## CONCLUSÃO

Através da análise, é possível compreender que a procura por tecnologias digitais aplicadas em projetos urbanos está ganhando base e estabelecimento, especialmente no que diz respeito a ferramentas algorítmicas-paramétricas em aplicações nas atividades ligadas ao planejamento e à concepção de bairros e áreas públicas. As análises de desempenho energético, de fluxo urbano, e ainda os sistemas de modelagem da estrutura urbana nas grandes áreas da cidade fornecem resultados precisos, com uma flexibilidade de análise através de bancos de dados externos que teriam sua execução limitada se executada apenas através do método CIM, o que mostra a relevância de adoção do design paramétrico como sistema complementar de projetos urbanos. Apesar das vantagens, a gestão do modelo pode ter uma problemática de gestão por conta da escassez de profissionais com domínio de ferramentas de design paramétrico, além de exigir computadores de performance superior, caso contrário podem demandar de maior tempo para processamento de análises conforme a amplitude do projeto ou a extensão do recorte urbano estudado.

As soluções realizadas por simulações algorítmico-paramétricas podem gerar grande número de possibilidades, e, portanto, pode nem sempre haver uma solução que seja a ideal, mas sim um conjunto de soluções que se adequem às condições específicas de cada problema morfológico. Considerando a importância dessas ferramentas para a gestão urbana, sua adoção deve ser incentivada e discutida pelos gestores públicos e pelos urbanistas, uma vez que os dados mostram a importância que as ferramentas de linguagem de programação visual estão ganhando na elaboração de projetos, intervenções e requalificações urbanas. A partir disso, entende-se que é possível que as aplicações algorítmico-paramétricas possam vir a ganhar mais espaço e trazer uma perspectiva de planejamento mais efetiva, com a capacidade de gerar simulações e alternativas mesmo antes que o projeto seja implementado.

## AGRADECIMENTOS

Este estudo foi financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-Brasil (CAPES) - Código de financiamento 001, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Fundação de Amparo à pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS).

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. A. S. S.; ANDRADE, M. L. V. X. Considerações sobre o conceito de City Information Modeling. In Situ São Paulo 2018, 4, 21–38. Disponível em: [https://revistaseletronicas.fiamfaam.br/index.php/situs/article/view/633\\_](https://revistaseletronicas.fiamfaam.br/index.php/situs/article/view/633_). Acesso em 25 de abr. de 2023.

BEIRÃO, J. CityMaker / Designing Grammars for Urban Design. 2012. 272 f. Tese (Doutorado em Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, **Delft University of Technology**, Delft, 2012. DOI: <https://doi.org/10.7480/abe.2012.5>

CHATZI, A. M.; WESSELER, L. M. OGOS+ - A Tool to Visualize Densification potential. In: Holzer, Dominik; Nakapan, Walaiporn; Globa, Anastasia; Koh, Immanuel (eds.), RE: Anthropocene, Design in the Age of Humans - Proceedings of the **25th CAADRIA Conference** - Volume 1, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, 5-6 August 2020, pp.

773-782. Disponível em: [http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/caadria2020\\_012](http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/caadria2020_012). Acesso em 20 de abr. de 2023.

CHENG, C.; HOU, J. A highly integrated Horizontal coordinate-based tool for architecture, p. 305-312 . In: PROCEEDINGS OF 37 ECAADE AND XXIII SIGRADI JOINT CONFERENCE, "Architecture in the Age of the 4Th Industrial Revolution", Porto 2019, SOUSA, J. P.; HENRIQUES, G. C.; XAVIER, J. P. (eds.). São Paulo: **Blucher**, 2019. ISSN 2318-6968, DOI: 10.5151/proceedings-ecaadesigradi2019\_350.

DALL'O, G.; ZICHI, A.; TORRI, M. Green BIM and CIM: sustainable planning using building information modelling, in: G. Dall'O' (Ed.), **Green Plan**. Cities Communities, Research F, Springer International Publishing, 2020, pp. 383-409, DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-41072-8\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-030-41072-8_17)

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: <https://doi.org/10.22360/simaud.2018.simaud.028>.

DOGAN, T.; KASTNER, P. Streamlined CFD Simulation Framework to Generate Wind-Pressure Coefficients on Building Facades for Airflow Network Simulations, 2018. Proceedings of **IBPC 2018**. DOI: 10.14305/ibpc.2018.ms-5.05

ESRI R&D. **Environmental Systems Research Institute**. City Engine, 2008. Disponível <https://www.esri.com/pt-br/arcgis/products/arcgis-cityengine>. Acesso em 24 de abr. de 2023.

ESRI R&D. **Environmental Systems Research Institute**. ArcGIS Urban, 2019. Disponível em: <https://urban.arcgis.com/>. Acesso em 24 de abr. de 2023.

KABOŠOVÁ, L., CHRONIS, A., GALANOS, T., KATUNSKÝ, D. Leveraging urban configurations for achieving wind comfort in cities. **SIGraDi**, 2021. DOI: 10.5151/sigradi2021-70

KOLAREVIC, B. Architecture in the digital age: design and manufacturing. London: **Taylor & Francis**, 2005.

LADYBUG TOOLS. **Ladybug Tools**, 2023. Disponível em: <https://www.ladybug.tools/>. Acesso em 24 de abr. de 2023

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., COSTA, F. R.; ROSA, A. Lógica algorítmica-paramétrica e urbanismo: uma revisão teórica e de modelos computacionais para projetos urbanos. **Gestão & Tecnologia De Projetos**, 2020, 15(2), 84-97. DOI: <https://doi.org/10.11606/gtp.v15i2.162710>

LOGAN. T. **Plugin Elk**. Disponível em <https://www.food4rhino.com/en/app/elk>. Acesso em 24 de abr. de 2023.

MA, Y.; WRIGHT, J.; GOPAL, S.; PHILLIPS, N. Seeing the invisible: from imagined to virtual urban landscapes, **Cities** 98 (2020), 102559. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.102559>

MATSIM. **MATSim Community**, 2023. Disponível em: <https://matsim.org/about-us>. Acesso em 25 de abr. de 2023.

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

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. DOI: <https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.2015.1.553>

ODS ENGINEERING. ODS **Swift** Modelling Software. ODS-Engineering, Australia, 2017. Disponível em <https://www.food4rhino.com/en/app/swift>. Acesso em 25 de abr. de 2023.

ORTNER, P. F.; HUANG, J. Modeling UAM scenarios for urban design. RE: Anthropocene, Proceedings of the 25th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (**CAADRIA**) 2020, Volume 2, 71-80. © 2020 and published by the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA), Hong Kong. Disponível em: [http://papers.cumincad.org/data/works/att/caadria2020\\_346.pdf](http://papers.cumincad.org/data/works/att/caadria2020_346.pdf). Acesso em 25 de abr. de 2023.

OXMAN, R.; GU, N.; Theories and models of parametric design thinking. Generative Design – Concepts – Volume 2, p 480, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/279199673>. 2020. Acesso em 20 de fev. de 2023.

PIACENTINO, G. **Shortest Walk** plugin, 2011. Disponível em: <https://www.food4rhino.com/en/app/shortest-walk-gh>. Acesso em 25 de abr. de 2023.

REINHART, C., DOGAN, T., JAKUBIEC, J. A., RAKHA, T., SANG, A. Umi-an urban simulation environment for building energy use, daylighting and walkability. In **13th Conference of International Building Performance Simulation Association**, Chambery, France(Vol. 1, pp. 476-483), 2013. DOI: 10.26868/25222708.2013.1404

SEVTSUK, A. Urban Network Analysis: Tools for Modeling Pedestrian and Bicycle Trips in Cities, Pp. 136. Cambridge, MA: **Harvard Graduate School of Design**, 2018. Disponível em: [https://www.dropbox.com/s/pr0g3r1j6x0m89y/UNA\\_user\\_guide\\_2018.pdf?dl=0](https://www.dropbox.com/s/pr0g3r1j6x0m89y/UNA_user_guide_2018.pdf?dl=0). Acesso em 25 de abr. de 2023.

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. In: **V!RUS**. N. 3. São Carlos: Nomads.usp, 2010. Disponível em: <http://www.nomads.usp.br/virus/virus03/submitted/layout.php?item=2&lang=pt>. Acesso em 25 de abr. de 2023.

SOLTANI, S., GU, N., PANIAGUA, J. O., SIVAM, A., & MCGINLEY, T. A computational approach to measuring social impact of urban density through mixed methods using spatial analysis. In: Intelligent & Informed, Proceedings of the 24th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (**CAADRIA**) 2019, Volume 1, 321-330. © 2019 and published by the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA), Hong Kong. DOI: 10.52842/conf.caadria.2019.1.321

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. Disponível em: [http://papers.cumincad.org/data/works/att/2005\\_679.content.pdf](http://papers.cumincad.org/data/works/att/2005_679.content.pdf). Acesso em 25 de abr. de 2023.

STOJANOVSKI, T. City information modeling (CIM) and urbanism: blocks, connections, territories, people and situations, in: **Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design.**, San Diego, California, USA, 2013, pp. 86-93. Disponível em <https://www.researchgate.net/publication/288205937>. Acesso em 25 de abr. de 2023.

THOMPSON, E.M.; GREENHALGH, P.; MULDOON-SMITH, K.; CHARLTON, J.; DOLNÍK, M. Planners in the future city: using city information modelling to support planners as market actors, Urban Plann. 1 (2016) 79-94, <https://doi.org/10.17645/up.v1i1.556>.

TRNSYS. Transient System Simulation Tool. University of Wisconsin, 2023. Disponível em: <https://www.trnsys.com/>. Acesso em 25 de abr. de 2023

WANG, Z; JIANG, H; ZHANG, W; LIU, L. The problem analysis and solution suggestion in the process of city information model construction, 4th Int. Conf. Smart Grid Smart Cities, ICSGSC (2020) 109-112, 2020. <https://doi.org/10.1109/ICSGSC50906.2020.9248544>,