



Recife 4 a 6 de Novembro 2015

## VII Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção

Edificações, Infra-estrutura e Cidade: Do BIM ao CIM

ufpe.br/tic2015



# MODELAGEM PROCESSUAL COMO FERRAMENTA PROPOSITIVA: O SOFTWARE ESRI CITYENGINE™ E A REGULAÇÃO URBANA<sup>1</sup>

## PROCEDURAL MODELLING AS A PROPOSITIVE TOOL: THE SOFTWARE ESRI CITYENGINE™ AND URBAN CODING

**Mariana Quezado Costa Lima**  
Universidade Federal do Ceará (UFC)  
[marianaqcl@gmail.com](mailto:marianaqcl@gmail.com)

**Clarissa Figueiredo Sampaio Freitas**  
Universidade Federal do Ceará (UFC)  
[clarissa@arquitetura.ufc.br](mailto:clarissa@arquitetura.ufc.br)

### Resumo

Como qualificar a forma urbana construída se é composta majoritariamente por edificações privadas e, portanto, dificilmente influenciadas por projetos urbanos de natureza pública, sobretudo em tecidos urbanos consolidados? Para avançar neste desafio, propomos uma reflexão sobre a normativa urbanística vigente e o planejamento tradicional. Diante da rigidez dos métodos tradicionais de estabelecer índices de ocupação urbana, o principal objetivo desse trabalho é avaliar a pertinência de uma metodologia flexível – que utiliza parâmetros de mensuração e prescrição da forma urbana empregados em software de modelagem processual urbana – para refletir sobre os mecanismos de regulação territorial. Como ferramenta para efetivação desse método, optamos pelo Esri CityEngine™, um software de modelagem tridimensional especializado na geração de ambientes urbanos a partir de um conjunto de regras pré-definido. Sua metodologia processual – através de uma linguagem de programação chamada CGA (*Computer Generated Architecture*) – permite a alteração nas regras e indicadores urbanísticos tanto quanto necessário para dar espaço para novas possibilidades de projeto. Com a utilização do software, modelamos três cenários: dois analíticos, ilustrando a situação existente e a aplicação da legislação vigente no bairro, e um exercício projetual alternativo, a partir da elaboração de diferentes conjuntos de regras do CityEngine™ e sua aplicação nas áreas edificáveis.

**Palavras-chave:** Forma urbana edificada. Parâmetros urbanos. Modelagem processual. Simulação urbana.

### Abstract

How to qualify the built urban form if it is mostly composed of private buildings and therefore hardly influenced by public urban designs, especially in consolidated urban fabric? To progress in this challenge, we propose a reflection on the current urban rules and the traditional planning. Given the rigidity of the traditional methods of establishing urban occupation indexes, the main objective of this study is to assess the relevance of a flexible methodology - using parameter-based measurement and prescription of urban form, employed in procedural urban modeling software - to think over the mechanisms of territorial regulation. As a tool to actualize this method we chose to use the Esri CityEngine™, tridimensional modeling software specialized in urban environment generation from a set of predefined rules. His procedural methodology - through a programming language called CGA (*Computer Generated Architecture*) - allows you to change the rules and urban indicators as necessary to make room for new design possibilities. Using the software, we modeled three scenarios: two analytical ones, illustrating the existing situation and the neighborhood's current legislation application and an alternative design exercise from the elaboration of different sets of CityEngine™ rules and their application on buildable areas.

**Keywords:** Built urban form. Urban parameters. Procedural modelling. Urban simulation.

<sup>1</sup> COSTA LIMA, M. Q.; FREITAS, C. F. S. Modelagem processual como ferramenta propositiva: o software Esri CityEngine™ e a regulação urbana. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 7., 2015, Recife. *Anais...* Porto Alegre: ANTAC, 2015.



## 1 INTRODUÇÃO

Como qualificar a forma urbana construída se ela é composta majoritariamente por edificações privadas e, portanto, dificilmente influenciadas por projetos urbanos de natureza pública, sobretudo em tecidos urbanos consolidados? Para avançar neste desafio, propomos uma reflexão sobre a normativa urbanística vigente e sua capacidade de regular a forma urbana em favor do interesse coletivo. Diante da rigidez dos métodos tradicionais de estabelecer índices de ocupação urbana, o principal objetivo desse trabalho é avaliar a pertinência de uma metodologia flexível – que utiliza parâmetros de mensuração e prescrição da forma urbana empregados em software de modelagem processual urbana – para refletir sobre os mecanismos de regulação territorial.

Este estudo, derivado de um trabalho final de graduação em arquitetura e urbanismo, possui caráter exploratório e desenvolveu-se através de pesquisa bibliográfica, levantamento de dados, observações in loco, e sobretudo de experimentações em uma ferramenta de simulação urbana. A ferramenta adotada é o Esri *CityEngine*<sup>TM</sup>, um *software* de modelagem tridimensional especializado na geração de ambientes urbanos a partir de um conjunto de regras pré-definido.

Com a utilização do software, modelamos três cenários: dois analíticos, ilustrando a situação existente e a aplicação da legislação vigente no bairro, e um exercício projetual alternativo, a partir da elaboração de diferentes conjuntos de regras do *CityEngine*<sup>TM</sup> e sua aplicação nas áreas edificáveis.

## 2 A NORMATIVA URBANÍSTICA VIGENTE E A ABORDAGEM TRADICIONAL DE PROJETO

Buscamos refletir sobre a capacidade do planejamento urbano de edificar um espaço que expresse as necessidades sociais, econômicas e culturais dos seus fruidores. Ao longo da história da legislação brasileira, o zoneamento, justificado como instrumento para controlar a densidade de ocupação do solo e para evitar conflitos entre usos incompatíveis, foi usado como elemento segregador de classes sociais impedindo a desvalorização dos bairros nobres. Até hoje, as leis de zoneamento configuram um modelo predominante de instrumentos de regulação urbanística incidente sobre a maior parte das cidades brasileiras, que, muitas vezes, resume-se a consolidar os usos existentes e apenas legitimam a exclusão (CYMBALISTA, 1999).

Há comprovada dificuldade na imposição de usos e densidades através da geometria poligonal típica do zoneamento tradicional, que acaba por consolidar os problemas existentes, provocando impactos no que tange às interações na cidade, “separando atividades, distanciando atores, ou tornando invisíveis grupos sociais entre si” (NETTO; SABOYA, 2010). Há ainda, muitas vezes o “risco de tais definições sequer influenciarem o real desenvolvimento da cidade, por apresentar incoerência com sua dinâmica.” (NETTO; SABOYA, 2010). Mais uma vez, podemos perceber que o planejamento que não se relaciona de maneira intrínseca com os problemas da cidade não passa de mera regra e torna-se ficção.

Assim, é flagrante a dificuldade dos instrumentos de intervenção tradicionais no enfrentamento do complexo padrão de urbanização brasileiro vivido. Mais que isso, esses instrumentos são bastante falhos no que diz respeito a guiar e prescrever a forma e as dinâmicas da cidade.



### 3 NOVOS MÉTODOS

Diversos autores apontam para os problemas do processo tradicional de planejamento e para a necessidade de se planejar soluções flexíveis usando tecnologia da informação.

Para Acioly e Davidson (1998, p. 75), “quanto mais realista é um plano de desenvolvimento urbano, ou seja, quanto mais flexível ele é com relação às demandas do mercado, maiores são suas chances de ter uma implementação bem-sucedida”.

Segundo Beirão e Duarte (2005), planos urbanos são frequentemente centrados na definição de parâmetros urbanísticos, que sendo muito ligados a procedimentos burocráticos, fazem do projeto uma mera representação de tais parâmetros. Para o autor, a legislação e os procedimentos burocráticos a priori não restringem a flexibilidade do projeto. A rigidez projetual, na prática, deriva de uma repetição inconsciente de procedimentos, em vez de um ajustamento dos métodos a contextos específicos.

As técnicas de mensuração da forma urbana têm despertado crescente interesse, devido ao desenvolvimento de tecnologias da informação espacial. Nas escolas e nos escritórios de arquitetura e urbanismo, flagra-se cada vez maior utilização de Sistemas de Geoprocessamento da Informação (GIS) e *Google Earth*<sup>TM</sup>. Dessas técnicas servem-se mais para análise e visualização do que para sistematizar padrões urbanos e analisar os indicadores legais. Compreender e avaliar o ambiente urbano através de métodos quantitativos ainda é uma prática bastante questionada, mas que tem ganhado força nas últimas décadas, sobretudo e porquanto pode incrementar as questões qualitativas.

Beirão (2012, p. 13) avança ainda ao apontar uma abordagem mais quantitativa como forma de aprimorar o processo de planejamento:

A formulação de planos para as cidades só pode ser melhorada se os projetistas forem capazes de abordar as medidas de algumas das relações entre os componentes das cidades durante o processo de projeto. Estas medidas são os chamados indicadores urbanos. Ao calcular essas medidas, os projetistas podem compreender o significado das mudanças que estão sendo propostas. (tradução nossa)

Propomos, assim, um novo método baseado nos estudos do livro de Berghauser Pont e Haupt (2009), em que a regulação da forma é feita através de indicadores de densidade, e no conceito de modelagem paramétrica, com a qual é possível gerar, diversas soluções projetuais a partir da alteração de valores de indicadores pré-definidos.

Os autores Berghauser Pont e Haupt (2009) baseiam-se em parâmetros bem definidos para gerar indicadores precisos de densidade que, isoladamente, não produziram uma morfologia urbana específica, mas que em conjunto o fazem, como por exemplo a densidade construtiva, a taxa de ocupação e a densidade de sistema viário. Pelo desenvolvimento de uma matriz (Spacematrix), redefiniram a densidade como um fenômeno multivariável e multiescalar, compatível com uma cidade e uma sociedade contemporâneas, complexas e mutáveis.

A modelagem paramétrica, por sua vez, que surgiu nas indústrias aeroespacial e automotiva e começa a se estabelecer no campo da arquitetura, tem sido gradativamente introduzido no urbanismo, diante das vantagens que esse sistema possibilita no sentido de gerar, rapidamente, diversas alternativas a partir da alteração de valores de um parâmetro (SILVA; AMORIM, 2010).

Para Silva e Amorim (2010), o parametricismo consiste numa abordagem sistêmica, bem diferente da tradicional, “uma vez que possibilita a criação de relações entre os diversos elementos de um sistema, permitindo construir um verdadeiro complexo de elementos em

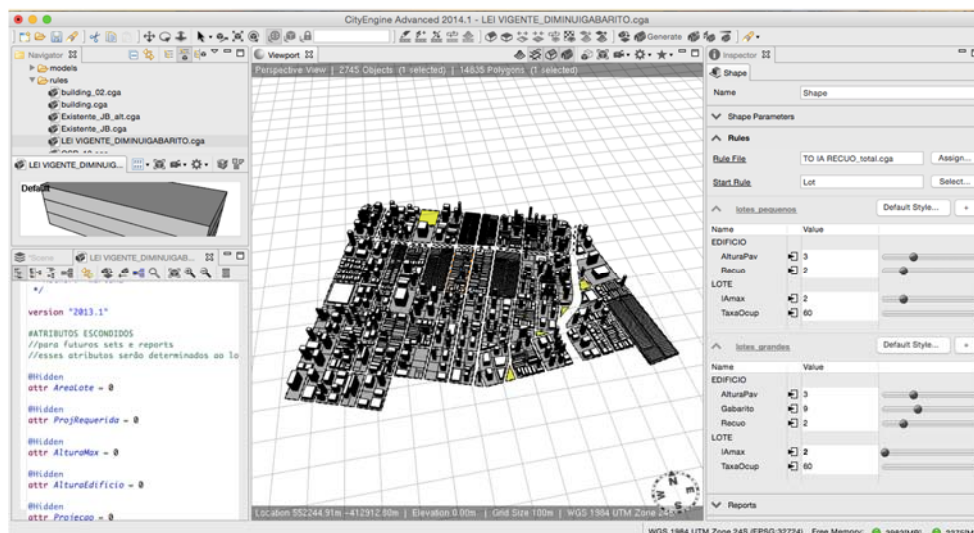


interação - um todo que se caracteriza através das inter-relações entre as diversas partes constituintes”. Através de ferramentas paramétricas, é possível não apenas realizar um processo sistemático de desenho, mas também avaliar os prós e contras de cenários com diferentes ajustes para cada indicador, tornando a regulação da forma mais flexível e acessível à participação dos diversos atores na produção da cidade.

## 4 APLICAÇÃO DE UMA METODOLOGIA FLEXÍVEL

Como ferramenta para efetivação de um processo de planejamento flexível, optou-se pelo Esri *CityEngine*<sup>TM</sup> (Figura 1), um software de modelagem tridimensional especializado na geração de ambientes urbanos. Utiliza metodologia processual e gera automaticamente os modelos através de um conjunto de regras pré-definido, as quais são definidas através de uma linguagem de programação chamada CGA (*Computer Generated Architecture*) e podem ser alteradas tanto quanto necessário para dar espaço para novas possibilidades de projeto. Assim, o modelo de cidade pode ser ajustado alterando parâmetros ou o próprio conjunto de regras.

Figura 1 – Interface do *software*



Fonte: Esri CityEngine

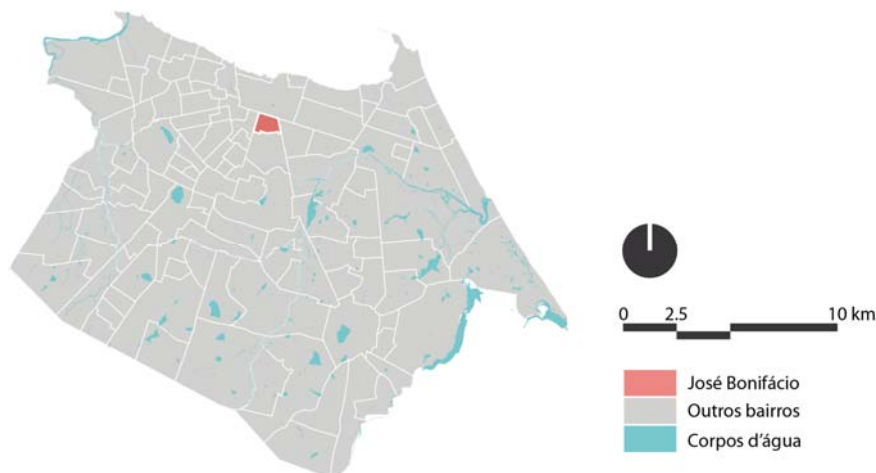
Como supracitado, modelamos três cenários, os quais classificaremos em dois tipos - de acordo com a abordagem do *software* - segundo definições derivadas do método de Berghauer Pont e Haupt (2009), a saber:

- Uso Descritivo: a forma urbana já existe e os indicadores urbanos surgem como um resultado;
- Uso Prescritivo: os indicadores urbanos (regras) são formulados e aplicados e a forma urbana surge como resultado.

A área escolhida para a aplicação do método corresponde ao bairro José Bonifácio, em Fortaleza (Figura 2). Trata-se de um bairro de morfologia relativamente homogênea, bem localizado e servido de infraestrutura, cujo potencial de adensamento é subaproveitado, apresentando baixas densidades e tendências a futuros problemas morfológicos importantes, não abordados pelos instrumentos normativos em vigor.



Figura 2 – Localização do bairro de estudo em Fortaleza



Fonte: IPECE (modificado pelos autores)

## 4.1 Cenário A: a situação existente

O primeiro cenário nada mais é que um modelo descritivo da situação existente. Antes da modelagem, os polígonos dos lotes e dos edifícios do bairro em estudo, obtidos a partir do Levantamento Aerofotogramétrico de Fortaleza de 2010, foram associados às suas respectivas informações de gabarito e uso do solo, levantadas pelas autoras, em um software de geoprocessamento (SIG).

Os arquivos *shape* resultantes só então foram importados para o *CityEngine*, que possui uma boa interoperabilidade com *softwares* GIS. A partir da importação dos *shapes*, com um código bastante simples pudemos traduzir o levantamento de usos e gabaritos em uma simbologia de cores e em alturas reais, respectivamente (Figura 3).

Figura 3 – Perspectiva aérea da situação existente (as cores referem-se aos diferentes usos do solo).



Fonte: Elaborado pelos autores

Apesar da facilidade encontrada para a modelagem (Figura 4), a produção de relatórios, uma das grandes vantagens do software - e que seria um diferencial em termos descritivos - foi limitada, já que não conseguimos relacionar informações geométricas de *shapes* diferentes (lotes e edifícios, por exemplo). Relatamos valores absolutos como área da projeção do edifício, área construída do edifício e área do lote, mas não logramos listar indicadores cuja relação entre as diferentes escalas fosse necessária, como a taxa de



ocupação e o índice de aproveitamento.

Nesse caso, consideramos que o software foi de grande utilidade na execução de uma modelagem tridimensional rápida do existente diante dos dados pré-obtidos, mas reconhecemos que a abordagem descritiva não parece usar toda a potencialidade que a ferramenta oferece e que podemos obter iguais ou mais informações do existente com softwares bem mais simples, como os de geoprocessamento.

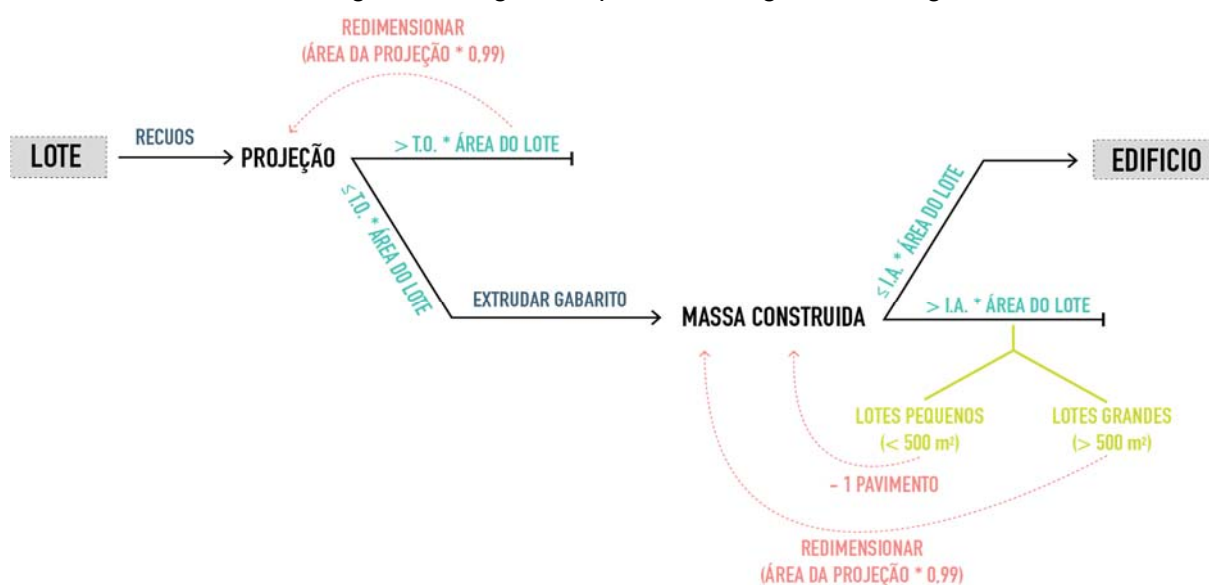
## 4.2 Cenário B: legislação vigente

Procedemos, então, a modelagem do bairro com aplicação da legislação urbanística vigente nos lotes existentes. Nesse caso, apesar de tratar-se de uma análise e não de uma proposição, essa modelagem possui caráter prescritivo, na medida em que consiste na investigação da lei urbanística vigente a partir de uma simulação de como seria a forma urbana edificada se todas as construções obedecessem a essa normativa. A ideia era investigar o tipo de forma urbana estimulada por essa legislação, de modo a comprovar a hipótese de que a lei, além de atuar como fator de exclusão, também não é capaz de garantir qualidade urbanística.

Simulamos uma aplicação randômica dos indicadores recorrentes na normativa urbanística brasileira, utilizando os valores limítrofes correspondentes à área de estudo: taxa de ocupação, índice de aproveitamento e gabarito. Devido às limitações da linguagem própria do programa, a aplicação dos dois primeiros indicadores foi indireta, ou seja, primeiro a geometria do edifício era gerada e depois testada retroativamente de acordo com os valores máximos dos indicadores (Figura 4).

Ademais, essa randomização foi condicionada a alguns aspectos específicos à lógica imobiliária brasileira. Ao obedecer à taxa de ocupação máxima e ao gabarito máximo, o construtor pode seguir dois caminhos para obedecer ao índice de aproveitamento máximo: diminuir a área de projeção e manter o gabarito ou diminuir o gabarito e manter a área de projeção, condições aplicadas no programa respectivamente a terrenos grandes ou pequenos, tendo em vista as práticas recorrentes (essa diferenciação foi arbitrada no trabalho, utilizando como limiar  $500 \text{ m}^2$ ).

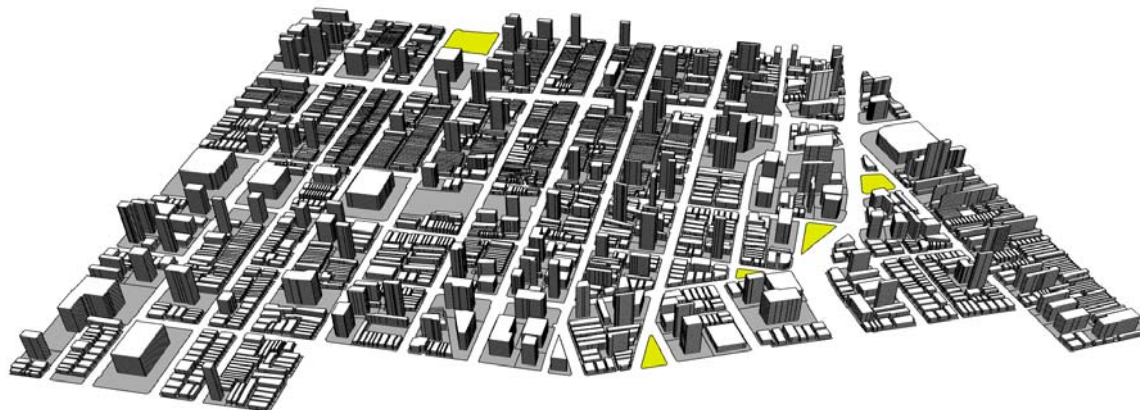
Figura 4 – Algoritmo para modelagem da lei vigente





Por fim, a aplicação randômica do gabarito também foi condicionada à área do lote. Por mais que seja legalmente possível construir 72 metros de altura em qualquer terreno do bairro, na prática, isso não acontece em terrenos pequenos, que acabam tendo seu gabarito limitado pelo uso do solo.

Figura 5 – Perspectiva aérea da aplicação da lei vigente



Fonte: Elaborado pelos autores

Essa modelagem, gerada a partir da elaboração de um conjunto de regras, permitiu observar algumas limitações relativas aos parâmetros urbanísticos adotados na legislação. De uma maneira geral, comprovamos a complexidade do número de parâmetros presentes na normativa urbanística brasileira e como eles se sobrepõem, gerando limitações redundantes, como por exemplo a combinação entre taxa de ocupação e gabarito com o índice de aproveitamento. Nas legislações municipais, estes são frequentemente conceituados e aplicados de maneira isolada, desconsiderando-se as suas relações. Além disso, como podemos observar a partir dessa simulação (Figura 5), o modelo baseado em recuos mínimos não só estimula como obriga a tipologia do edifício isolado no lote.

Quanto às dificuldades técnicas, além das limitações já supracitadas de aplicação indireta de atributos e condições arbitradas, não logramos relacionar os *shapes* dos lotes existentes (obtidos a partir do Levantamento Aerofotogramétrico de Fortaleza de 2010) e os *shapes* das vias existentes (obtidos a partir da plataforma aberta do *Open Street Map*), de modo a aplicar aos lotes os recuos determinados pelas vias em que se encontram. Assim, foram utilizados valores iguais de recuo para os diferentes lados dos lotes.

É relevante destacar que essa simulação só foi possível porque se tratava de um *software* de modelagem processual, na qual um código, incluindo atributos randômicos e regras condicionais, entre outros aspectos, pôde ser aplicado a um conjunto grande de geometrias e poderia ser aplicado a áreas maiores ainda.

Além da visualização tridimensional, o software permite a emissão de relatórios listando os valores resultantes dos indicadores urbanos, propiciando uma análise qualitativa e quantitativa dos modelos. Nesse caso, como a geometria dos edifícios surgiu a partir dos lotes mediante a regra formulada, as duas escalas estavam conectadas e foi possível obter todos os indicadores consequentes nos relatórios (Figura 6).



Figura 6 – Relatórios

Report	N	%	Sum	%	Avg/Mod.	Min/Mod.	Max/Mod.	NaNs
A Area do Lote (m2)	1303	0.00	682904.98	0.00	524.10	84.99	11595.81	0
B Area Livre (m2)	5	0.00	10684.81	0.00	2136.96	491.18	7374.09	0
B Projeção Requerida (m2)	1303	0.00	409742.99	0.00	314.46	51.00	6957.49	0
C Projeção	976	0.00	150295.04	0.00	153.99	50.27	297.06	0
C Projeção inicial (m2)	327	0.00	251995.39	0.00	770.63	213.18	6907.38	0
D Taxa de Ocupação (%)	976	0.00	57113.04	0.00	58.52	36.52	60.00	0
D Taxa de Ocupação inicial (%)	327	0.00	19369.21	0.00	59.23	40.57	60.00	0
E Altura Máxima	976	0.00	10046.73	0.00	10.29	10.00	16.43	0
E Area Construída Maxima (m2)	327	0.00	1062268.43	0.00	3248.53	1000.62	34787.43	0
F Altura do Edifício (m)	976	0.00	6420.09	0.00	6.58	6.00	12.00	0
F Projeção Final (m2)	327	0.00	105137.39	0.00	321.52	43.43	6907.38	0
G Area Construída	2122	0.00	338070.52	0.00	346.38	100.54	1098.97	0
G Taxa de Ocupação Final (%)	327	0.00	8122.20	0.00	24.84	8.24	59.99	0
H Altura do Edifício (m)	327	0.00	12900.00	0.00	39.45	6.00	72.00	0
H Índice de Aproveitamento	2122	0.00	1239.17	0.00	1.27	0.73	2.28	0
I Area Construída (m2)	4300	0.00	1010733.42	0.00	3090.93	576.10	26607.26	0
J Índice de Aproveitamento	4300	0.00	765.53	0.00	2.34	1.12	3.00	0

Fonte: gerada pelo *City Engine*

### 4.3 Cenário C: exercício projetual

O último cenário, prescritivo e propositivo, tratava-se de um exercício projetual de um modelo possível de ocupação para o bairro através de mudanças nos parâmetros urbanísticos. A partir das informações obtidas em um diagnóstico da área de estudo, foram mapeadas as permanências e as oportunidades do bairro, isto é, as edificações que dificilmente serão substituídas, mesmo a longo prazo, e aquelas que podem vir a ser substituídas naturalmente em um plano que induza ao adensamento.

Nesse cenário, utilizamos um novo indicador de densidade, que não está presente nas legislações municipais brasileiras, apresentado por Berghauser Pont e Haupt (2009), com o qual pretendemos dispensar os indicadores índice de aproveitamento (IA) e taxa de ocupação (TO): estes surgiriam como consequência desse terceiro parâmetro.

Por definição, a amplitude, ou a taxa de espaços livres:

É a medida da quantidade de área não-construída no terreno pela área total construída. Esse parâmetro fornece uma indicação da pressão no espaço livre. Quanto maior a área construída (com a mesma projeção), menor a amplitude e maior o número de pessoas que vai utilizar a área livre. Sua unidade é  $m^2/m^2$ . (BERGHAUSER PONT & HAUPT, 2009, tradução nossa).

Ao determinar um valor fixo (ou faixa de valores) para esse indicador, o índice de aproveitamento passa a ser diretamente proporcional à quantidade de espaços livres. A lógica é simples: justifica-se o adensamento pela quantidade de áreas livres.

Além da amplitude, lançamos mão de outras estratégias de regulação, como o estímulo ao uso misto. Foi, então, elaborado um novo conjunto de regras do *CityEngine*<sup>TM</sup> aplicado nas áreas não consolidadas e que poderão ter seus lotes lembrados e/ou suas edificações substituídas seja a curto, seja a longo prazo. Dentro da lógica de construção do bairro, partimos do princípio que as edificações de menor porte só seriam substituídas por edificações multifamiliares e não por outras unifamiliares. Como consequência dessas regras, foi construído um modelo de ocupação (Figura 7). A partir do modelo base, diferentes soluções possíveis – de acordo com o valor adotado para os parâmetros pré-definidos – foram experimentadas e suas formas e indicadores consequentes visualizados (Tabela 1)





A construção dos modelos das soluções possíveis e sobretudo a visualização dos indicadores conseguintes (densidade resultante, acréscimo de população, por exemplo) permitiram a experimentação e revisão dos parâmetros de acordo com os objetivos de planeamento.

Figura 7 – Perspectiva aérea da aplicação da lei vigente



Fonte: Elaborado pelos autores

A Tabela 1 compara não somente os indicadores apenas entre as soluções testadas, mas também entre estas e o modelo da lei vigente aplicada e o existente, e a partir dela, algumas considerações podem ser feitas.



Tabela 1 – Indicadores resultantes das diferentes soluções

INDICADORES	EXISTENTE	LEIVIGENTE	PERMANÊNCIAS	CENÁRIO 1		CENÁRIO 2		CENÁRIO 3		CENÁRIO 4	
				NOVOS	TOTAL	NOVOS	TOTAL	NOVOS	TOTAL	NOVOS	TOTAL
ÁREA DA GLEBA	886759	886759	886759	886759	886759	886759	886759	886759	886759	886759	886759
ÁREA TOTAL DOS LOTES	539068,38	539068,38	539068,38	539068,38	539068,38	539068,38	539068,38	539068,38	539068,38	539068,38	539068,38
ÁREA LIVRE TOTAL*	233218,57	353552,25	70802,76	339896,64	410699,4	339896,64	410699,4	339896,64	410699,4	339896,64	410699,4
ÁREA LIVRE PÚBLICA	10699,87	10699,87	10699,87	339896,64	350596,51	339896,64	350596,51	339896,64	350596,51	339896,64	350596,51
ÁREA LIVRE PRIVADA	222518,7	342852,38	60102,89	0	60102,89	0	60102,89	0	60102,89	0	60102,89
ÁREA CONSTRUÍDA TOTAL	704548,38	1260237,08	193674,31	820980,7	1014655,01	889281,6	1082955,91	937401,62	1131075,93	1203471,91	1397146,22
ÁREA CONST. HABITAÇÃO	454020,14	809286,848	103497,21	679484,10	782981,31	747785,00	851282,21	795905,02	899402,23	1061975,31	1165472,52
ÁREA CONST. OUTROS USOS	250528,24	446564,06	90177,1	141496,6	231673,7	141496,6	231673,7	141496,6	231673,7	141496,6	231673,7
ÍNDICE DE APROVEITAMENTO MÁXIMO	-	2,80	-	2,08	-	2,44	-	2,93	-	3,98	-
ÍNDICE DE APROVEITAMENTO MÉDIO	1,07	1,97	-	1,53	-	1,68	-	1,79	-	2,25	-
ÍNDICE DE APROVEITAMENTO MÍNIMO	-	0,25	-	0,56	-	0,56	-	0,56	-	1,11	-
DOMICÍLIOS	2842	10116		9787	10641		11243		14568		14568
POPULAÇÃO	8811	31360		30341	32987		34852		45162		45162
DENSIDADE (HAB/HA)	99,36	353,65		342,15	372,00		393,02		509,29		509,29

CENÁRIO 1 > Amplitude = 0.4  
Nº de pavimentos máx. = 5

CENÁRIO 2 > Amplitude = 0.3  
Nº de pavimentos máx. = 5

CENÁRIO 3 > Amplitude = 0.2  
Nº de pavimentos máx. = 5

CENÁRIO 4 > Amplitude = 0.3  
Nº de pavimentos máx. = 10

\*fora o sistema viário

Fonte: Elaborada pelos autores.



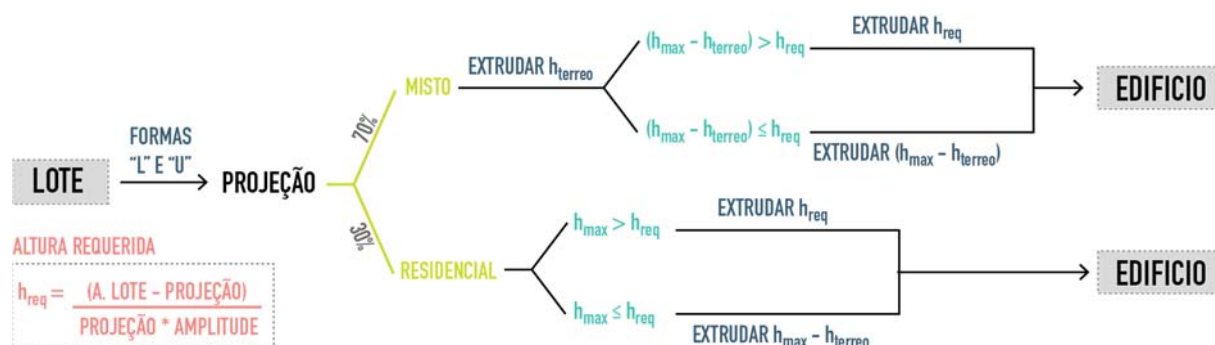
- A quantidade de áreas livres da proposta é cerca de 15% maior que a da lei vigente, porém visualmente a discrepância parece muito maior, visto que a primeira possui áreas livres concentradas e a segunda áreas livres pulverizadas. A quantidade de áreas livres públicas, por outro lado, é cerca de 32 vezes maior na proposta que com a lei vigente;
- A verticalização é bem mais limitada nos cenários propostos, porém ainda assim a área construída total prevista com a aplicação da lei vigente é pouco maior;
- Quando comparados os Índices de Aproveitamento máximo e médio resultantes, os valores de lei vigente são um pouco maiores que o Cenário 2 e menores que os Cenários 3 e 4, porém, nos cenários propostos, a contrapartida do Índice de Aproveitamento para a população é direta e imediata, através da criação de espaços livres e públicos;
- Para efeito de cálculo, estimamos que a área construída total prevista com a aplicação da lei vigente seria dividida em habitação e outros usos na mesma proporção existente. Por isso, apesar da área construída total prevista com a aplicação da lei vigente ser maior que as dos Cenários 2 e 3, os últimos, que não preveem novos usos não-residenciais isolados, produzem uma densidade maior.

Diante das experimentações empreendidas, poderíamos então optar pela adoção dos parâmetros de uma das soluções. A solução 2, por exemplo, trata-se de um cenário com grande quantidade de área livre pública por área construída, pouca verticalização, cujos índices de aproveitamento são intermediários, mas compatíveis com as atuais expectativas do mercado imobiliário e cuja densidade resultante está dentro da faixa recomendada por diversos autores.

Aqui, mais uma vez, essa simulação só foi possível graças à modelagem processual e a aplicação dos indicadores urbanísticos se fez de maneira indireta (Figura 8). Porém, nesse código o processo foi simplificado devido à redução do número de indicadores e à eliminação das sobreposições. Nesse caso, o fato de os lotes terem sido gerados pelo *software*, a partir das vias existentes, além de os edifícios terem sido gerados a partir dos lotes, a relação entre as escalas foi ainda mais satisfatória.

Reiteramos que graças à metodologia flexível, os parâmetros da solução adotada poderiam ser revistos com o passar dos anos, compatibilizando o planejamento e a regulação às necessidades dinâmicas do bairro.

Figura 8 – Extrato do código elaborado para o exercício projetual



Fonte: Elaborado pelos autores.

## 5 CONCLUSÕES

Deste trabalho, derivou uma metodologia processual, que se amparou em parâmetros urbanísticos para regular a forma de uma área específica da cidade. O resultado dessa



metodologia é um conjunto de soluções projetuais para alguns dos problemas encontrados, expressos através de um conjunto de regras, ao invés da tradicional solução fixa

Porém, para que fosse possível formular esse conjunto de soluções dinâmicas e capazes de se adaptar a transformações foi necessário o enfrentamento de um desafio: o software de modelagem e simulação urbana.

Ainda que tenha sido produzida uma vasta coleção de artigos e tutoriais sobre o uso analítico da modelagem processual, poucos trabalhos foram produzidos sobre o seu uso prescritivo ou propositivo, daí a importância, mas também a dificuldade desse trabalho. Além disso, o *software* escolhido é estrangeiro e de uso bastante rarefeito no Brasil, o que torna a elaboração de algoritmos e regras paramétricas ainda mais complexa, devido à falta de uma comunidade virtual consolidada e à incompatibilidade das “regras prontas” com a lógica da normativa urbanística brasileira.

O resultado, embora apresente limitações devido aos desafios que a ferramenta impõe, evidencia a necessidade de se utilizar a informação como *input* básico do processo decisório e de se adotar uma abordagem mais flexível do projeto, a fim de lidar com a complexidade e as mudanças que caracterizam as sociedades urbanas contemporâneas.

## AGRADECIMENTOS

A elaboração deste artigo contou com o apoio do CNPq por meio do financiamento à pesquisa “Informalidade urbana e regulação do território no Brasil”, processo: 470620/2014-5, CHAMADA MCTI/CNPQ/MEC/CAPES Nº 22/2014 - CIÊNCIAS HUMANAS, SOCIAIS E SOCIAIS APLICADAS.

## REFERÊNCIAS

ACIOLY, C.; DAVIDSON, F. Densidade Urbana: um instrumento de planejamento e gestão urbana. Rio de Janeiro: Mauad, 1998.

BEIRÃO, J. N. ; DUARTE, J. P. **Urban Grammars: Towards Flexible Urban Design**. Congresso eCAADe’23, p. 491-500, 2005.

BEIRÃO, J. N. CityMaker: **Designing Grammars for Urban Design**. Tese (Doutorado em Urban Design) - TU Delft, Delft, 2012.

BERGHAUSER PONT, M. Y.; HAUPT, P. A. **Space, Density and Urban Form**. Netherlands: Technische Universiteit Delft, 2009.

CYMBALISTA, R. Regulação urbanística e morfologia urbana. In: ROLNIK, R. (coord.). **Regulação urbanística e exclusão territorial**. São Paulo, Instituto Pólis, 1999. (Publicações Pólis 32.)

NETTO, V. de M.; SABOYA, R. T de. **A urgência do planejamento**: a revisão dos instrumentos normativos de ocupação urbana. *Arquitextos - Vitruvius*, v. 125, 2010. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/10.125/3624>>. Acessado em 14 de março de 2015.

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>>. Acessado em 26 de abril de 2015.