

# TECNOLOGIA, AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE

Coletânea de Artigos

Organizadores:

João da Costa Pantoja  
Márcio Augusto Roma Buzar  
Naiara Guimarães de Oliveira Porto



Universidade de Brasília

	<b>UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA</b>
<b>Reitora:</b> <b>Vice-Reitor:</b> <b>Decana de Pesquisa e Inovação:</b> <b>Decanato de Pós Graduação:</b>	Márcia Abrahão Moura Henrique Huelva Maria Emília Machado Telles Walter Lucio Remuzat Rennó Junior
<b>Diretor da FAU</b> <b>Vice Diretoria da FAU</b> <b>Coordenadora de Pós-Graduação:</b> <b>Coordenadora do LaSUS:</b> <b>Coordenador do LaBRAC:</b>	<b>FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO - UnB</b> Marcos Thadeu Queiroz Magalhães Cláudia da Conceição Garcia Luciana Saboia Fonseca Cruz Marta Adriana Bustos Romero João da Costa Pantoja
<b>Coordenação de Produção Editorial, Preparação, Revisão e Diagramação:</b> <b>Capa:</b>	João Vitor Lopes Lima Farias Ana Luiza Alves de Oliveira Stefano Galimi
<b>Conselho Editorial</b>	Humberto Salazar Amorin Varum Osvaldo Luiz de Carvalho Souza Yara Regina Oliveira Paulo de Souza Tavares Miranda
<b>Organização:</b>	João da Costa Pantoja Marcio Augusto Roma Buzar Naiara Guimarães de Oliveira Porto

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)**

Tecnologia, ambiente e sustentabilidade [livro eletrônico] : coletânea de artigos / organização João da Costa Pantoja , Marcio Augusto Roma Buzar , Naiara Guimarães de Oliveira Porto. -- 1. ed. -- Brasília, DF : LaSUS FAU : Editora da Universidade de Brasília-UnB, 2021.  
ePDF

ISBN 978-65-992384-4-4

1. Artigos - Coletâneas 2. Meio ambiente 3. Sustentabilidade ambiental 4. Tecnologia I. Pantoja, João da Costa. II. Buzar, Marcio Augusto Roma. III. Porto, Naiara Guimarães de Oliveira.

21-63042  
CDD-660.02

**Índices para catálogo sistemático:**

1. Tecnologia 660.02 Aline Grazielle Benitez - Bibliotecária - CRB-1/3129

1ª Edição

FAU - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo / LaSUS – Laboratório de Sustentabilidade Aplicada a Arquitetura e ao Urbanismo.  
Caixa Postal 04431, CEP 70842-970 – Brasília-DF. Telefones: 55 61 3107-7458. Email: lasus@unb.br / www.lasus.unb.br

## ORGANIZADORES E AUTORES

João da Costa Pantoja | Organizador e Autor | Brasil

Márcio Augusto Roma Buzar | Organizador e Autor | Brasil

Naiara Guimarães de Oliveira Porto | Organizador e Autor | Brasil

Alexandre M C Dutra | Autor | Brasil

Ana Luiza Alves de Oliveira | Autor | Brasil

Clarice C. D. da Silva | Autor | Brasil

Daniel Richard Sant'Ana | Autor | Brasil

Eduardo Bicudo de Castro Azambuja | Autor | Brasil

Francisco Afonso de Castro Júnior | Autor | Brasil

Hillary Damaceno de Brito | Autor | Brasil

Hugo Rodrigues Pinheiro | Autor | Portugal

Iberê Pinheiro de Oliveira | Autor | Brasil

Igor Rafael Mendes Guimarães Alcantara | Autor | Brasil

Joára Cronemberg Ribeiro Silva | Autor | Brasil

Leonardo da Silveira Pirillo Inojosa | Autor | Brasil

Louise Boeger Viana dos Santos | Autor | Brasil

Luiza Teixeira Naili | Autor | Brasil

Mafalda Fabiene Ferreira Pantoja | Autor | Brasil

Marcelo Aquino Corte Real da Silva | Autor | Brasil

Márcio Busón | Autor | Brasil

Pedro Pantoja Luz | Autor | Brasil

Philipe Queiroz Rodrigues | Autor | Brasil

Rudi Sato Simões | Autor | Brasil

Thaís Aurora Vilela Sancho | Autor | Brasil

Stefano Galimi | Autor | Brasil

Valmor Cerqueira Pazos | Autor | Brasil

Victor Villar de Queiroz Milani | Autor | Brasil

Vitor Ramos de Quadros | Autor | Brasil

Wender Camico Costa | Autor | Brasil

## ÍNDICE

### Tema 1 - Estruturas e Arquitetura

I - Manutenção de helipontos elevados - Plataformas de distribuição de cargas em estruturas de concreto/aço instaladas em edifícios já construídos .....	07
II - A ponte de ferro de Cachoeiro do Itapemirim.....	28
III - Caracterização dos blocos de apartamento da Colina Velha na Universidade de Brasília: História, arquitetura, pré-moldado, sistemas estruturais e patologias .....	47
IV - Arquitetura de madeira roliça brasiliense: Um estudo de caso, Maloca e academia Unique .....	83
V - Aplicação do método de bielas e tirantes em vigas de equilíbrio na ferramenta Cast .....	97

### Tema 2 - Sustentabilidade, Qualidade e Eficiência do Ambiente Construído

VI - Edificações de porte monumental de arquitetura modernista: Uma contribuição para a avaliação Acústica .....	119
VII - Técnicas de auditoria do consumo de água: Relatos de experiência em campo .....	142
VIII - Elaboração de algoritmo de uso e ocupação do solo para terrenos do Distrito Federal - Brasill .....	157
IX - Aproveitamento de águas pluviais em edificações públicas: O caso da procuradoria geral da república .....	180
X - Análise de uma cobertura paramétrica de bambu composta por paraboloides hiperbólicos .....	194
XI - Análise da ventilação natural e de qualidade do ar interno: Hospitais Sarah Brasília e Sarah Lago Norte .....	206

### Tema 3 - Tecnologia de Produção do Ambiente Construído

XII - Trincas em sistemas de vedação decorrentes da resistência do concreto .....	229
XIII - Avaliação probabilística do nível de segurança e durabilidade de estruturas existentes em concreto armado .....	241
XIV - A conservação do patrimônio moderno através das práticas de retrofit na infraestrutura urbana de Brasília.....	261
XV - A influência da fabricação digital junto ao design aberto nas novas gerações de produtos .....	283
XVI - Degradação e processo de recuperação de obra de infraestrutura: Viaduto Galeria dos Estados.....	302

## TEMA 2: SUSTENTABILIDADE, QUALIDADE E EFICIÊNCIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Controle e avaliação ambiental integrada e tecnologias eficientes para projeto, construção, operação e reabilitação de edificações e áreas urbanas, revitalização da paisagem. Planejamento estratégico e gestão ambiental urbana e infraestrutura. Condições bioclimáticas e tradições culturais. Qualidade de vida urbana, desempenho ambiental e eficiência: energia, água, materiais e resíduos.

Artigos:

- VI. *Edificações De Porte Monumental De Arquitetura Modernista: Uma Contribuição Para A Avaliação Acústica*  
Oliveira, A.; Pantoja, J.; Silva, C.; Buzar, M.
- VII. *Técnicas De Auditoria Do Consumo De Água: Relatos De Experiência Em Campo*  
Alcantara, I.; Pazos, V.; Boeger, L.; Sant'Ana, D.
- VIII. *Elaboração De Algoritmo De Uso E Ocupação Do Solo Para Terrenos Do Distrito Federal - Brasil*  
Simões, R.; Pantoja, J.
- IX. *Aproveitamento de águas pluviais em edificações públicas: o caso da procuradoria geral da república*  
Galimi, S.; Pantoja, J.
- X. *Análise De Uma Cobertura Paramétrica De Bambu Composta Por Paraboloides Hiperbólicos*  
Quadros, V.; Pantoja, J.
- XI. *Análise Da Ventilação Natural E Da Qualidade Do Ar Interno: Hospitais Sarah Brasília E Sarah Lago Norte*  
Sancho, T.; Pantoja, J.; Silva, J.

## VIII

### ELABORAÇÃO DE ALGORITMO DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO PARA TERRENOS DO DISTRITO FEDERAL – BRASIL

### ELABORATION OF ALGORITHM FOR USE AND SOIL OCCUPANCY FOR LANDS IN THE DISTRITO FEDERAL – BRAZIL

#### **Rudi Sato Simões**

Centro Universitário de Brasília - Uniceub, Arquitetura e Urbanismo.

Brasília – DF

<http://lattes.cnpq.br/2753316178645943>

#### **João da Costa Pantoja**

Universidade de Brasília - UNB, PPGFAU.

Brasília – DF

<http://lattes.cnpq.br/6879105340639188>

#### **Mafalda Fabiene Ferreira Pantoja**

Centro Universitário Euro Americano, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo

Brasília – DF, Brasil

[mfabiene@gmail.com](mailto:mfabiene@gmail.com)

<http://lattes.cnpq.br/4110366813339671>

**RESUMO:** Esta pesquisa consiste no desenvolvimento de um algoritmo de parametrização das normas de uso e ocupação do solo no plugin Grasshopper. A justificativa pela pesquisa se dá pela escassez de estudos com o plugin na parametrização de normas urbanísticas sendo usualmente utilizado no desenvolvimento espacial e volumétrico de soluções projetuais em edificações e em componentes como os de fachadas. A metodologia adotada consistiu em estudo de caso em que se optou pela validação do algoritmo por meio de sua aplicação em três terrenos residenciais, em três cidades satélites do Distrito Federal, com valores normativos e morfologia topográfica distintos. Para o algoritmo levou-se em consideração a topografia e quatro parâmetros urbanísticos: taxa de ocupação, coeficiente de aproveitamento, afastamentos obrigatórios e altura máxima. Como resultados, foram obtidas representações gráficas destes parâmetros e gerados dados como dimensões máximas de áreas e alturas para cada um dos terrenos, em resposta a inserção dos parâmetros contemplados em norma. A volumetria final gerada pelo algoritmo consiste no resultado da interação de todos os parâmetros, e serve como solução arquitetônica inicial, ainda que possa ser desenvolvida projetualmente, tem como ser utilizada no ensino de arquitetura e como documentação de entrada em processo de aprovação junto a administração pública.

**Palavras-chave:** algoritmo, grasshopper, parametrização, uso e ocupação do solo.

**ABSTRACT:** This research consists in the development of a parameterization algorithm for the rules of land use and occupation in the Grasshopper plugin. The justification for the research is given by the scarcity of studies with the plugin in the parameterization of urbanistic norms being usually used in the spatial and volumetric development of design solutions in buildings and in components such as facades. The adopted methodology consisted of a case study in which it was

decided to validate the algorithm through its application in three residential lands, in three satellite cities of the Distrito Federal - BR, with different normative values and topographic morphology. For the algorithm, topography and four urban parameters were taken into account: occupancy rate, utilization rate, mandatory removals and maximum height. As a result, graphic representations of these parameters were obtained and data were generated as maximum dimensions of areas and heights for each of the lands, in response to the insertion of the parameters contemplated in the norm. The final volume generated by the algorithm consists of the result of the interaction of all parameters, and serves as an initial architectural solution, although it can be developed projectually, it can be used in the teaching of architecture and as documentation of entry into the approval process with the administration public.

**key words:** algorithm, grasshopper, parameterization, land use and occupation.

### 1. INTRODUÇÃO

Os métodos de produção do projeto arquitetônico são tão variados quanto às percepções e as vivências dos profissionais da área, sendo praticamente impossível traduzir ou estabelecer um método que seja aplicável universalmente. No entanto, entende-se que, temporalmente, existem temas que exercem uma atração focal e que fomentem o estudo e pesquisa, revelando novas formas de se conceber a arquitetura, atendendo as demandas da época.

É possível notar este fato na arquitetura medieval, que orbitava a representação divina e o poder religioso, na arquitetura barroca, exaltando o poder monárquico, no modernismo, ao atender os anseios de uma sociedade industrial regida por uma escala de produção em série e contemporaneamente, na influência da revolução tecnológica, construção de realidades virtuais e interação destas por meio de tecnologias de realidades aumentadas.

Segundo Baldwin (2019), toda esta interação e a utilização de Inteligência Artificial (IA) na elaboração de projetos arquitetônicos já denota uma mudança na forma que se conhece a arquitetura, pois com sistemas e ferramentas é possível simular edificações e situações específicas antes da construção, permitindo repensar as etapas do processo de projeto.

Liang e Wenshun (2019) corroboram ao mencionar que o projeto proveniente de parametrização de dados é aplicado na resolução de problemas complexos e que este modelo tem potencial de afetar profundamente a indústria arquitetônica, auxiliando no seu desenvolvimento e na qualidade.

Schumacher apud. Heidari et al (2018) disserta que está em curso um novo movimento arquitetônico definido como Parametricismo que se expressa tanto

no aspecto visual como no aspecto de processo de projeto e que após o modernismo, possivelmente, será o estilo com maior impacto no cenário das edificações globais.

Apesar das incertezas e do receio causado pelo temor quanto ao futuro dos profissionais de arquitetura e também quanto ao crescente número de empresas desenvolvendo softwares paramétricos, verifica-se que os arquitetos não estariam descartados do processo pois ainda seriam responsáveis pela elaboração dos parâmetros a serem inseridos e pelas análises técnicas e estéticas acerca das soluções geradas computacionalmente (BALDWIN, 2019).

Heidari et al.(2018) ainda definem que atualmente pode-se entender que a arquitetura paramétrica encontra-se numa fase denominada “Arquitetura Paramétrica 2.0”, ao notar que alguns arquitetos, nos estudos de concepção, já se utilizavam de parâmetros relacionáveis entre si para desenvolvimento do projeto, a diferença, atualmente, consiste apenas na adoção de tecnologia a esta forma de se produzir arquitetura.

Desta maneira, destaca-se a necessidade de uma formação mais holística da profissão de arquitetos, indo além do conhecimento básico, tendo que buscar novos conhecimentos em outras áreas como a de ciência da computação, para compreender a linguagem de programação e ser possível estabelecer parâmetros de elaboração projetuais.

Para projetos de arquitetura têm-se tornado cada vez mais popular a elaboração de parâmetros arquitetônicos por meio de algoritmos. Segundo Abrantes (2014), o algoritmo é o estabelecimento de uma sequência rígida de etapas com resultados precisos e determinados, sem espaços para ambiguidades. E segundo Henriques (2016) o algoritmo descreve o conjunto de ingredientes necessários e as quantidades necessárias, assim como a série de etapas que conduzem ao resultado esperado.

Os algoritmos organizam ações utilizando estruturas condicionais. Estas estruturas permitem criar ciclos repetitivos associados a processos de decisão, entre outros. Algoritmos podem ser expressos na forma de textos como o Visual Basic.net, conforme figura 1, ou em algoritmos visuais como os do plugin Grasshopper, conforme figura 2. (HENRIQUES, 2016).

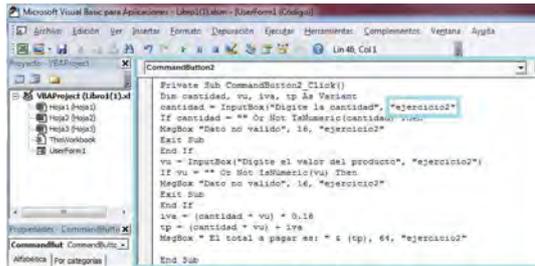


Figura 1 - Script textual (fonte:google)

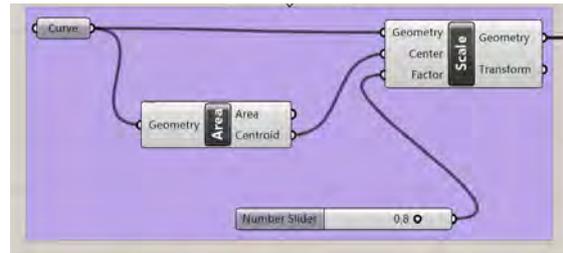


Figura 2 - Script visual (fonte:autor)

Em Zardo (2017), é corroborada esta tendência quanto à utilização de algoritmos na concepção de projetos arquitetônicos, ele disserta que uma das principais razões para que este fenômeno esteja se difundindo em arquitetura se deve principalmente aos softwares que se utilizam da linguagem de algoritmo visual, o que permite que arquitetos, que não possuem em sua formação conhecimentos de programação, possam programar por meio de caixas de comandos de ações próximas às utilizadas na produção de maquetes virtuais, estas últimas, sim, contempladas no curso de graduação.

Nessa pesquisa é apresentada uma lista dos softwares ou plugins mais populares utilizados para este fim, dentre eles se destacam o Dynamo, desenvolvido pela Autodesk, com intercambialidade com o software Revit e o Grasshopper, plugin desenvolvido pela Robert McNeel and Associated com integração direta dentro da interface do software Rhinoceros da mesma empresa. (ZARDO,2017).

O autor (ZARDO, 2017) conclui que entre os dois o que apresenta um maior número de pesquisas realizadas e publicadas é o Grasshopper com 87,5% do total analisado. De acordo com sua conclusão, isto se deve ao fato de que o plugin permite maiores possibilidades de criação geométrica, análise por ferramentas associadas e interface mais intuitiva. Porém o autor pondera quanto às potencialidades do Dynamo na manipulação de dados e criação de parâmetros funcionais em programas BIM, como o Revit.

Em sua pesquisa, Florio (2011) corrobora ao ressaltar como os softwares têm auxiliado os arquitetos, engenheiros e estudantes na criação e análise dos edifícios, principalmente os de forma orgânicas e topológicas complexas que utilizam de geometrias não euclidianas, NURBS (Non Uniform Rational Beta Splines) e parametrização.

É notório que a arquitetura se dirige a um modo operacional baseado em parametrização de forma que questões mais proeminentes e básicas possam

ser desenvolvidas por computadores, deixando a parte gerencial e de criação dos parâmetros com o arquiteto.

De acordo com Florio (2011), arquitetar não se trata mais apenas em lidar sobre elementos geométricos como linhas e planos, trata-se de operar sobre parâmetros que são estabelecidos na raiz da construção geométrica da forma. E pela manipulação, fomentar a realização de construções de grande complexidade.

Usualmente, no processo de elaboração de um projeto de arquitetura, as representações são revisadas e modificadas diversas vezes e a utilização de programas que permitem a geração de parâmetros tem se apresentado como alternativa para uma maior produtividade por meio da redução de longas horas gastas em retrabalhos. (FLORIO, 2011).

A modelagem paramétrica consiste, conforme Hernandez (2006) apud Sanches (2017): “no processo de projetar em um ambiente em que as variações de possibilidades não requerem esforços, substituindo singularidade por multiplicidade no processo de projeto”.

Um edifício e um projeto são compostos por diversos componentes e milhares de peças individuais com múltiplas conexões. Ao se utilizar a modelagem paramétrica (MP), são estabelecidas dinâmicas de agrupamento dos componentes por meio de parâmetros que facilitam a manipulação de acordo com os requisitos do projeto, da edificação e dos clientes. (FLORIO, 2011).

Em outras palavras, as ferramentas computacionais, como o Grasshopper, permitem programar os níveis de dependência entre os componentes de um projeto e por meio do uso de variáveis, chamadas parâmetros, é possível estabelecer regras e criar relações. (FLORIO, 2011).

Eastman (2008) apud Sanches (2017) disserta que os primeiros modelos paramétricos foram criados originalmente nos anos 1980 e justamente a relação de dependência entre os componentes que permite diferenciar modelos BIM de modelos tridimensionais. Para ele, modelos paramétricos se aproximam de uma abstração pois não necessariamente apresentam geometrias e propriedades físicas, mas compõe-se inteiramente de dados e de relações entre estes. Isto permite que se façam ajustes, elimine redundâncias, possíveis inconsistências e detecção de violações e inexequibilidade.

Os modelos paramétricos podem ser classificados em três tipos: o primeiro

consiste em modelos paramétricos por variações, o segundo por combinações e o terceiro modelos híbridos. Modelos por variações paramétricas permitem o ajuste dos parâmetros de partes dos objetos ou dos modelos, normalmente relacionados a variações dimensionais como tamanho, escala e proporções. O segundo modelo por combinações paramétricas, utiliza, por exemplo, de mais de uma forma geométrica estabelecida e define relações de associação entre elas, gerando diversas composições. A modelagem paramétrica híbrida consiste na junção dos dois tipos supramencionados de modelagem, onde as alterações dos parâmetros acontecem tanto nas partes que compõem os componentes dos modelos como na alteração dos parâmetros nas associações provenientes do mesmo, gerando relações estruturais mais robustas e explorações formais mais complexas. (HERNANDEZ, 2006, apud SANCHES, 2017).

Em modelos paramétricos, Eastman (2008) apud Sanches (2017) define cinco tópicos que devem ser explorados: o primeiro a estrutura relacional ou topológica, o segundo a manipulação de atributos ou propriedades, o terceiro a geração de desenhos, o quarto a escalabilidade e o quinto o gerenciamento dos modelos e ligações.

O tópico da estrutura relacional trata do levantamento e reconhecimento das conexões entre os dados que são inseridos, ou seja, definir qual o mecanismo que os conecta e estabelece uma rede de interdependência. O segundo tópico referente a manipulação de atributos e propriedades se destina a compreender as características dos dados e por meio da estrutura relacional, verificar possibilidades de associações e alterações durante o desenvolvimento do projeto. O terceiro tópico consiste na elaboração de desenhos ou representações, e nele, busca-se a criação de documentação (projeto) de maneira confiável e com minimização de erros e redundâncias. O quarto tópico quanto a escalabilidade do projeto se remete ao fato de que é necessário entender em que contexto os dados são adotados, de forma que não haja um detalhamento demasiado e exigência de processamento que exija equipamentos mais robustos e com maior memória. O quinto tópico, gerenciamento dos modelos paramétricos, encontra-se, provavelmente, o principal papel do arquiteto e do engenheiro, pois todas as definições a serem tomadas demandam um pensamento reflexivo acerca de todas as variáveis envolvidas nos demais tópicos e que não podem ser ainda executadas por uma máquina. (EASTMAN,

2006 apud SANCHES, 2017).

O novo papel que o arquiteto vem a exercer demanda dele um perfil de programador de arquitetura, levando em conta toda a edificação e considerando como dados as condicionantes que venham a interferir na sua execução. É notório o crescente número de trabalhos que utilizam modelagem paramétrica, conforme exposto por ZARDO (2017), no entanto a maioria destes trabalhos trata de estudos volumétricos, onde há parametrização dos componentes que estabelecem a forma, conforme apresentado por Florio (2011).

Por outro lado, é observada uma reduzida produção científica que leva em consideração a parametrização de requisitos normativos para o estabelecimento volumétrico, ainda que em alguns trabalhos a análise da adequação formal as normas aconteçam posteriormente pelo pesquisador.

Existem inúmeras normas que poderiam ser parametrizadas e servirem de dados ou restrições de entrada para execução de um projeto arquitetônico. Como exemplo têm-se: os planos de ordenamentos territoriais (PDOT), as normas de gabarito (NGB), as de acessibilidade, as que estabelecem saídas de emergências e até mesmo as normas de desempenho.

Para este trabalho, optou-se por abordar normas definidoras de parâmetros urbanísticos, pois são as que possuem maior influência quanto à definição das dimensões macro de uma edificação, estabelecendo dados como: alturas, áreas máximas e mínimas, recuos e percentual de ocupação num terreno.

Richtofen et al (2018) corroboram com esta abordagem ao definir que um projeto de análise urbana feito com o plugin Grasshopper requer estabelecimento sistemático dos requisitos a serem analisados, transformados em parâmetros e explicitados por meio de algoritmos.

Em específico, no estudo de caso para o Distrito Federal a norma que define os parâmetros de uso e ocupação do solo para os lotes e projeções localizados na Macrozona Urbana do Distrito Federal, fora da área tombada de Brasília é a Lei de Uso e Ocupação do Solo (LUOS), ou Lei Complementar 948/2019, que passou a vigorar no lugar das NGB's.

Conforme art.4º (LC 948/2019) os objetivos da lei são: “propiciar a implementação das estratégias de ordenamento territorial expressas no Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal - PDOT” e “estabelecer metodologia e critérios para definição de parâmetros de uso e ocupação do solo

de projetos de novos parcelamentos do solo compatíveis com a LUOS”.

Os critérios e os parâmetros urbanísticos de implantação da edificação em lote ou projeção são definidos no art. 10º (LC 948/2019), sendo os seguintes: I - coeficiente de aproveitamento básico; II - coeficiente de aproveitamento máximo; III - altura máxima; IV - taxa de permeabilidade mínima; V - taxa de ocupação máxima; VI - afastamento mínimo de frente, de fundo e lateral; VII - subsolo; VIII - marquise; IX - galeria; X - vaga para veículo; XI - tratamento das divisas.

Dentre estes são conceituados os quatro seguintes parâmetros urbanísticos:

O coeficiente de aproveitamento é o índice de construção que, multiplicado pela área do lote ou da projeção, define o seu potencial construtivo, definido como básico e máximo (LC 948/2019. Art. 13).

A altura máxima é a medida vertical entre a cota de soleira e o ponto mais alto da edificação, excluídos os seguintes elementos: caixa d'água e barrilete, castelo d'água, casa de máquina, antena para televisão, para-raios, infraestrutura para redes de telecomunicações, chaminé, campanário, silo, exaustor e condensadora de ar-condicionado e placa solar (LC 948/2019. Art. 15).

A taxa de ocupação é o percentual máximo da área do lote registrada em cartório que pode ser ocupado pela projeção horizontal da edificação ao nível do solo (LC 948/2019. Art. 18).

E os afastamentos mínimos para o lote são as distâncias perpendiculares entre a edificação e as divisas de frente, fundo e laterais. (LC 948/2019. Art. 19).

De todos os requisitos analisados, considera-se que estes quatro possuem maior impacto quanto a implantação da edificação no lote e também gera maior influência na volumetria desenvolvida de um projeto.

### 1.1 Objetivo

- Elaborar algoritmo para parâmetros de uso e ocupação do solo em terrenos residenciais unifamiliares do Distrito Federal, no plugin Grasshopper, do software Rhinoceros.

### 1.2 Objetivos Secundários

- Desenvolver algoritmo aplicável a terrenos da região;
- Viabilizar a pesquisa como fonte de dados para uma possível implementação em *templates* BIM.

## 2. METODOLOGIA

A metodologia do projeto de pesquisa é classificada como Estudo de Caso e segundo Martins (2008), ela é precedida pela exposição do problema e pelo estabelecimento de proposições que são avaliadas por meio dos resultados da pesquisa. Sendo importante, o planejamento com detalhamento dos instrumentos a serem utilizados, dos protocolos a serem executados de forma que a análise dos dados se torne o mais precisa possível e desta forma se construa uma teoria para explicação do objeto, revelando perspectivas que ainda não tenham sido abordadas por estudos semelhantes.

Neste trabalho a metodologia é composta por quatro etapas: a primeira consiste em análise e levantamento de trabalhos de referência sobre o tema e abordagem de tópicos específicos necessários ao entendimento do algoritmo, a segunda etapa consiste no desenvolvimento do algoritmo no software Grasshopper, a terceira etapa consiste na aplicação do algoritmo em três estudos de casos e a quarta etapa consiste na verificação e validação do algoritmo pelos resultados obtidos.

Na primeira etapa foram abordados quatro temas fundamentais para embasamento da pesquisa, descritos na fundamentação teórica deste artigo. O primeiro tema abordado tinha como foco definir o que é algoritmo, o segundo tópico se referia a popularização e aplicação deste tipo de linguagem em projetos de arquitetura, utilizando softwares computacionais, referenciando o Grasshopper. O terceiro tópico consistiu em definir e entender quais os procedimentos para se estabelecer uma Modelagem Paramétrica (MP). O quarto tópico abordado foi estabelecer os parâmetros urbanísticos a serem utilizados como dados de entrada do algoritmo, delimitando, por consequência, a localização dos estudos de caso, Distrito Federal.

Na segunda etapa da metodologia, desenvolveu-se o algoritmo no plugin Grasshopper, inserindo quatro parâmetros urbanísticos descritos na LUOS: Taxa de ocupação, coeficiente de aproveitamento, altura máxima e afastamentos

mínimos obrigatórios. A estes, também, foi adicionado o parâmetro topográfico, de forma que fosse possível a inserção das dimensões dos lotes e declividade.

Na terceira etapa, foram definidos os três lotes dos estudos de caso para a modelagem paramétrica, decidiu-se que todos teriam como Uso e Ocupação do Solo (UOS) a categoria de Residencial Exclusivo (RE) ou Residencial Obrigatório (RO), em que no primeiro há unicamente o uso residencial e no segundo caso, além do uso residencial é facultado o uso não residencial simultaneamente, conforme explicitado no artigo 5º da LUOS (LC 948/2019).

O uso Residencial Exclusivo pode ser subclassificado em três tipos: RE 1 - onde é permitido exclusivamente o uso residencial, na categoria habitação unifamiliar. RE 2 - onde é permitido exclusivamente o uso residencial, na categoria habitação unifamiliar ou habitação multifamiliar em tipologia de casas. E o RE 3 - onde é permitido exclusivamente o uso residencial, na categoria habitação multifamiliar em tipologia de apartamentos ou habitação multifamiliar em tipologia de casas, combinadas ou não. (LC 948/2019).

O uso Residencial Obrigatório classifica-se em duas subcategorias: RO 1 - onde é obrigatório o uso residencial, na categoria habitação unifamiliar, sendo facultado, simultaneamente, o uso não residencial com atividade econômica realizada no âmbito doméstico, não sendo autorizado o acesso independente. RO 2 - lote localizado ao longo de vias de conexão entre conjuntos e quadras, em que é obrigatório o uso residencial, na categoria habitação unifamiliar, sendo facultado, simultaneamente, o uso não residencial exclusivamente no pavimento diretamente aberto para logradouro público e independente da habitação. (LC 948/2019).

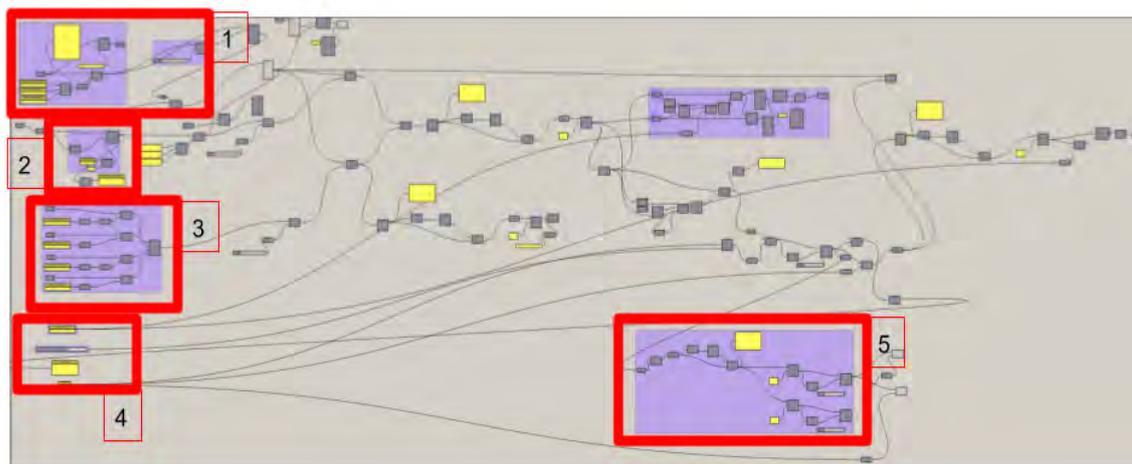
Na quarta etapa foram feitas as considerações a respeito da aplicabilidade e limitações que o algoritmo possui, levantando possíveis pontos de melhoria e futuros estudos.

### 3. O ALGORITMO

O desenvolvimento do algoritmo no plugin Grasshopper, se deu, primeiramente, pela descrição do script de modelagem a partir das informações contidas numa planta baixa topográfica do terreno, dentro de um arquivo dwg exportado do software Autocad para o programa Rhinoceros e por conseguinte, o ativamente do plug-in na interface do programa.

O script do Grasshopper consiste basicamente em representações visuais de caixas de comandos de criação e edição de linhas, planos e volumes, com conectores de dados de entrada (input) e de saída (output).

A linguagem do algoritmo foi desenvolvida em cinco eixos principais, conforme descrito na figura 3, cada um deles representando um dos parâmetros a serem analisados: terreno, taxa de ocupação, afastamentos obrigatórios, altura máxima da edificação permitida e coeficiente de aproveitamento.



**Figura 3** - Algoritmo - Legenda: 1- script terreno 2- script taxa de ocupação 3- script afastamentos obrigatórios 4- script coeficiente de aproveitamento e altura máxima 5- script coeficiente de aproveitamento para índices não inteiros (Fonte: autor)

Procurou-se tornar o algoritmo o mais intuitivo possível de forma que qualquer projetista em arquitetura com um conhecimento mínimo da interface do software pudesse inserir o arquivo fonte e com base nas especificidades normativas para cada lote, realizasse as alterações necessárias em cada um dos parâmetros por meio de uma simples mudança de valores nos campos pertinentes.

No caso, para os scripts do algoritmo referente a modelagem do terreno, foram utilizados os seguintes dados de entrada: definição dos limites do terreno e das curvas de nível. Estas representações gráficas da planta foram transformadas em dados e traduzidas para o plug-in como caixas de elementos de curvas, as quais geraram uma máscara ou cópia gráfica sobre o arquivo inicial, preservando o arquivo fonte (modelagem não destrutiva) e ao mesmo tempo gerando uma informação editável e legível ao programa.

Esta edição pode ser verificada, conforme indicado na figura 4, pelo campo destinado a inserção de valor de altura das curvas de nível, podendo efetuar mudanças automáticas no perfil do terreno com visualização instantânea no

volume resultante, reduzindo assim retrabalho com uma nova modelagem.

Após o estabelecimento do script para a modelagem da superfície do terreno, passou-se ao desenvolvimento do restante da linguagem para cada um dos quatro parâmetros urbanísticos dentro da norma de uso e ocupação do solo.

O parâmetro de taxa e ocupação do solo consistiu no estabelecimento de caixas com comandos de escala em que foi possível estabelecer uma representação gráfica sobre o terreno anteriormente modelado que indicasse graficamente o percentual de ocupação determinado normativamente. Também foi inserida uma caixa de informação na qual é possível verificar também numericamente o valor da área resultante, conforme indicado na figura 5.

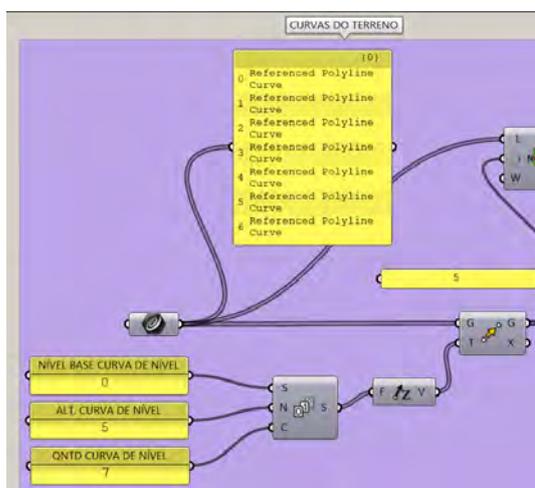


Figura 4 - Script terreno (Fonte: autor)

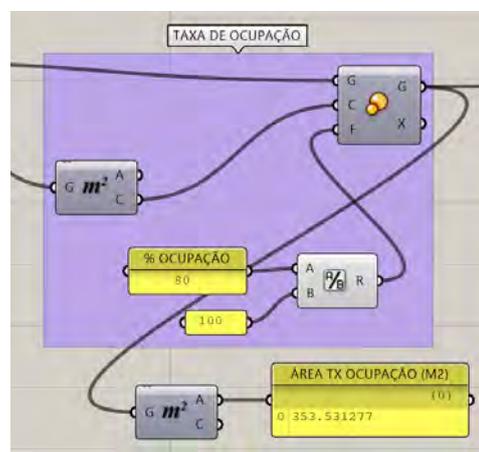


Figura 5 - Script taxa de ocupação (Fonte: autor)

O posicionamento da representação gráfica da taxa de ocupação do terreno acontece, preferencialmente centralizada ao terreno, no entanto procurou-se incrementar o script também com comandos de movimento nos eixos X e Y de forma que se possa testar a posição de uma possível implantação em outras partes do terreno.

O segundo parâmetro inserido no código de linguagem do algoritmo foi o valor para afastamentos obrigatórios dos limites do terreno, em que buscou-se criar caixas de comandos com função de movimento, que permitissem afastamentos de maneira individual para cada uma das linhas representativas dos limites do lote, em acordo com a figura 6.

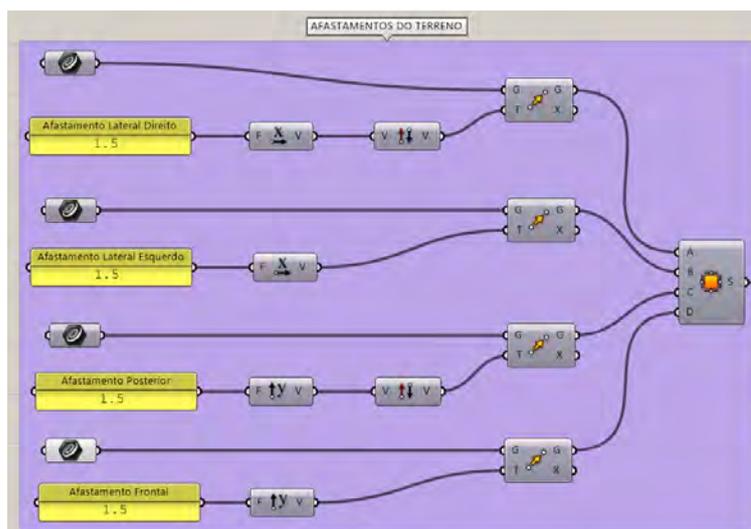


Figura 6 - Script afastamentos obrigatórios (Fonte: autor)

A definição desta parte do script ajustada ao estabelecido no script de taxa de ocupação gerou uma representação gráfica da ocupação do terreno mais acurada, ou seja, servindo como um item de restrição à área a ser ocupada dentro do percentual anteriormente definido e que não pode haver implantação da edificação. Deste modo a representação gráfica da taxa de ocupação deste item fica reduzida caso se sobreponha com a área dos afastamentos.

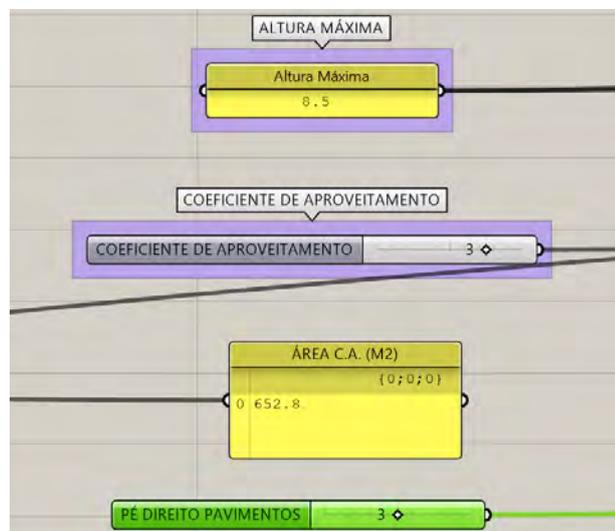
Para a parametrização do requisito coeficiente de aproveitamento, que demonstra qual a área máxima que uma edificação poderia ter dentro da área base da taxa de ocupação, o algoritmo utiliza de caixas com comandos de movimento seriado de maneira a gerar planos dos pavimentos, referenciando a posição e a área gerada no plano ou superfície da taxa de ocupação.

Como dados de entrada para esta parte do script foram utilizadas a taxa do coeficiente de aproveitamento e a altura do pé direito dos pavimentos, conforme expressado na figura 7. Também foi adicionado uma caixa de informação para demonstração da área total de todos os pavimentos, que poderá ser usada em conferências.

Ainda com relação ao script do coeficiente de aproveitamento, foi elaborada uma ramificação do algoritmo para que o mesmo possa abarcar índices com valores numéricos não inteiros e produza volumetrias com pavimentos com distinção de áreas.

O último item parametrizado no algoritmo, refere-se a altura máxima permitida para a edificação. Para isto no script, foi gerado um campo onde é possível inserir o valor desta altura, conforme figura 7, que resulta na

representação gráfica de um volume que indica o limite da edificação dentro dos demais parâmetros abordados anteriormente.



**Figura 7** - Script coeficiente aproveitamento e altura máxima (Fonte: autor)

Esta altura máxima leva em consideração o ponto médio central do terreno o que equivaleria a cota de soleira estabelecida em norma e usualmente fornecida pela administração pública. Este fator é relevante principalmente para terrenos com inclinações consideráveis, a fim de evitar projeções das edificações situadas acima dessa marcação.

A parametrização desses requisitos permite ao projetista, em etapas iniciais, a testagem de diversos percentuais de ocupação para um lote, de determinação de áreas edificantes, de adequações no terreno e de alturas possíveis, verificando e demonstrando para contratantes e administração pública qual seria a condição mais viável a ser implantada dentro dos limites de norma, auxiliando na justificativa quanto ao partido pretendido.

Outra vantagem ao se parametrizar estes itens consiste em permitir ao analista do projeto ter uma visão rápida da conformidade do projeto quanto a norma e também ao projetista efetuar as alterações em etapas posteriores do projeto sem ter de refazê-lo completamente desde o início e implementar medidas corretivas.

#### 4. ESTUDOS DE CASO

No intuito de verificar a validade, atestar as aplicações e as limitações do algoritmo de parametrização da norma de uso e ocupação do solo do Distrito Federal, foram definidos três lotes de uso residencial situados em cidades

satélites distintas que possuíssem variações quanto aos parâmetros urbanísticos e tipologia formal a serem analisados.

O estudo de caso 1 refere-se ao lote 1, ver figura 8, situado na cidade de Taguatinga, no endereço QNE 2 lote 40, classificado em acordo com a Lei de Uso e Ocupação do Solo, LUOS como RO 2, ou seja, de uso Residencial Obrigatório do tipo 2, destinado a habitação unifamiliar com possibilidade de existência dos demais usos no pavimento térreo.

Para este lote são observados os seguintes parâmetros urbanísticos: taxa de ocupação de 80%, coeficiente de aproveitamento básico igual a 2, altura máxima de 10,5 metros e não há exigências de afastamentos obrigatórios em nenhum dos limites, no entanto, na pesquisa, considerou-se 1,5 metros, que é a distância mínima para que ocorra ventilação e iluminação naturais, segundo o código de edificações do Distrito Federal.

Uma alteração realizada neste terreno foi quanto a sua declividade, onde adicionaram-se, artificialmente, 4 curvas de nível a mais, a fim de atestar a validade do algoritmo para terrenos com inclinações maiores, uma vez que para o desenvolvimento do algoritmo foi utilizado este lote como referência.

O estudo de caso 2 consiste na aplicação dos parâmetros urbanísticos ao lote situado na cidade de Planaltina, no endereço quadra 18, lote 19, na Vila Vicentina, classificado em acordo com a Lei de Uso e Ocupação do Solo, LUOS também como RO 2, ou seja, de uso Residencial Obrigatório do tipo 2.

Optou-se por este lote, por ser de esquina e ter sua morfologia distinta aos lotes padrões retangulares, possuindo uma forma triangular e sendo composto por cinco extremidades. A intenção ao escolhê-lo consistia em verificar se o algoritmo seria aplicável também a terrenos não usuais.

Para o Lote 2, ver figura 8, são observados os seguintes parâmetros urbanísticos: taxa de ocupação de 80%, coeficiente de aproveitamento básico igual a 1,40, altura máxima de 9,5 metros e não há exigências de afastamentos obrigatórios em nenhum dos limites, e, novamente, considerou-se os afastamentos de 1,5 metros.

No estudo de caso 3 aplicou-se o algoritmo a um terreno de chácara com cerca de 9600 metros quadrados de área, e com declividade elevada, de aproximadamente 30 metros, situado no Setor Taquari sob a tutela da administração do Lago Norte, no endereço Quadra 2, conjunto 9A, chácara 4. O

lote é classificado na LUOS como RE 1 - SHTq Tr 1, para lotes de grandes dimensões, em que é permitido apenas o uso residencial unifamiliar.

Para o Lote 3, ver figura 8, são observados os seguintes parâmetros urbanísticos: taxa de ocupação de 15%, coeficiente de aproveitamento básico igual a 0,30, altura máxima de 9,5 metros, afastamento frontal com 5 metros, os afastamentos laterais de 1,5 metros e não há exigências de afastamento de fundos, apesar de se adotar o valor mínimo de 1,5 metros.

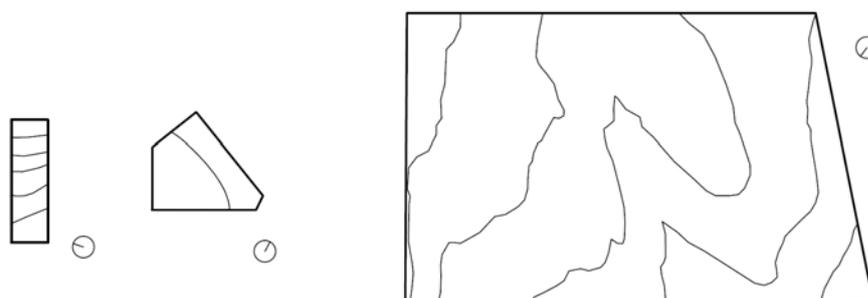


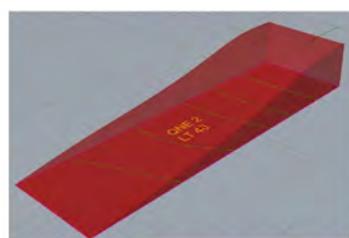
Figura 8 - Lote 1, Lote 2, Lote 3 (Fonte: autor)

## 5. RESULTADOS

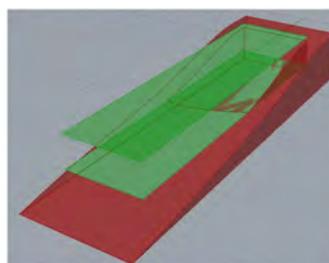
A modelagem do terreno do Lote 1 ocorreu sem ocorrência de distorções, preservando os dados como distâncias e alturas (neste caso de 1 em 1 metro), entre as curvas de nível, gerando uma superfície íntegra, condizente com a representação do arquivo fonte.

É possível constatar, também, a representação de todos os parâmetros urbanísticos que foram analisados, sendo expressos graficamente individualmente ou condicionados a definição da volumetria final obtida pela aplicação de todos os parâmetros em conjunto.

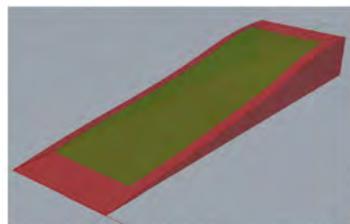
Nas imagens expressas, na Figura 9, percebe-se a identificação gráfica da taxa de ocupação de 80% para o lote, assim como as das taxas de afastamentos de 1,5 metros das extremidades do terreno sobre a superfície do terreno gerada pelo algoritmo.



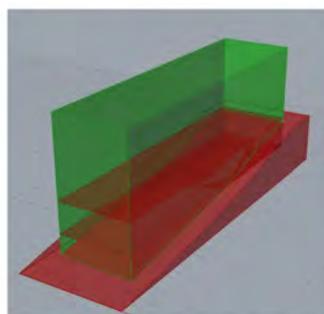
Lote 1 - volumetria do terreno



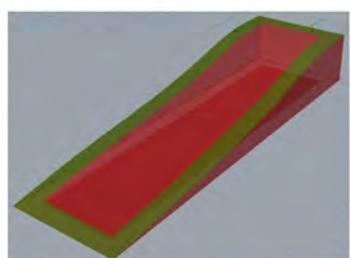
Lote 1 - coeficiente de aproveitamento =2



Lote 1 - indicação taxa de ocupação =80%



Lote 1 - indicação de altura máxima = 10,5m e volumetria final definida dentro dos parâmetros de norma.



Lote 1 - afastamentos adotados =1,5m

**Figura 9** - Resultados da aplicação do algoritmo no Lote 1 demonstrando os parâmetros urbanísticos

Vale ressaltar que devido aos afastamentos obrigatórios a área resultante ( $217,00\text{m}^2$ ) da taxa de ocupação ficou ligeiramente menor que a definida em norma ( $272,00\text{m}^2$ ), o que causou também redução no cálculo da área total da edificação ( $434,00\text{m}^2$ ) estabelecido pelo coeficiente de aproveitamento, resultando num valor distinto ao valor máximo ( $544,00\text{m}^2$ ), porém em ambos os casos ainda encontram-se contemplados em norma.

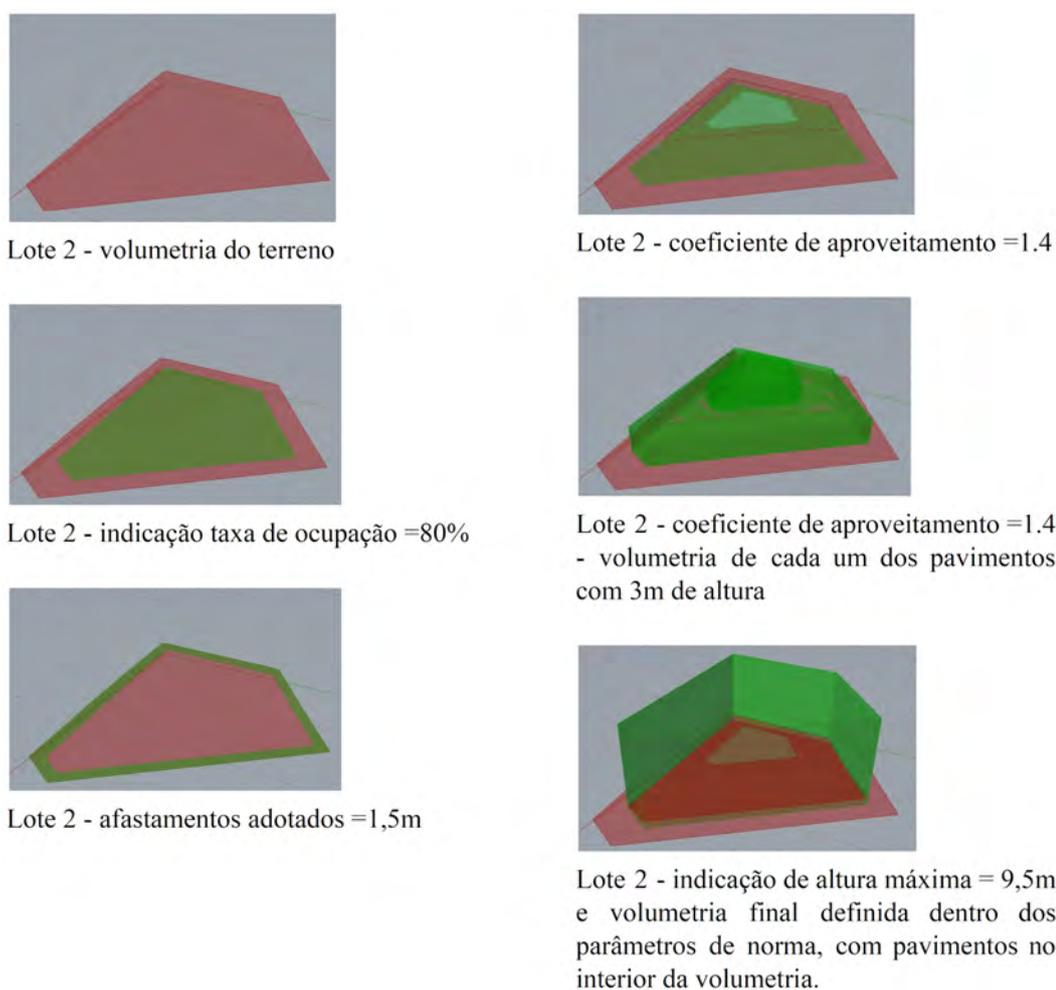
No entanto como o afastamento de 1,5 metros não é obrigatório caso não haja abertura em determinada fachada é possível reduzir o valor deste afastamento ou até mesmo anulá-lo ao encostar a edificação em um dos limites laterais do terreno e assim obter os valores máximos de taxa de ocupação e coeficiente de aproveitamento para o Lote 1.

Ainda pela aplicação do algoritmo no Lote 1, na Figura 9, sucede-se a representação do coeficiente de aproveitamento igual ao valor de 2, apresentado como planos de pavimentos sobre a área proveniente da marcação da taxa de ocupação. E por último a geração volumétrica de uma possível solução edilícia

considerando a altura máxima, para o lote, de 10,5 metros com indicação dos pavimentos no seu interior.

No segundo estudo de caso, o algoritmo também foi capaz de gerar uma superfície fiel aos dados do arquivo fonte, ainda que o seu perímetro não fosse usual (retangular). A representação considerou ainda a pequena inclinação em aclave de 2 metros em seu interior.

Na figura 10, pode-se perceber, que ao contrário do Lote 1, no Lote 2 não houve uma sobreposição das áreas da taxa de ocupação de 80% (441,60m<sup>2</sup>) e dos afastamentos de 1,5 metros e, portanto, a área resultante (618,24m<sup>2</sup>) para a aplicação do coeficiente de aproveitamento não se tornou reduzida.



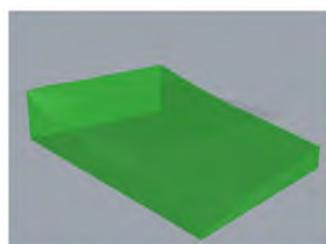
**Figura 10** - Resultados da aplicação do algoritmo no Lote 2 demonstrando os parâmetros urbanísticos

Possivelmente, a grande questão a ser resolvida no Lote 2, não era necessariamente o seu formato, mas o índice do coeficiente de aproveitamento que consiste em um número não inteiro, igual a 1,4. Este valor indica que um dos pavimentos deve ou pode possuir uma área igual a da taxa de ocupação, no

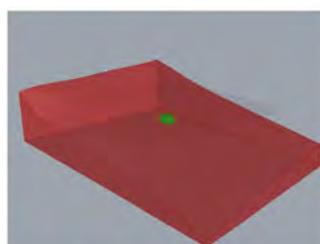
entanto o segundo pavimento poderia possuir somente 40% desta área, o que obviamente resultaria numa volumetria não retangular ou se retangular com a presença de vazios no plano do segundo pavimento.

Desta forma, a solução foi criar uma ramificação dentro do algoritmo que abarcasse o CA de números não inteiros e o resultado gráfico é a alteração de área que ocorre entre o primeiro e o segundo pavimentos da edificação, gerando uma volumetria piramidal ou uma volumetria com altura máxima de 9,5 metros da norma, sendo o segundo pavimento uma área reduzida em seu interior, referindo-se a 40% (176,64m<sup>2</sup>) da área do primeiro, conforme figura 10.

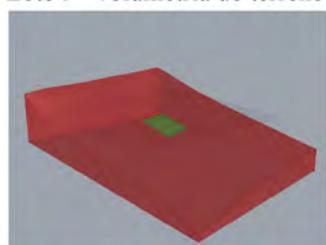
Para o terceiro estudo de caso, no Lote 3, ao contrário dos lotes anteriores que possuíam uma inclinação ascendente a partir da fachada frontal, este tinha uma inclinação descendente e no script de modelagem do terreno foi necessário fazer ajustes em relação a orientação do terreno e suas curvas de nível no script do programa a fim de gerar a superfície do terreno, conforme demonstrado na Figura 11.



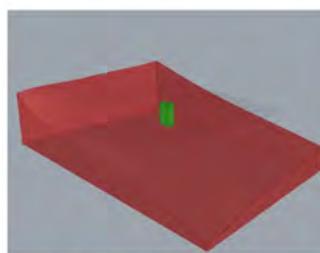
Lote 3 - volumetria do terreno



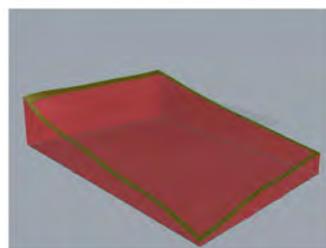
Lote 3 - coeficiente de aproveitamento = 0,3 com pé direito de 3m



Lote 3 - indicação taxa de ocupação =15%



Lote 3 - coeficiente de aproveitamento = 0,3 com pé direito igual a altura máxima de 9,5m



Lote 3 - afastamentos obrigatórios = AF = 5m, AL = 1,5m, AF=0,00m (1,5m adotado)

**Figura 11** - Resultados da aplicação do algoritmo no Lote 3 demonstrando os parâmetros urbanísticos

Devido o lote ter cerca de quase 1 hectare de área, a representação da área da taxa de ocupação, de 15% (1456,00m<sup>2</sup>), e das áreas dos afastamentos frontais (5 metros) e laterais (1,5 metros) tornaram-se menos destacados em relação à dimensão total. No entanto demonstram a potencialidade da implantação da residência em diversos pontos dele.

O coeficiente de aproveitamento para o terreno consiste em 0,3 da área da taxa de construção o que equivaleria a 437,00m<sup>2</sup> de área construída, o que é bastante considerável para uma habitação unifamiliar, mas, novamente, a representação torna-se minúscula ao comparar com o terreno. Na figura 11, foram feitas duas apropriações da área construída, a primeira com a altura de um pavimento de 3 metros e a segunda com a altura máxima de 9,5 metros. Deve se dizer que esta residência poderia ter mais de um pavimento desde que houvesse redução na área ocupada pelos pavimentos e não ultrapassasse o limite de altura.

### 6. CONCLUSÕES

Como descrito no objetivo principal, acredita-se que a pesquisa obteve êxito ao desenvolver o algoritmo e inserir no script de programação todos os parâmetros urbanísticos das normas de uso e ocupação do solo, que se propõe, dentro da realidade do Distrito Federal.

Pela aplicação do algoritmo nos estudos de casos verificou-se que o algoritmo de um modo geral atende e contempla os parâmetros urbanísticos. Foi possível demonstrar, extrair e parametrizar as informações quanto às taxas de ocupação, de altura máxima permitida, de afastamentos, de potenciais construtivos e de diferentes morfologias topográficas de terrenos.

Ao se parametrizar tais informações, gerou-se uma volumetria arquitetônica residencial que ainda que demande um maior desenvolvimento de um ponto de vista conceitual e projetual, atende perfeitamente aos principais requisitos normativos.

No entanto vale salientar limitações e cuidados que devem ser tomados na aplicação do algoritmo, principalmente no que tange a organização das informações e também o nível de domínio dos softwares que serão usados.

Um fator positivo em relação a interoperabilidade é que os arquivos

compartilhados entre os softwares Autocad e Rhinoceros não sofrem perdas de dados relevantes e os transmitem com fidelidade e precisão, ainda que pertencentes a empresas concorrentes.

Como exemplo de organização, pode-se citar que é necessário que o arquivo fonte, no formato .DWG, tenha separadamente organizado o contorno do terreno e as curvas de nível em *layers* distintos, ainda que para isto haja duplicidade de representações nele, a fim de que ao exportar o arquivo, possa atribuí-los separadamente aos campos devidos no algoritmo, sem prejuízos provenientes do conflito de dados. E com isto é importante saber gerir os *layers* no Rhinoceros.

Deve-se citar ainda que no arquivo CAD a representação do terreno esteja preferencialmente desenhada próxima às coordenadas 0,0,0 do programa de maneira que seja exportado para a mesma posição no programa Rhinoceros.

Outro fator importante é ter o entendimento que as modelagens ou alterações que porventura aconteçam no algoritmo devem sempre levar em consideração caixas de comandos entre componentes iguais de mesma natureza, ou seja, se as modelagens acontecem dentro da lógica de superfícies do tipo *nurbs*, deve-se evitar trabalhos com superfícies do tipo *mesh*, no intuito de evitar alterações nestes formatos constantemente e erros por incompatibilidade.

Ainda dentro da lógica do algoritmo é necessário ter algum domínio do plugin Grasshopper pois dependendo do tipo de terreno é necessário fazer alterações quanto a orientação do arquivo, como exemplo o limite da fachada frontal deve sempre ser colocado sobre o eixo de coordenadas X e o limite de fundos com deslocamento positivo no eixo Y. Do contrário seria necessário rever o sentido de deslocamentos dentro do algoritmo para os afastamentos obrigatórios.

Para terrenos multifacetados é necessário agrupar as linhas de representação dos seus limites de forma que sejam definidas quatro fachadas principais a fim de introduzi-las dentro do script de afastamentos do terreno.

Como principais pontos de melhoria para o algoritmo, considera-se que possa haver, ainda, uma maior integração entre os scripts dos parâmetros urbanísticos, principalmente quanto ao parâmetro coeficiente de aproveitamento com índice de números não inteiros. Outro ponto seria com relação ao aprimoramento de algumas relações do algoritmo quanto a orientação da planta.

E o último ponto consistiria em desenvolver a estética da interface dos modelos gráficos apresentados pelo algoritmo e com isto providenciar estudos mais aprofundados da tipologia arquitetônica a ser adotada.

Como aplicações práticas, o algoritmo pode ser utilizado como instrumento de ensino ao ter de explicar a estudantes as normas urbanísticas e como seria possível trabalhar tais parâmetros para se obter volumetrias e implantações mais complexas.

Ou ainda como documentação para embasamento de projeto junto aos clientes e administração pública, principalmente nas etapas iniciais de aprovação de projeto arquitetônico como, Consulta Prévia e Viabilidade Legal, previstas no código de edificações do DF, quando, justamente, são analisados o cumprimento aos parâmetros urbanísticos. As representações gráficas geradas pelo algoritmo poderiam ser utilizadas como croquis, em que são expressas as intenções projetuais e que servem como documentação nesta etapa da aprovação.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRANTES, Paulo César. **Método e ciência: uma abordagem filosófica**. 2a Edição. Belo Horizonte, MG: Fino Traço, 2014.

BALDWIN, E. **Futuros da BuildTech: inteligência artificial e machine learning**. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/924918/futuros-da-buildtech-inteligencia-artificial-e-machine-learning>>. Publicado em: 18/09/2019.

DISTRITO FEDERAL. **Lei Complementar nº 948, de 16 de Janeiro de 2019. Lei de uso e ocupação do solo**. Disponível em: <[http://www.buriti.df.gov.br/ftp/diariooficial/2019/01\\_Janeiro/DODF%20012%2017-1-2019%20SUPLEMENTO%20A/DODF%20012%2017-01-2019%20SUPLEMENTO%20A.pdf](http://www.buriti.df.gov.br/ftp/diariooficial/2019/01_Janeiro/DODF%20012%2017-1-2019%20SUPLEMENTO%20A/DODF%20012%2017-01-2019%20SUPLEMENTO%20A.pdf)>. Acesso em: 18 set. 2019.

FLORIO, Wilson. **Modelagem paramétrica, criatividade e projeto: duas experiências com estudantes de arquitetura**. Gestão e Tecnologia de Projetos [ISSN: 19811543] DOI: 10.4237/gtp.v6i2.211 Volume 6, Número 2 | Dezembro, 2011.

HEIDARI, A.; SAHEBZADEH, S.; SADEGHFAR, M.; ERFANIAN TAGHVAEI, B. **Parametric architecture in it's second phase of evolution**. Journal of Building Performance, ISSN: 2180-2106, Volume 9 Issue 1 2018.

HENRIQUES, G. C. **Arquitetura algorítmica: Técnicas, processos e fundamentos**. IV ENANPARQ - Encontro da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Porto Alegre, 25 a 29 de Julho de 2016.

LIANG, Z.; WENSHUN, W. **Parametric architectural design based on optimization algorithm**. Engineering Heritage Journal - GWK, pg. 13-17, 2019.

MARTINS, G. de A. **Estudo de caso : uma estratégia de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2008.

RICHTHOFEN, A.; KNECHTA,K.; MIAO, Y.;KÖNIG,R. **The ‘Urban Elements’ method for teaching parametric urban design to professionals**. Frontiers of Architectural Research 7, pg. 573–587. Southeast University, 2018.

SANCHES,Leonardo. **Parametrização e sistemas generativos como apoio à tomada de decisões em projetos de arquitetura aplicados à legislação urbana da cidade de Juiz de Fora**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Juiz de Fora,2017.

ZARDO,P; DA SILVA, J.L.; MUSSI, A.Q. **Dynamo e Grasshopper: difusão científica e popularidade entre usuários**. X Mostra de Iniciação Científica e Extensão Comunitária, 2017.

