



## **Algoritmo adicionado ao planejamento urbano e ambiental:**

### **Otimização multiobjetivo do trecho da Via Transbrásília**

*Algorithm aided to urban and environmental planning:*

*Multi-objective optimization of the Via Transbrásília section*

*Algoritmo agregado al proyecto urbano y ambiental:*

*Optimización multiobjetivo del tramo Via Transbrásília*

MARON, Marco Aurelio de Lima<sup>1</sup>

GÓES, Thiago Montenegro<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-graduação em Reabilitação Ambiental Sustentável, Arquitetônica e Urbanística - Reabilita. Brasília, DF, Brasil.

marcoadlmaron@gmail.com

ORCID: 0000-0002-6628-8858

<sup>2</sup> Universidade Federal de Goiás, Unidade Acadêmica Especial de Ciências Sociais Aplicadas, Curso de Arquitetura e Urbanismo. Cidade de Goiás, Goiás, Brasil.

thiago\_goes@ufg.br

ORCID: 0000-0002-5745-229X

Recebido em 15/02/2022 Aceito em 07/08/2022



## Resumo

Durante o processo de planejamento urbano, a morfologia é comumente padronizada e, muitas vezes, não leva em conta a diversidade de fatores que compõem o ambiente construído, o que prejudica a performance ambiental e sua viabilidade comercial, uma vez que a influência do contexto urbano e os parâmetros urbanísticos interferem diretamente nos níveis de radiação, iluminação natural e potencial construtivo. O presente trabalho visa desenvolver uma forma urbana para a Via Transbrásília por meio da otimização de quatro objetivos: amenizar a incidência de radiação solar para redução de carga térmica, o melhor aproveitamento da luz natural, a maximização de área construída e a verticalização para valorização imobiliária. O objeto de estudo escolhido é a área da futura ocupação da Via Transbrásília, por entender que se trata de intenção de ocupação que não possui loteamento efetivo e não foi consolidada e, portanto, ainda cabem melhorias nas leis de uso e ocupação do solo. Foram criados cinco cenários controle de morfologias homogêneas que servem como base de comparação para os 900 cenários gerados a partir da análise evolutiva com o *plug-in* Wallacei. Os cenários foram criados com os *softwares* Rhinoceros e Grasshopper. Para todos eles, foram executadas simulações de radiação e iluminação natural usando as ferramentas Ladybug e Honeybee. A área e o número de pavimentos foram analisados pelo Grasshopper. Os estudos abrangeram todas as edificações dentro da área de estudo. Os resultados mostram que morfologias homogêneas não conseguem contemplar todos os objetivos de forma equivalente, já as morfologias com variação entre as edificações têm maior capacidade de atender a diversos objetivos e podem obter uma performance otimizada. Conclui-se que a utilização da análise evolutiva multiobjetivo aliada às simulações computacionais pode ser de grande valia para o planejamento urbano, quebrando o conceito de padronização em massa e viabilizando a personalização dos elementos urbanos. O estudo demonstra é possível utilizar ferramentas computacionais que auxiliem no planejamento de cidades mais equilibradas, que permitam conciliar a performance ambiental e outros parâmetros inerentes ao contexto urbano.

**Palavras-Chave:** Simulação computacional, algoritmo, conforto ambiental, planejamento urbano, otimização evolucionária, análise multiobjetiva.

## Abstract

*In urban planning, morphology is commonly standardized and often does not take into account the diversity of factors that make up the built environment, which can harm environmental and commercial performance, since the influence of the urban context and urban parameters directly interfere with radiation levels (irradiance), natural lighting and constructive potential. The study aims to analyze possibilities of urban occupation that optimize urban morphology, aiming to meet four objectives: alleviating the incidence of solar radiation to reduce thermal load, better use of natural light, maximizing built-up area and verticalization for real estate valuation. The chosen object of study is the area of future occupation of Via Transbrásília, as it is understood that this is an intention of occupation that does not have an effective subdivision and has not been consolidated, and therefore it is still appropriate to improve the laws for the use and occupation of the ground. Five homogeneous morphology control scenarios were created that serve as a basis for comparison for the 900 (nine hundred) scenarios generated from the evolutionary analysis with the Wallacei plugin — for all scenarios were performed radiation and daylighting simulations and area and number of floors analysis, covering all buildings within the study area. The results shows that homogeneous morphologies cannot meet all objectives in an equivalent way, whereas morphologies with variation between buildings have greater capacity to meet different objectives and can obtain an optimized performance. It can be concluded that the use of multiobjective evolutionary analysis combined with computer simulations can be of great value for urban planning, breaking the concept of mass standardization and enabling the customization of urban elements. The study demonstrates that we can use computational tools that help in planning more balanced cities, allowing us to conciliate environmental performance and other parameters inherent to the urban context.*



**Key-Words:** *Computer simulation, algorithm, environmental comfort, urban planning, evolutionary optimization, multi-objective analysis.*

## Resumen

*En la planificación urbana, la morfología se estandariza comúnmente y, a menudo, no toma en cuenta la diversidad de factores que componen el entorno construido, que pueden dañar el desempeño ambiental y comercial, ya que la influencia del contexto urbano y de los parámetros urbanos interfieren directamente en los niveles de radiación, iluminación natural y potencial constructivo. El estudio tiene como finalidad analizar las posibilidades de ocupación urbana que optimizan la morfología urbana, con la intención de cumplir cuatro objetivos: aliviar la incidencia de la radiación solar para reducir la carga térmica, mejor aprovechamiento de la luz natural, maximizar la superficie edificada y la verticalización para la valoración inmobiliaria. El objeto de estudio elegido es el área de la futura ocupación de Vía Transbrasilía, por entenderse que se trata de una intención de ocupación que no cuenta con una subdivisión efectiva y no se ha consolidado, por lo que sigue siendo conveniente mejorar las leyes para el uso y ocupación del suelo. Se crearon cinco escenarios de control de morfología homogénea que sirven como base de comparación para los 900 (novecientos) escenarios generados a partir del análisis evolutivo con el complemento Wallacei - para todos los escenarios se realizaron simulaciones de radiación e iluminación natural y análisis de área y número de pisos, cubriendo todos los edificios dentro del área de estudio. Los resultados muestran que las morfologías homogéneas no pueden contemplar todos los objetivos de forma equivalente, mientras que las morfologías con variación entre edificios son más capaces de cumplir diferentes objetivos y pueden obtener un rendimiento optimizado. Se puede concluir que el uso del análisis evolutivo multiobjetivo combinado con simulaciones por computadora puede ser de gran valor para la planificación urbana, rompiendo el concepto de estandarización masiva y permitiendo la personalización de elementos urbanos. El estudio demuestra que podemos utilizar herramientas computacionales que ayuden a planificar ciudades más equilibradas, permitiéndonos conciliar el desempeño ambiental y otros parámetros inherentes al contexto urbano.*

**Palabras clave:** Simulación por ordenador algoritmo, comodidad ambiental, planificación urbana, optimización evolutiva, análisis multiobjetivo.



## 1. Introdução

A análise do clima contabiliza diversos elementos em conjunto. Segundo Romero (2013), esses fatores podem ser divididos em três grupos. O primeiro é constituído por fatores climáticos globais, os que condicionam e determinam os aspectos gerais, como a radiação solar, latitude, longitude, altitude, ventos e massas de água e terra. O segundo considera os elementos climáticos que variam a cada tipo de mesoclima, como temperatura, umidade do ar, precipitações e movimentos do ar. O terceiro corresponde aos fatores climáticos locais, dando origem ao microclima de um ponto específico da cidade, bairro e rua, seriam eles a topografia, vegetação e tipo de cobertura do solo. O autor ressalta que tais elementos existem em conjunto de forma reativa e que somente são analisados separadamente por questão metodológica.

Romero (2013) cita a urbanização e a mudança da superfície física da terra como fatores de alteração climática. A construção e a pavimentação tornam o solo impermeável, o que aumenta sua capacidade térmica. Esse efeito de ganho e troca de energia térmica entre os volumes construídos ocasiona o aquecimento dos centros urbanos, o que é popularmente conhecido como ilhas de calor.

O microclima é diretamente influenciado pelo contexto físico da análise e leva em consideração fatores locais. A morfologia urbana trata da forma das cidades e suas características e, quando implementada em campo natural, gera alterações no microclima, transformando o ambiente em um local mais ou menos confortável para ocupação humana.

Amaral (2017) cita como elementos fundamentais para o estudo da morfologia urbana a Forma, a Resolução e o Tempo. Segundo a autora, a Forma engloba o relevo, topografia, sistema viário, padrão de lotes e quadras, edificações e espaços abertos. Os elementos formais/físicos criam o cenário e determinam as relações. A Resolução pode ser de diferentes tipos, como o edifício, o lote, a rua, o quarteirão, cidade ou região. Além disso, é determinada pelo objeto de estudo e o objetivo a ser alcançado. O Tempo, por sua vez, trata do período relevante para o estudo e as alterações ocorridas no contexto histórico e evolutivo.

Elshani *et al.* (2021) concluíram que a utilização da geometria como objeto de simulação e instrumento de análise gera a possibilidade da visualização de diversos indicadores de desempenho, além de permitir entender melhor as relações entre diferentes fatores. A facilidade de alteração da volumetria e o reflexo instantâneo nos resultados propicia vantagem durante discussões e especulações em reuniões de planejamento participativo, e ressalta que o contexto urbano é complexo e depende de uma gama de profissionais interdisciplinares.

Durante o processo de implantação urbana existem diversos fatores sociais, culturais e ambientais que moldam as soluções escolhidas. A dificuldade em unir todos esses fatores torna o trabalho extremamente complexo e, de certa forma, subjetivo. Normalmente, a avaliação microclimática urbana é focada nas áreas externas/públicas e deve ser desenvolvida pelo poder público no momento da definição de planos diretores e de ordenamento territorial. Já as áreas internas/particulares tornam-se objeto de outros tipos de estudo, como, por exemplo, voltado para eficiência energética ou para avaliação de impacto de vizinhança, sendo requisitado pelas incorporadoras, construtoras ou proprietários dos imóveis.

A ruptura entre o espaço público e privado não deveria ocorrer, pois ambos são partes determinantes da composição do ambiente construído e têm relação direta com os impactos microclimáticos. Os ambientes internos/privados tendem a corrigir o desconforto térmico de forma mecânica, o que aumenta o consumo energético dos edifícios e também gera distúrbios no microclima local. Isso ocorre porque as máquinas geram e dissipam calor no meio urbano, alterando o microclima. O ar-condicionado resfria o ambiente interno, mas também libera calor para o externo. Isso pode fazer

com que a temperatura do ar externo aumente, gerando um impacto negativo no microclima da cidade.

A geração de diversas morfologias urbanas possibilita avaliar matematicamente, por meio das simulações computacionais, os impactos que serão gerados no ambiente urbano/público e interno/privado de forma simultânea. A integração entre a geração dos cenários e a posterior simulação viabiliza a avaliação multiobjetiva de diversos aspectos (desempenho térmico, lumínico e taxa de horas de conforto). Essa dinâmica tem o potencial de qualificar ambos os ambientes e nortear os parâmetros de uso e ocupação do solo, proporcionando ambiente propício para o desenvolvimento mais sustentável da cidade. O plano de cidade que tenha harmonia climática e que garanta o conforto ambiental entre os espaços público e privado, acarretará em: diminuição do consumo energético; melhoria na saúde e qualidade de vida dos habitantes; equidade entre os espaços urbanos e amortização das diferenças sociais.

Lima (2019) demonstra que é possível valer-se de ferramentas computacionais que utilizem dados objetivos e mensuráveis para a tomada de decisões, pois são capazes de:

- Gerenciar grandes quantidades de informações;
- Realizar tarefas repetitivas e operações matemáticas, algébricas e geométricas, de maneira mais dinâmica, rápida e eficiente que os meios tradicionais;
- Aplicar algoritmos para gerar alternativas de composição entre elementos, e
- Aplicar métricas para analisar e avaliar o desempenho de sistemas.

Lima ressalta, ainda, que

abordagens, métodos e modelos de planejamento urbano que considerem variáveis quantificáveis ou que utilizem parâmetros objetivos para avaliação de desempenho se credenciam como objetos de estudo em que se justifica o uso de estratégias computacionais relacionadas ao uso da lógica algorítmica-paramétrica (LIMA, 2019, p. 25).

Por entender que a composição do conjunto urbano pode favorecer ou prejudicar a qualidade das unidades habitacionais ali inseridas, o objetivo deste trabalho é desenvolver proposta de ocupação urbanística para um novo loteamento no Distrito Federal (DF). O estudo ocorrerá por meio de modelo paramétrico que gere opções de ocupação urbana de diferentes morfologias, em conjunto com análises microclimáticas de Radiação e Iluminância, que possibilitem avaliação e escolha otimizadas que apresentem níveis adequados de conforto ambiental para o local de implantação.

## 2. Método

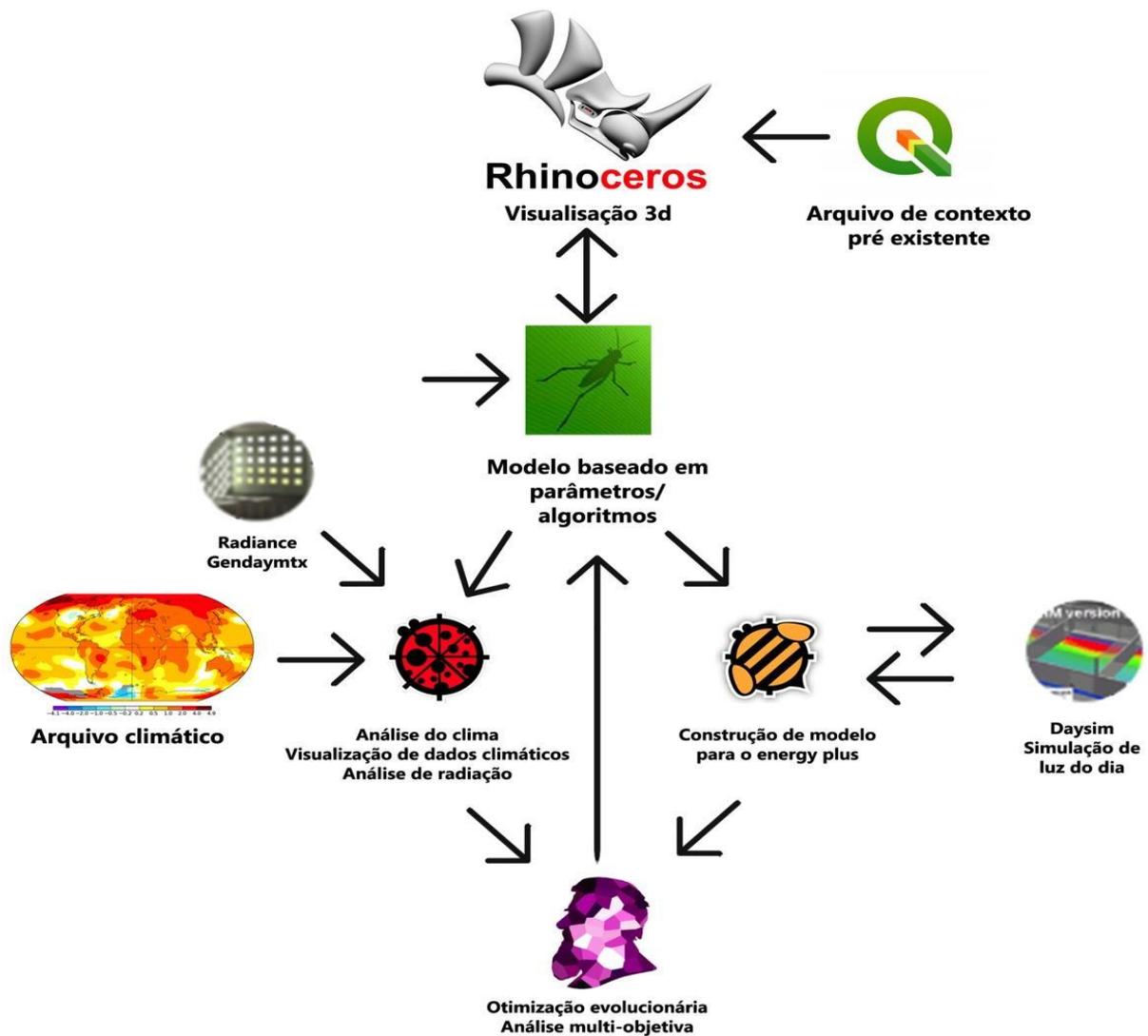
O método se dará por simulação computacional e comparação entre os resultados. As ferramentas Rhinoceros e Grasshopper serão utilizadas para gerar diferentes cenários/possibilidades de ocupação urbana e, ao mesmo tempo, simular radiação e iluminância via *plug-ins* Ladybug e Honeybee. Os múltiplos resultados são avaliados pelo *plug-in* Wallacei que possibilita a filtragem das opções de forma generativa, e otimiza as relações entre os objetivos definidos para o projeto.

A Figura 1 a seguir é um esquema diagramático de como o fluxo de informação ocorre e quais são as ferramentas utilizadas no desenvolvimento do estudo. Os arquivos do tipo .GIS obtidos no Geoportal contêm informações de toda a área do DF. Para reduzir o volume de informação, o conteúdo dos arquivos foi recortado no *software* QGIS e importados no *software* Rhinoceros. Para a execução da modelagem foi utilizado o *plug-in* Grasshopper que possibilitou a geração do volume de análise com

base em parâmetros.

O arquivo climático de tipo .EPW foi adicionado no algoritmo e, por meio dos *plug-ins* Ladybug e Honeybee (que fazem a conexão entre os *softwares* Radiance e Daysim), foi possível realizar as simulações de radiação e luz do dia. O *plug-in* Wallacei recebeu as informações dos resultados de radiação e iluminância que, acrescido dos outros parâmetros de área e altura, possibilitou a análise multiobjetiva. Os resultados numéricos das diversas opções testadas estão no Grasshopper para análise final.

Figura 1: Diagrama do método.



Fonte: do autor (2021).

## 2.1. Sítio de estudo

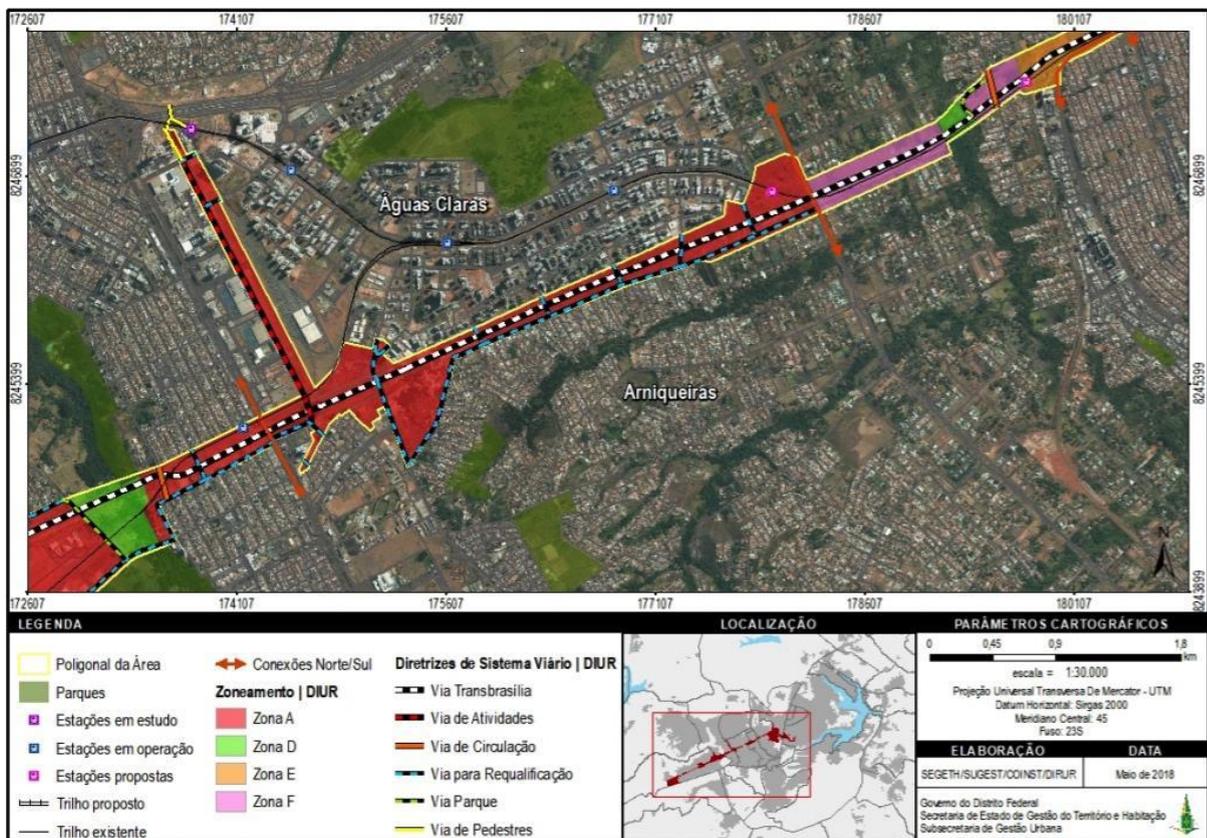
Para o desenvolvimento do estudo, pesquisou-se locais no DF com potencial de ocupação urbanística. O clima de Brasília é tropical de altitude, com duas estações bem definidas: uma quente e úmida (de outubro a abril) e outra seca (de maio a setembro). A primeira é marcada por temperaturas médias entre 22 °C e 28 °C, com alta umidade relativa do ar. Já a estação seca apresenta médias entre 19 °C e 25 °C, com baixa umidade relativa do ar. A temperatura média anual é de 20 °C, com

faixa entre 18 °C e 26 °C.

Na região, o regime pluviométrico anual é de 1.552 mm, sendo dezembro o mês mais chuvoso. A cidade possui uma insolação anual de cerca de 2.370 horas e ventos predominantes do leste durante quase todo o ano, com velocidade média baixa, entre dois e três metros por segundo.

Segundo a Diretiva de Urbanização e Regularização de Imóveis Urbanos (DIUR) 03/2018 (DISTRITO FEDERAL, 2018), pretende-se criar o Eixo de Dinamização da Via Transbrasilía, constituído por grandes ligações viárias e áreas a serem loteadas para fazer a integração do Plano Piloto e a sua extremidade oeste, como mostra a Figura 2 a seguir. A área foi escolhida por ser um trecho de grandes empreendimentos e alta densidade, pois a relação entre os edifícios, ruas e os espaços abertos pode trazer benefícios a um maior número de pessoas.

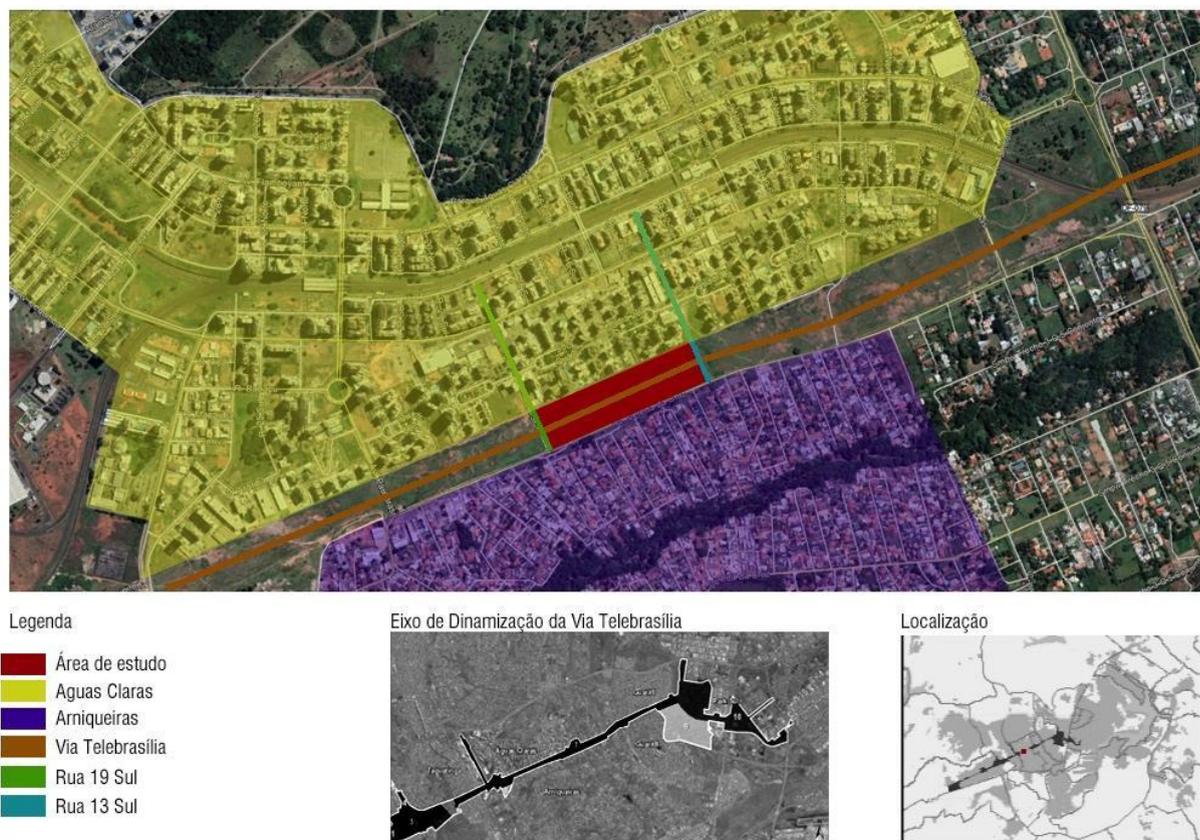
**Figura 2:** Mapa de zoneamento das diretrizes de uso e ocupação do solo e de diretrizes do sistema viário da DIUR 03/2018 – Trecho Guará e Park Sul.



**Fonte:** Distrito Federal (2018).

A utilização de *softwares* de simulação possui o limitante de processamento relacionado à quantidade de pontos de análise: quanto maior a área, maior é a quantidade de pontos para se manter o mínimo de 1 ponto de teste por metro quadrado. Por se tratar de uma espaço imenso, foi delimitada como objeto de estudo uma gleba menor, localizada ao sul da Região Administrativa (RA) de Águas Claras e ao norte da RA de Arniqueira, além de ter a rua 19 Sul como limite no sentido oeste e a rua 13 Sul como limite leste, conforme Figura 3 abaixo.

**Figura 3:** Situação da área de estudo.



**Fonte:** Google Earth.

A área de estudo tem aproximadamente 550 metros de comprimento e 140 metros de largura. Seu entorno norte e sul está consolidado e existe grande variação de altura entre as edificações: ao norte está Águas Claras, composta por edifícios de até 43,5 metros de altura, e o entorno sul tem Arniqueira, composta por casas de até 9 metros de altura. A gleba de estudo pode atingir alturas ainda maiores, como apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1:** Parâmetros urbanísticos do local e adjacências.

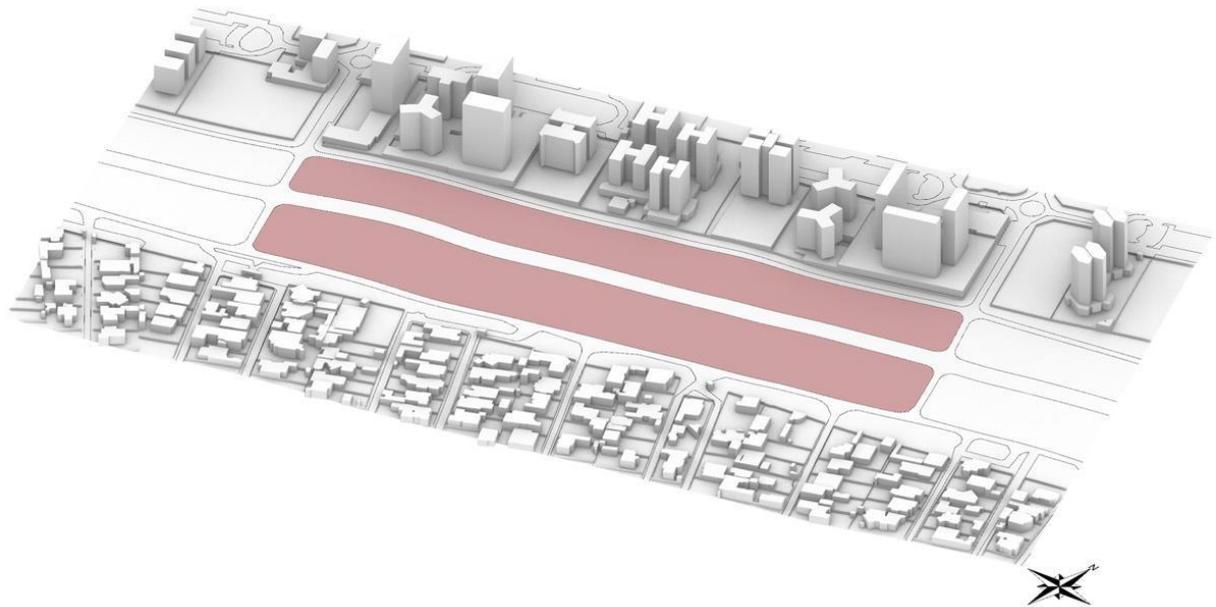
| Localidade     | Norma vigente  | Faixa de área (m <sup>2</sup> ) | CFA B | CFA M | Altura M (m) | Taxa de permeabilidade |
|----------------|--|---------------------------------|-------|-------|--------------|------------------------|
| Águas Claras   | RE3 - LUOS   | 2.000<a<9.500                   | 1,5   | 2,5   | 43,5         | 30%                    |
| Arniqueira     | Zona Residencial - DIUR                                    | 125<a<2.500                     | 1     | 2     | 9            | 20%                    |
| Área do estudo | Zona A Residencial - DIUR 03/2018                          | 1.000<a<5.000                   | 1     | 4     | 57,5         | 10%                    |
| Área do estudo | Zona A - Institucional DIUR 03/2018                        | 15.000<                         | 1     | 3     | 43,5         | 15%                    |
| Área do estudo | Zona A - Comercial/misto prestação de serviço DIUR 03/2018 | 15.000<                         | 1     | 5     | 71,5         | 10%                    |

Legenda: CFA M - Coeficiente de Aproveitamento Máximo; Altura M - Altura Máxima

**Fonte:** do autor a partir de Distrito Federal (2015, 2018, 2019).

Por ter a via Transbrásilia passando no seu ponto médio, a área de estudo foi dividida em duas seções de ocupação, como demonstra a Figura 4, uma próxima em altura aos edifícios de Águas Claras e outra voltada para as casas de baixa altura de Arniqueira. O contexto é relevante para o estudo, pois a influência, principalmente dos edifícios em altura, afeta diretamente os níveis de radiação e iluminância obtidos na simulação.

**Figura 4:** Divisão da área de estudo/ modelo entorno.



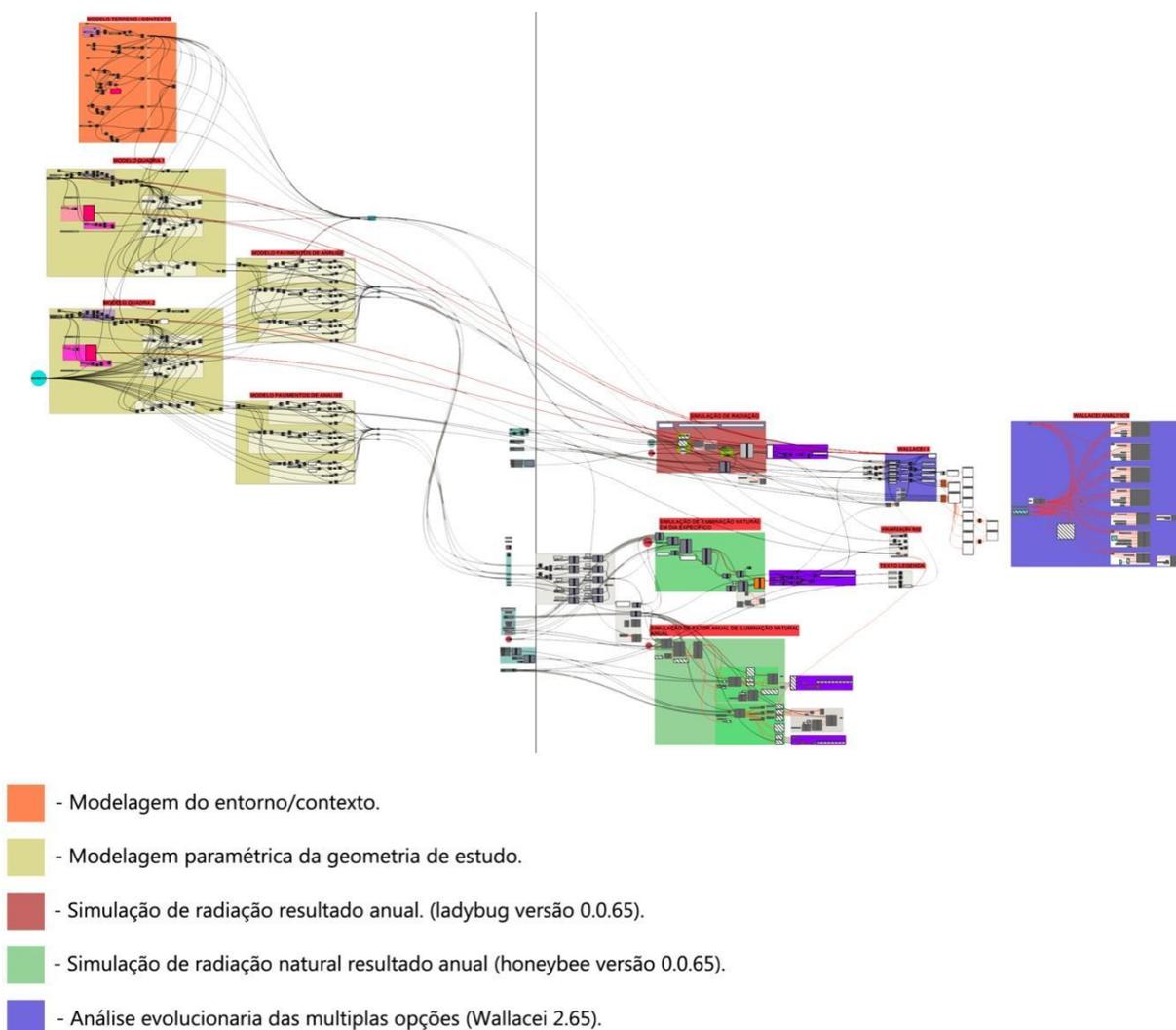
**Fonte:** do autor (2021).

Para a simulação, o modelo do entorno foi elaborado com base nos arquivos obtidos no Geoportal da Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Habitação do Distrito Federal (SEDUH), que compartilha informações como topografia, sistema viário e ocupação urbana. As alturas dos edifícios foram obtidas de forma aproximada a partir de informações no Google Earth. As alturas das edificações de pequeno porte situadas ao sul foram elaboradas com base em parâmetros e variam de 4,5 (valor estipulado como mínimo) a 9 metros seguindo as normas urbanísticas vigentes em Arniqueira, conforme Tabela 1.

## 2.2. Modelo paramétrico da ocupação

Como demonstrado na Tabela 1, os parâmetros de variação dos lotes criados para o modelo de ocupação seguem os limites da DIUR 03/2018 (DISTRITO FEDERAL, 2018), que propõe as regras para a área da futura urbanização da Via Transbrásilia. O trecho de análise é composto por duas faixas de ocupação cujos parâmetros de geração são os mesmos, mas independentes. O tamanho do lote pode variar entre as duas faixas, porém aqueles de uma mesma faixa possuem metragem igual independentemente do parâmetro utilizado.

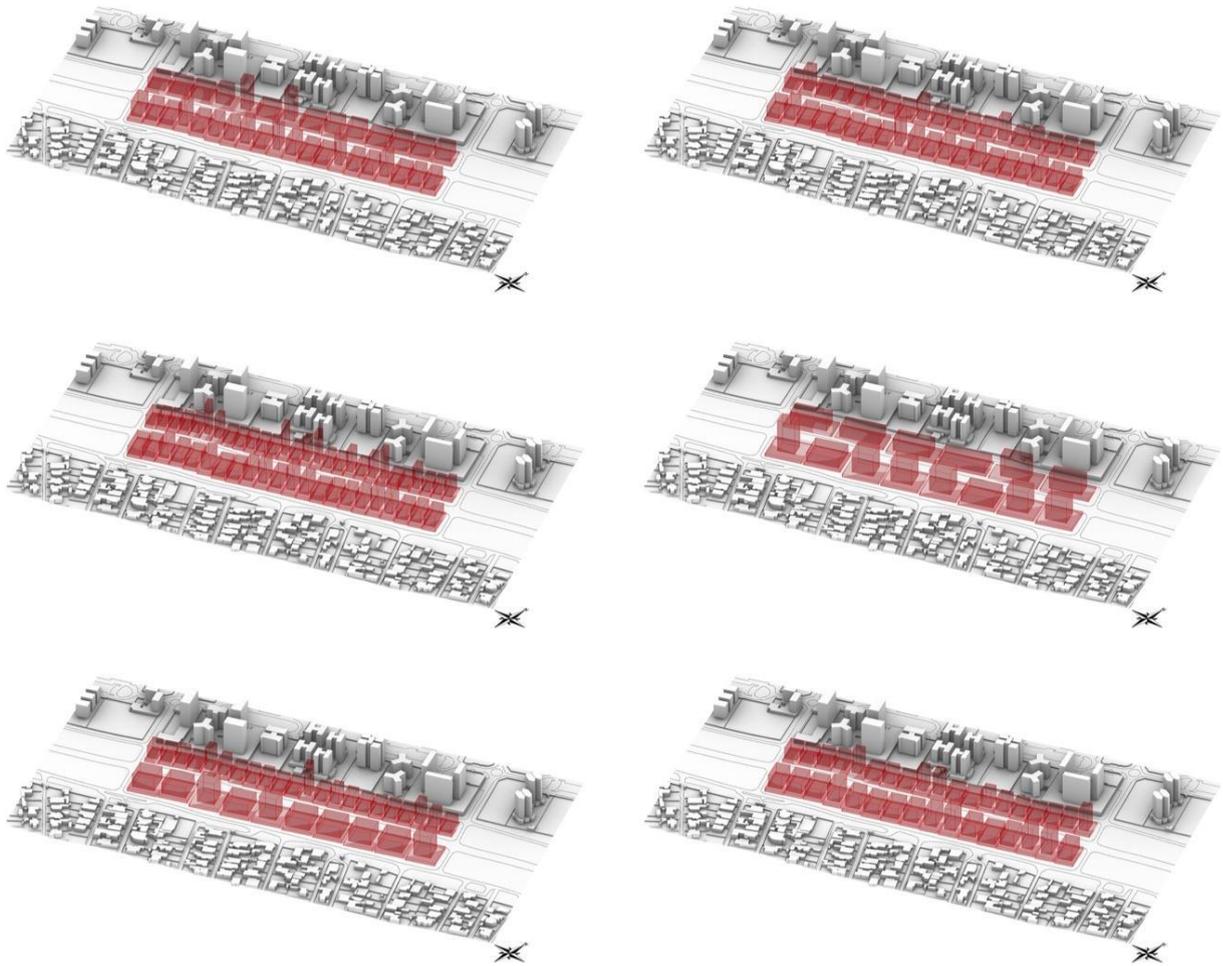
Figura 5: Algoritmo de criação da geometria e análise.



Fonte: do autor (2021).

Para reduzir o universo de possibilidades, a modelagem considera uma ocupação total dos lotes no pavimento térreo respeitando a taxa de permeabilidade, sendo essa taxa o afastamento entre os pavimentos em contato com o solo. As torres foram modeladas como retângulos que seguem as proporções dos lotes e variam a área de sua base e altura de forma a se manterem dentro dos parâmetros máximos de taxa de ocupação e altura. Os parâmetros de entrada possibilitaram a alteração da proporção do retângulo base além da altura dos volumes edificados, permitindo a variação da morfologia de ocupação.

**Figura 6:** Exemplos de morfologia para ocupação.

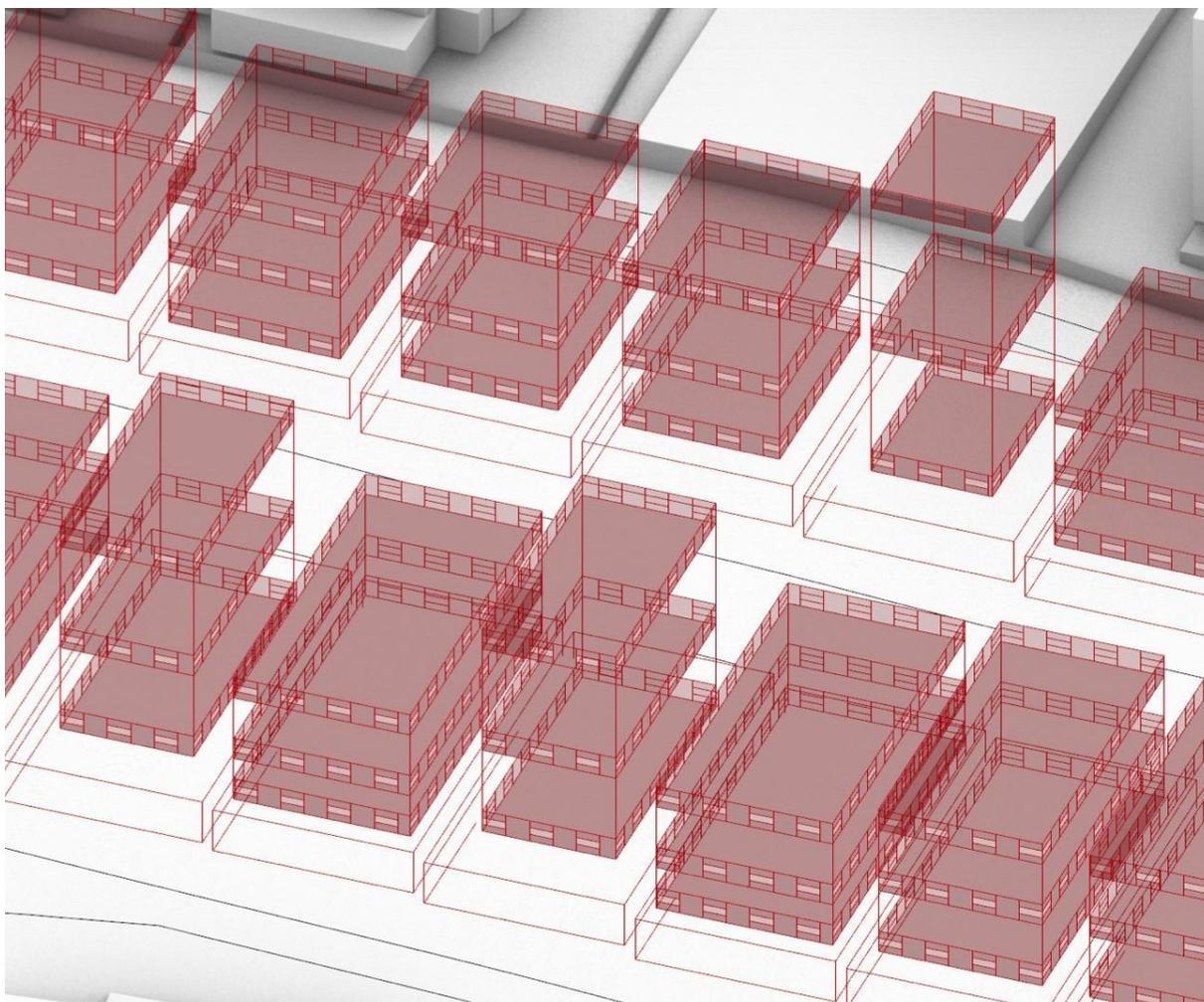


**Fonte:** do autor (2021).

Os volumes foram modelados para representar a envoltória e servir como geometria base para as simulações de radiação. As torres foram divididas em pavimentos de 3 metros de altura do piso ao teto. A área total gerada seria muito grande e inviabilizaria a simulação para todos os pavimentos, pois seriam muitos pontos para teste. Para simplificar o estudo de iluminação natural, foram selecionados somente 3 pavimentos de cada edifício: o pavimento-tipo mais baixo, o mediano e o mais alto, como demonstra a Figura 7 a seguir.

Devido à série de variáveis que alteram a geometria, foi estipulado padrão de abertura das janelas, cuja dimensão é 3 metros de largura por 1 metro de altura, com intervalo de 3 metros de elemento opaco entre elas.

**Figura 7:** Exemplos de pavimentos tipo e aberturas.



**Fonte:** do autor (2021).

### **2.3. Objetivo das simulações**

Os objetivos selecionados possuem características distintas e procuram conciliar a performance ambiental e a demanda comercial e econômica. A Tabela 2 a seguir apresenta os pontos contemplados nas simulações multiobjetivos.

Apesar do clima em Brasília ter momentos de desconforto térmico, no inverno o incômodo é o frio, principalmente quando não há insolação. Já no verão o desconforto se dá pelo calor nos momentos de grande incidência solar. Dessa forma, o objetivo 1 visa a diminuição da radiação solar que reflete na redução de carga térmica nos edifícios.

O melhor aproveitamento da luz natural no interior da edificação proporciona um ambiente mais salubre, por permitir sanitização pela iluminação, e mais eficiente, por reduzir a necessidade de iluminação artificial. O objetivo 2 procura maximizar a porcentagem de horas nas quais os pontos testados encontram-se dentro da abrangência de 300 a 1.000 lux.

O direito à moradia é de suma importância no contexto urbano, assim, adicionar mais área construída



viabiliza a constituição de mais unidades habitacionais que, por sua vez, servem a um número maior de pessoas e famílias. Nesse sentido, o objetivo 3 intenta maximizar a área disponível nas edificações.

A valorização imobiliária demonstra que, em maioria, nos edifícios em altura as unidades mais elevadas têm maior valorização quando comparadas às unidades mais baixas. Por isso, o objetivo 4 procura a maximização do número de pavimentos.

**Tabela 2:** Objetivos de simulação.

|            |   |
|------------|---|
| Objetivo 1 | Minimizar a média dos índices de radiação (Irradiância) na envoltória   |
| Objetivo 2 | Maximizar a porcentagem de tempo de uso do espaço edificado com níveis ideais de iluminação natural (Iluminância) |
| Objetivo 3 | Maximizar a área construída (Direito à moradia)   |
| Objetivo 4 | Maximizar o número de pavimentos (Valorização imobiliária)  |

**Fonte:** do autor (2021).

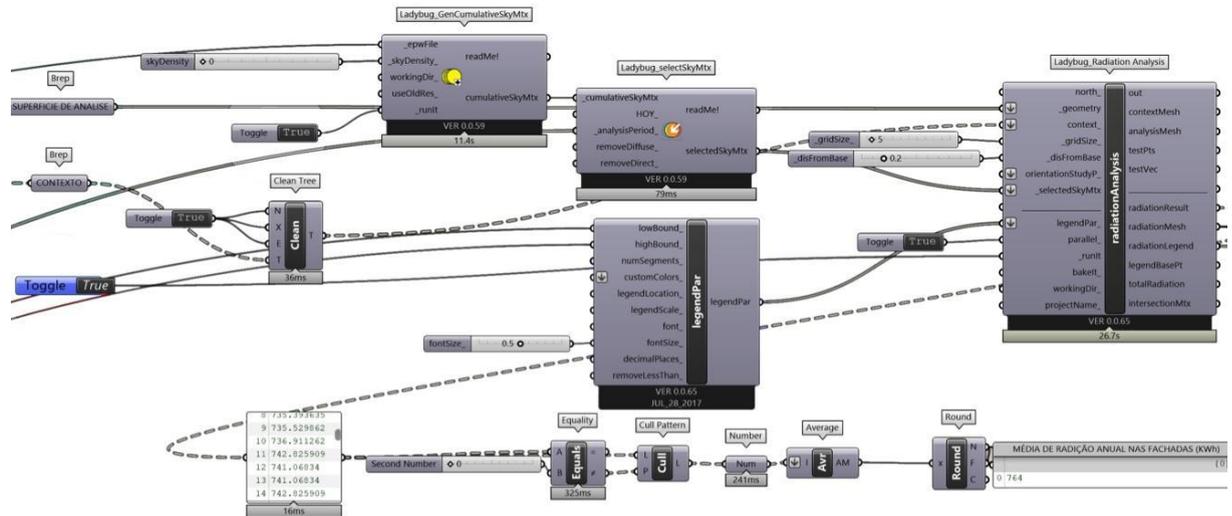
## 2.4. Simulações

No primeiro momento, executaram-se simulações para avaliar o desempenho das opções de ocupação extremas: as que possuem menor e maior altura, menor e maior base, lotes menores e maiores. A simulação dessas morfologias homogêneas serve como controle na comparação com os resultados das opções geradas após a análise evolutiva. Comparando-as podemos identificar quais possibilidades melhor se inserem na área do projeto. Assim, uma sequência de simulações com parâmetros variados também foi executada para ser comparada com as opções otimizadas.

O tempo de cada tipo de simulação varia de acordo com a sua complexidade (resolução da quadricula de análise, número de reflexões, área total do estudo, forma geométrica, materiais etc.) e com o potencial de processamento do computador que executa o cálculo. As simulações têm características diferentes e demandam mais de um componente do computador: alguns tipos de cálculo (por exemplo, a autonomia de luz do dia) utilizam o processador, outros tipos (por exemplo, as renderizações de imagens fotorrealistas) utilizam a placa de vídeo e outras dependem da capacidade de armazenamento da memória (por exemplo, a simulação de radiação solar). Para este estudo, as simulações foram executadas em uma *workstation* Razor com as seguintes características: Processador Ryzen 9 5900x com 12 núcleos e 24 *threads*, memória de 64 GB, placa de vídeo GeForce GTX 1660 Super de 6 GB.

O arquivo climático utilizado nas simulações foi o International Weather for Energy Calculations (IWECC) obtido no site do EnergyPlus. Segundo Scheller *et al.* (2015), o uso de arquivos climáticos no processo da simulação computacional viabiliza a definição de estratégias em projetos para melhorar o conforto, pois permitem identificar as características de conforto e desconforto.

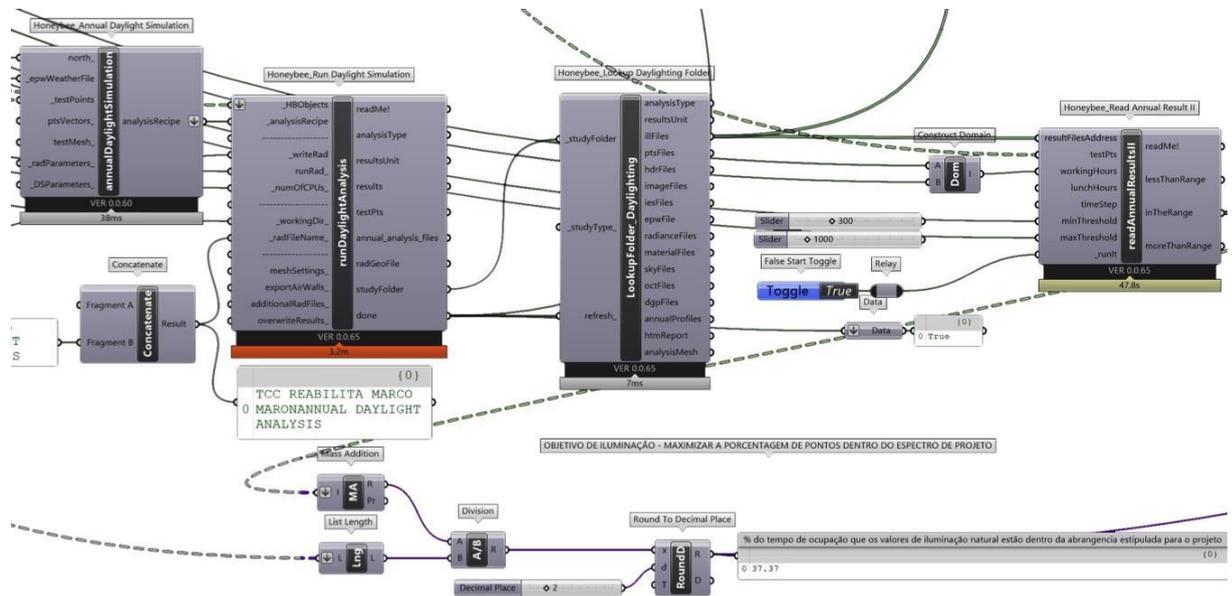
Figura 8: Representação da simulação de radiação no Grasshopper.



Fonte: do autor (2021).

As simulações de radiação foram executadas com os softwares Ladybug/Radiance e visam a avaliar os níveis de radiação na envoltória dos edifícios ao longo do ano, das 8 às 18 horas. A malha de pontos de teste para a simulação tem 5 m<sup>2</sup> e a métrica do resultado é apresentada em kWh/m<sup>2</sup>/ano. A densidade do céu foi 0, gerando uma divisão do domo solar em 145 seções. Os componentes utilizados foram “Ladybug\_gen cumulative sky mtx”, “Ladybug\_select sky mtx” e “radiation analysis”.

Figura 9: Representação da simulação de luz do dia/iluminação no Grasshopper.



Fonte: do autor (2021).

As simulações de iluminação natural foram executadas com os softwares Honeybee/Daysim e visam a avaliar a autonomia de luz do dia no interior da edificação ao longo do ano. A malha de pontos de teste para a simulação tem 5 m<sup>2</sup> e foram utilizadas somente duas reflexões (*Bounces*) dentro do ambiente. Como rotina de ocupação, foi estipulado o período das 8 às 18 horas, todos os dias do ano.



A simulação expõe a porcentagem de horas de uso em que a iluminação natural está dentro da abrangência do projeto, estipulada entre 300 e 1.000 lux. Os componentes utilizados foram “annual daylight simulation”, “run daylight analysis”, “lookup folder\_daylighting”, “read annual results II”.

O objetivo deste trabalho é testar diversas possibilidades de implantação urbana e por se tratar de um estudo preliminar com grande área, as simulações levariam muito tempo para serem executadas com grande resolução (metro a metro ou menor). Por esse motivo, foram construídas com malha de 5 m<sup>2</sup>, resolução mais baixa que permitiu que cada simulação levasse em média 6 minutos para ser gerada.

Os parâmetros e variáveis da análise evolutiva são compostos por 23 Genes (*sliders*) que no total podem apresentar 130 valores distintos e 4 objetivos de aptidão. Esses parâmetros geram um espaço de procura de 2.3e15 ( $2.3e15 = 2.3 \times 10^{15} = 2.300.000.000.000.000$ ), tornando inviável testar todos os cenários possíveis para chegar no ideal.

A análise evolutiva foi executada em 30 gerações com 30 indivíduos (cenários) cada, testou 900 cenários e levou aproximadamente 87 horas e 22 minutos para completar a tarefa.

O resultado gráfico da simulação é demonstrado pela colorização da geometria de acordo com o valor obtido no ponto de análise. A simulação de radiação é representada pela escala do azul ao vermelho, com azul sendo o valor mínimo (0 kWh/m<sup>2</sup>/ano) e vermelho sendo o valor máximo (1.500 kWh/m<sup>2</sup>/ano). A simulação de iluminância, por sua vez, é representada pela escala do preto ao branco, com preto sendo o valor mínimo (0% da quantidade de horas ocupadas ao longo do ano com iluminação entre 300 e 1.000 lux) e branco sendo o valor máximo (100% da quantidade de horas ocupadas ao longo do ano com iluminação entre 300 e 1.000 lux).

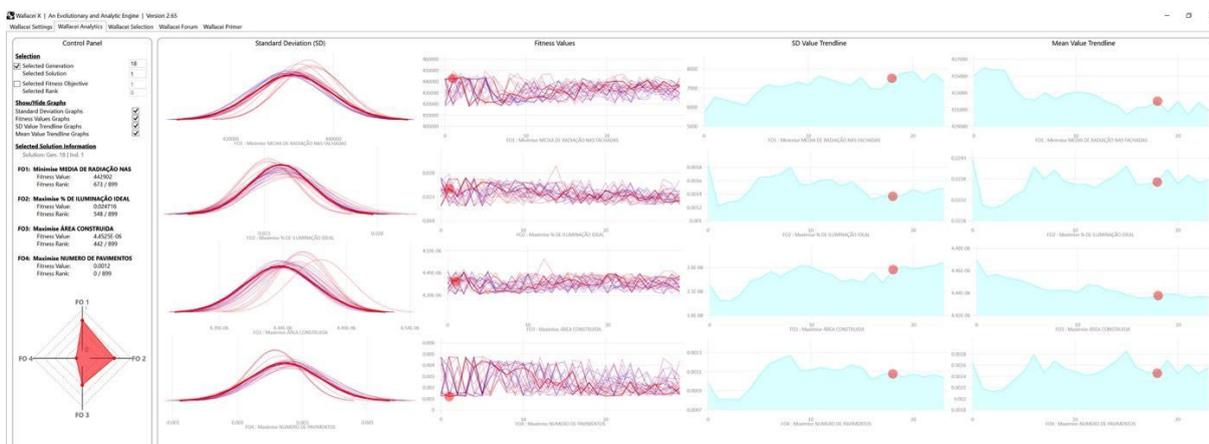
Todos os cenários foram testados utilizando as mesmas abrangências de valor mínimo e máximo, foram salvos como gráficos/geometria dentro do *software* Rhinoceros e também foram salvos os seus respectivos valores numéricos no *plug-in* Grasshopper para permitir a posterior análise visual e quantitativa entre as opções.

Segundo Ekici *et al.* (2019), a análise evolutiva é uma técnica baseada na natureza que ocorre por meio do estudo de uma população ao longo de várias gerações. A primeira geração de indivíduos é escolhida de forma aleatória. A partir dos resultados obtidos e com foco nos objetivos do projeto, os indivíduos mais aptos são selecionados e seus genes são misturados para a composição de uma nova geração. Esse processo de mutação favorece a criação de indivíduos únicos com características diferentes que, com o passar das gerações, se mostram soluções otimizadas para os objetivos do estudo.

### 3.1. Resultados

Segundo Langner (2020), o *plug-in* Wallacei X utiliza o Algoritmo Genético Multiobjetivo – Nondominated Sorting Genetic Algorithm (NSGA) II para a realização de análise evolutiva e para executar otimização multiobjetivo. Isso viabiliza a procura pelo melhor resultado considerando simultaneamente todas as variáveis.

**Figura 10:** Gráficos de otimização – Exemplo do resultado obtido no Wallacei.



Fonte: do autor (2021).

Os resultados numéricos das simulações são armazenados e todos os cenários testados são apresentados em diferentes gráficos, no qual cada linha refere-se a um objetivo e cada coluna é referente a um tipo diferente de gráfico. Segundo Makki, Showkatbakhsh e Song (2019), para todas as soluções da população, da esquerda para a direita, tem-se o gráfico de desvio padrão, valor de aptidão, linha de tendência do desvio padrão e, por último, a linha de tendência da média dos valores.

**Figura 11:** Gráfico diamante – Exemplo do resultado obtido no Wallacei.

**Selected Solution Information**

Solution: Gen. 18 | Ind. 1

**FO1: Minimise MEDIA DE RADIAÇÃO NAS**

Fitness Value: 442902  
Fitness Rank: 673 / 899

**FO2: Maximise % DE ILUMINAÇÃO IDEAL**

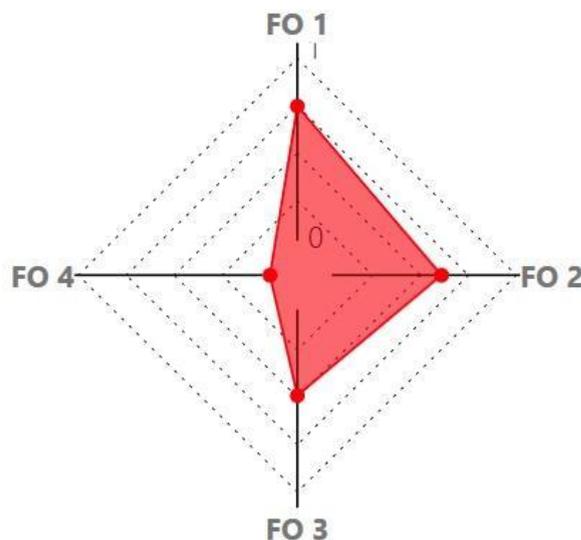
Fitness Value: 0.024716  
Fitness Rank: 548 / 899

**FO3: Maximise ÁREA CONSTRUÍDA**

Fitness Value: 4.4525E-06  
Fitness Rank: 442 / 899

**FO4: Maximise NUMERO DE PAVIMENTOS**

Fitness Value: 0.0012  
Fitness Rank: 0 / 899



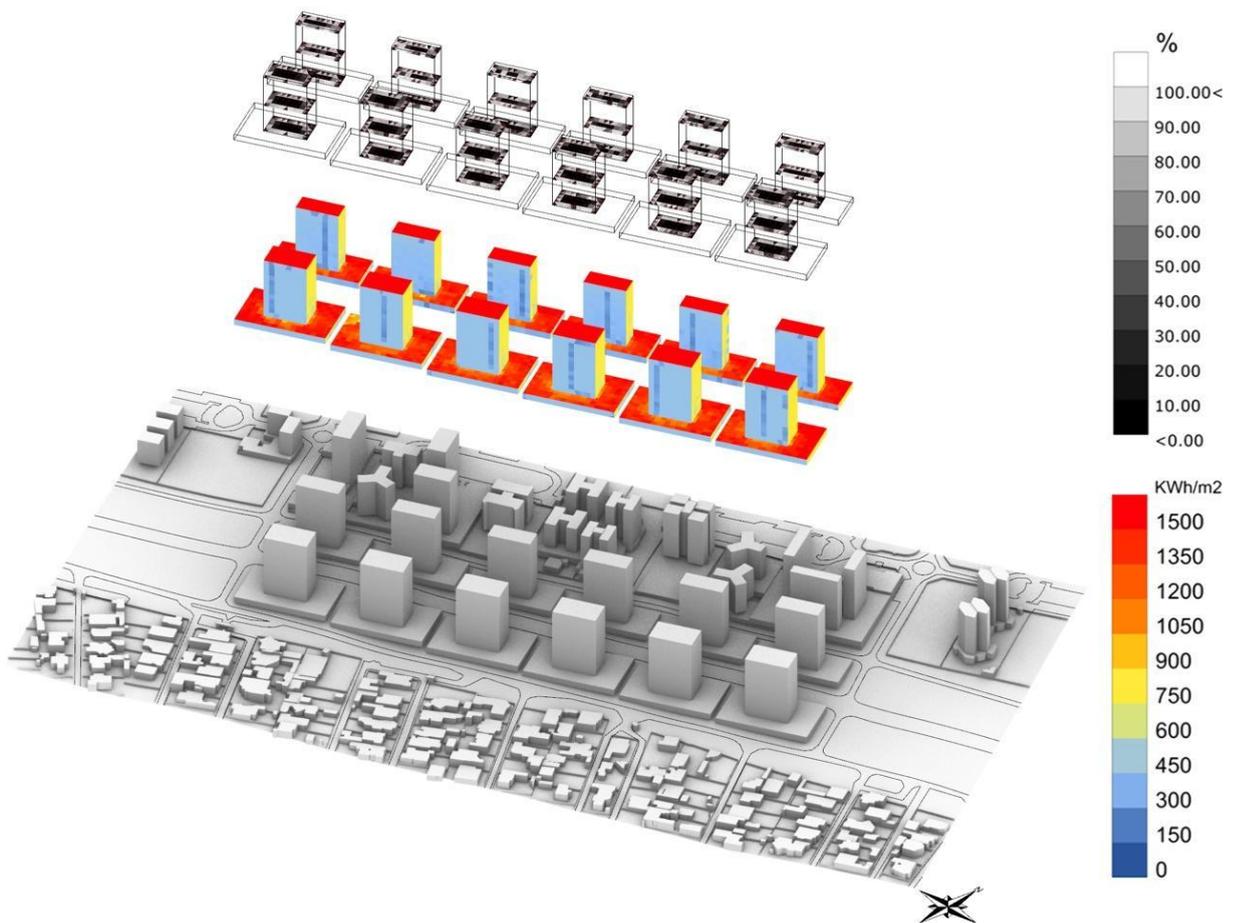
Fonte: do autor (2021).

O gráfico diamante é a forma mais direta e simplificada para entender a relação entre os resultados e os objetivos, pois representa quão próximo os valores obtidos encontram-se do alvo, posição relativa a todos os valores obtidos na simulação evolutiva. Cada objetivo possui um ponto que acompanha a sua linha: quanto mais próximo do centro, melhor é o resultado em relação ao objetivo. O caso apresentado na Figura 10 é o resultado do cenário “Lotes V altura V otimizada 4” (objetivo 4), cuja

posição na “árvore genealógica” é geração 18 / indivíduo 1. Das 900 opções testadas, a sua classificação quanto aos objetivos é a 673ª para o objetivo 1, 548ª para o objetivo 2, 442ª para o objetivo 3 e 0 (é o primeiro) para o objetivo 4. É notória a proximidade do centro do ponto relativo ao objetivo 4 e dos pontos dos outros objetivos mais afastados do centro.

O diagrama apresentado na Figura 12 a seguir demonstra a aplicação dos valores numéricos obtidos como resultado da simulação em suas respectivas geometrias 3D de análise. Tais valores são transformados em cores de acordo com a escala das legendas. Na parte superior do diagrama está representada a simulação de iluminação natural em escala do preto ao branco, no meio encontra-se o resultado da simulação de radiação em escala do azul ao vermelho e embaixo a representação dos volumes de análise e o seu contexto.

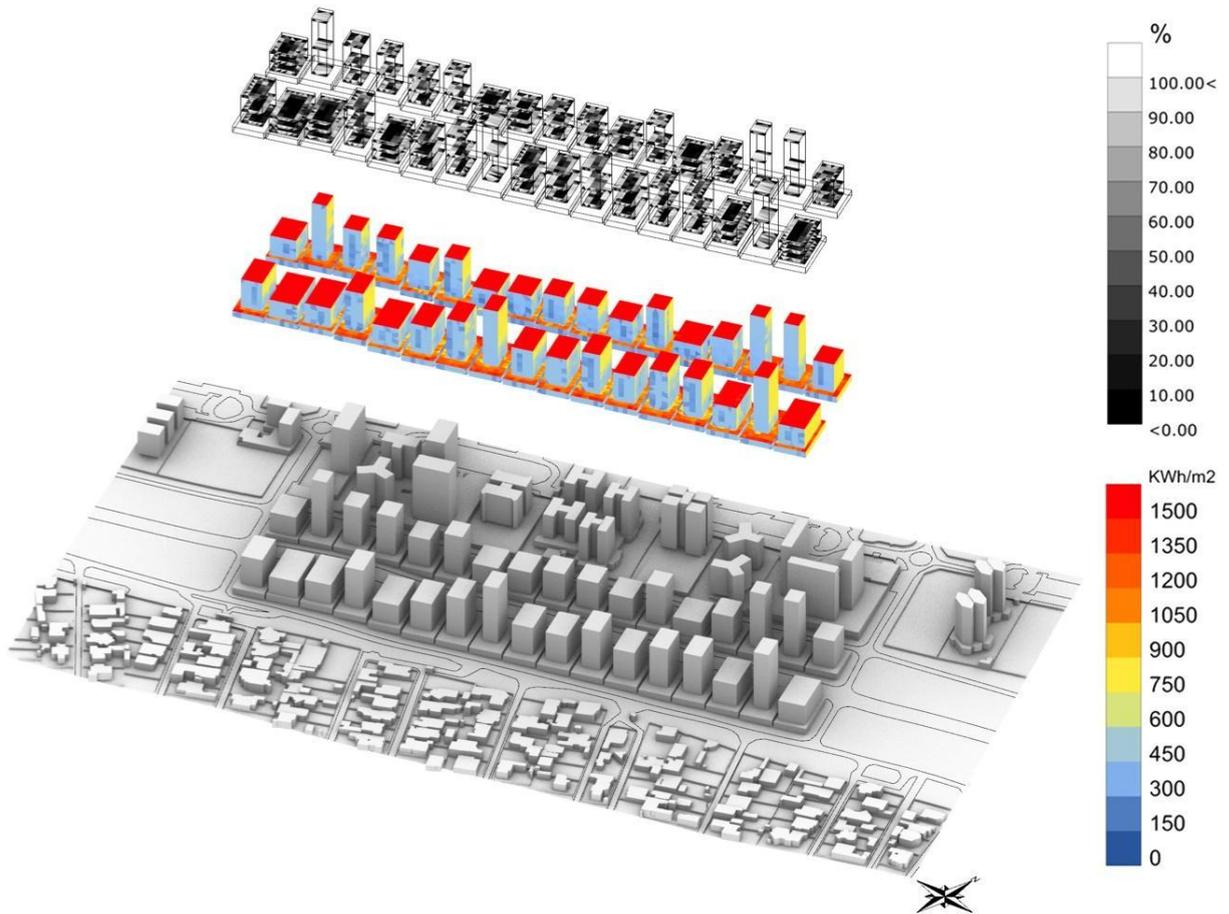
**Figura 12:** Exemplo de simulação cenário controle homogêneo – Lotes Grandes e Alturas Grandes.



**Fonte:** do autor (2021).

Pelo resultado gráfico apresentado na Figura 12 acima é possível notar que todos os edifícios gerados têm os mesmos parâmetros e, por consequência, respondem de maneira similar aos objetivos de radiação e iluminação natural.

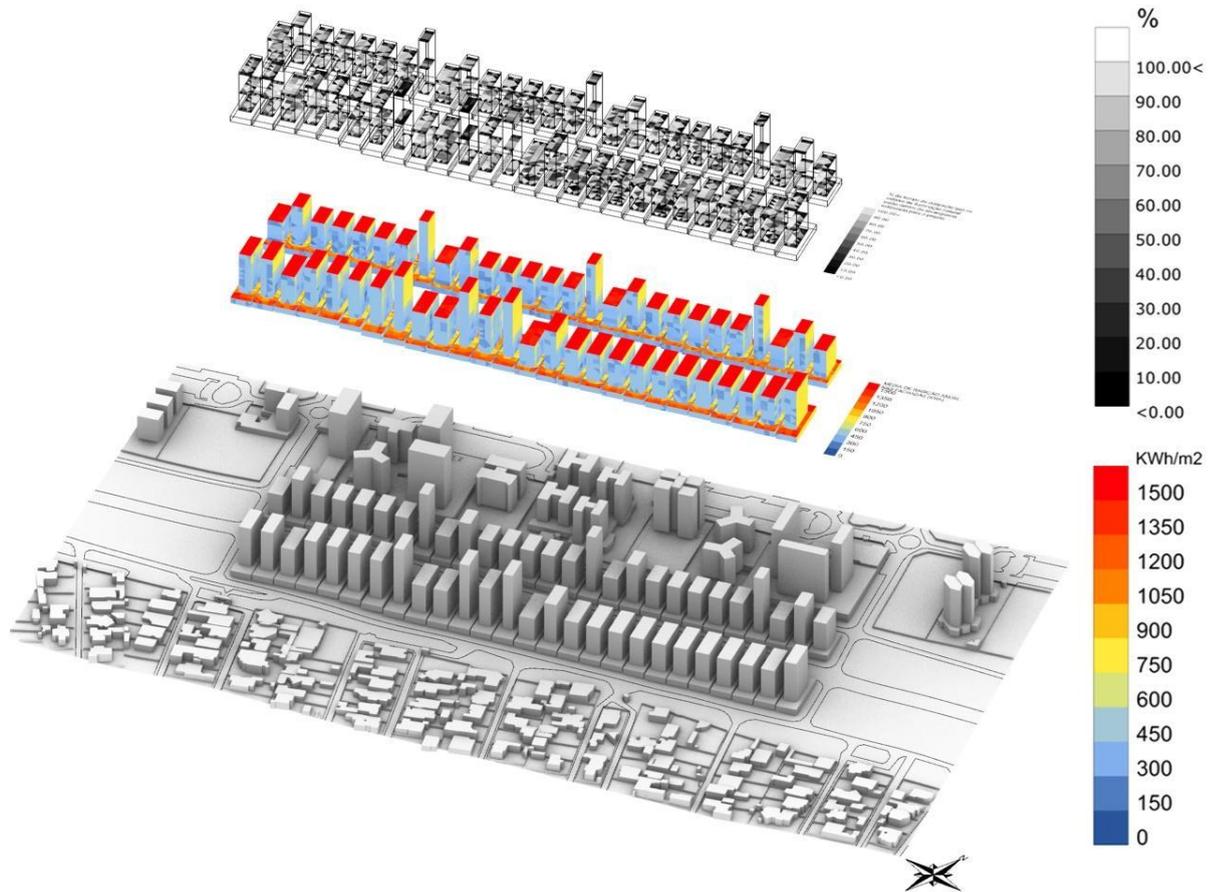
**Figura 13:** Exemplo de simulação cenário variado – Lotes variados e Alturas variadas.



**Fonte:** do autor (2021).

O resultado do gráfico, na Figura 13 acima, demonstra que os edifícios gerados têm parâmetros diversos e por consequência respondem de maneira variada aos objetivos de radiação e iluminação natural. A diversidade entre esses resultados reflete a relação da geometria de cada edifício e seu entorno, e demonstra a riqueza de possibilidades que podem auxiliar a chegar nos valores mais adequados aos objetivos propostos.

**Figura 14:** Simulação cenário otimizado – Lotes Variados e Alturas Variadas melhor opção na média de aptidão.



Fonte: do autor (2021).

Figura 15: Gráfico de otimização diamante – Lotes V e Alturas V melhor opção na média de aptidão.

**Selected Solution Information**

Solution: Gen. 5 | Ind. 17

**FO1: Minimise MEDIA DE RADIAÇÃO NAS**

Fitness Value: 428058  
Fitness Rank: 209 / 899

**FO2: Maximise % DE ILUMINAÇÃO IDEAL**

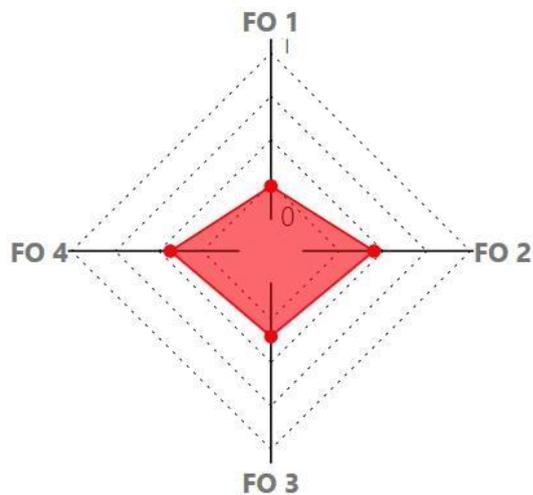
Fitness Value: 0.023781  
Fitness Rank: 403 / 899

**FO3: Maximise ÁREA CONSTRUIDA**

Fitness Value: 4.4394E-06  
Fitness Rank: 315 / 899

**FO4: Maximise NUMERO DE PAVIMENTOS**

Fitness Value: 0.002358  
Fitness Rank: 390 / 899



Fonte: do autor (2021).

**3.2. Resultados**

A Tabela 3 abaixo compila os resultados obtidos após a simulação e facilita a compreensão do impacto que os cenários selecionados têm sobre os objetivos analisados.

Tabela 3: Síntese dos resultados obtidos nas simulações.

|   | Objetivo 1                         | Objetivo 2            | Objetivo 3             | Objetivo 4     |
|---|------------------------------------|-----------------------|------------------------|----------------|
| Tipologia                                 | Radiação (KWh/m <sup>2</sup> /ano) | % de iluminação ideal | Área (m <sup>2</sup> ) | Número de pav. |
| <b>Opções de controle</b>                 |                                    |                       |                        |                |
| Lotes G altura G                          | 831                                | 41,26                 | 212819                 | 252            |
| Lotes G altura P                          | 976                                | 25,33                 | 243221                 | 72             |
| Lotes M altura M                          | 763                                | 40,32                 | 228020                 | 306            |
| Lotes P altura G                          | 591                                | 15,92                 | 212819                 | 1176           |
| Lotes P altura P                          | 711                                | 26,95                 | 243221                 | 336            |
| <b>Testes variados</b>                    |                                    |                       |                        |                |
| Lotes V altura V randômico 1              | 723                                | 37,53                 | 232681                 | 417            |
| Lotes V altura V randômico 2              | 735                                | 41,39                 | 227866                 | 431            |
| Lotes V altura V randômico 3              | 714                                | 39,62                 | 231098                 | 470            |
| Lotes V altura V randômico 4              | 621                                | 43,21                 | 222195                 | 789            |
| Lotes V altura V randômico 5              | 752                                | 42,41                 | 224450                 | 402            |
| <b>Opções otimizadas</b>                  |                                    |                       |                        |                |
| Lotes V altura V otimizada 1 (objetivo 1) | 419                                | 36,5                  | 225534                 | 211            |
| Lotes V altura V otimizada 2 (objetivo 2) | 440                                | 45,78                 | 223731                 | 708            |

|   |                        |       |        |     |
|---|------------------------|-------|--------|-----|
| Lotes V altura V otimizada 3 (objetivo 3)         | 432                    | 39,54 | 225829 | 260 |
| Lotes V altura V otimizada 4 (objetivo 4)         | 442                    | 42,34 | 224739 | 781 |
| Lotes V altura V média de aptidão                 | 439                    | 44,62 | 224016 | 725 |
| Lotes V altura V diferença relativa entre aptidão | 438                    | 41,31 | 224541 | 412 |
| Lotes V altura V última geração                   | 437                    | 42,85 | 224275 | 748 |
| Legenda   | Legenda dos resultados |       |        |     |
| G = Grande  |                        |       |        |     |
| P = Pequeno                                       |                        |       |        |     |
| V = Variável                                      |                        |       |        |     |

Fonte: do autor (2021).

A partir dos índices encontrados na simulação é possível averiguar que as opções de controle não contemplam de forma razoável todos os objetivos simultaneamente. Além disso, a homogeneidade da morfologia faz com que as opções tenham bom desempenho em apenas um objetivo e resultados muito destoantes em relação aos demais.

Nos cenários otimizados, os objetivos ambientais ligados à radiação e iluminação apresentaram melhora nos índices por não possuírem limites bem definidos. Os objetivos geométricos de área total e número de pavimentos apresentaram piora quando comparados às situações controle, pois o valor na tabela tido como o ideal de controle já é o máximo possível.

Nas opções homogêneas tem-se grande variação em cada objetivo: o índice de radiação varia entre 591 e 976 kW/h/ano, a porcentagem de iluminação ideal varia entre 15,92 e 41,26%, a área varia entre 212.819 e 243.221m<sup>2</sup> e o número de pavimentos varia entre 72 e 1.176.

As opções variadas de forma randômica apresentam no geral um equilíbrio maior nos resultados para se adequar aos múltiplos objetivos. Esses cenários apresentam menor distorção entre si: o índice de radiação varia entre 621 e 752 kW/h/ano, a porcentagem de iluminação ideal varia entre 37,53 e 43,21%, a área varia entre 222.195 e 232.681 m<sup>2</sup> e o número de pavimentos varia entre 402 e 789.

**Tabela 4:** Comparação entre os resultados obtidos nas simulações.

| Tipologia                    | Objetivo 1<br>Radiação<br>(melhoria em %) | Objetivo 2<br>Iluminação<br>(melhoria em %) | Objetivo 3<br>Área<br>(melhoria em %) | Objetivo 4<br>Nº de pavimentos<br>(melhoria em %) |
|------------------------------|---|---|---------------------------------------|---|
| <b>Opções de controle</b>    |   |   |                                       |   |
| Lotes G altura G             | -40,61                                    | 0,00  | -12,50                                | -78,57  |
| Lotes G altura P             | -65,14                                    | -38,61                                      | 0,00                                  | -93,88  |
| Lotes M altura M             | -29,10                                    | -2,28                                       | -6,25                                 | -73,98  |
| Lotes P altura G             | 0,00                                      | -61,42                                      | -12,50                                | 0,00  |
| Lotes P altura P             | -20,30                                    | -34,68                                      | 0,00                                  | -71,43  |
| <b>Testes variados</b>       |   |   |                                       |   |
| Lotes V altura V randômico 1 | -22,34                                    | -9,04                                       | -4,33                                 | -64,54  |
| Lotes V altura V randômico 2 | -24,37                                    | 0,32  | -6,31                                 | -63,35  |
| Lotes V altura V randômico 3 | -20,81                                    | -3,97                                       | -4,98                                 | -60,03  |

|   |   |        |       |        |
|---|---|--------|-------|--------|
| Lotes V altura V randômico 4                      | -5,08   | 4,73   | -8,64 | -32,91 |
| Lotes V altura V randômico 5                      | -27,24  | 2,79   | -7,72 | -65,82 |
| <b>Opções otimizadas</b>                          |   |        |       |        |
| Lotes V altura V otimizada 1 (objetivo 1)         | 29,10   | -11,54 | -7,27 | -82,06 |
| Lotes V altura V otimizada 2 (objetivo 2)         | 25,55   | 10,95  | -8,01 | -39,80 |
| Lotes V altura V otimizada 3 (objetivo 3)         | 26,90   | -4,17  | -7,15 | -77,89 |
| Lotes V altura V otimizada 4 (objetivo 4)         | 25,21   | 2,62   | -7,60 | -33,59 |
| Lotes V altura V média de aptidão                 | 25,72   | 8,14   | -7,90 | -38,35 |
| Lotes V altura V diferença relativa entre aptidão | 25,89   | 0,12   | -7,68 | -64,97 |
| Lotes V altura V última geração                   | 26,06   | 3,85   | -7,79 | -36,39 |
| Legenda   | Legenda dos resultados  |        |       |        |
| G = Grande  | <p>MELHOR RESULTADO <span style="float: right;">PIOR RESULTADO</span></p> |        |       |        |
| P = Pequeno                                       |   |        |       |        |
| V = Variável                                      |   |        |       |        |

Fonte: do autor (2021).

A tabela comparativa demonstra a diferença, em porcentagem, do melhor resultado entre os cenários de controle com os demais cenários, avaliando cada objetivo individualmente. Para o objetivo 1, o cenário controle com melhor resultado foi “Lotes P altura G” e por isso a diferença em % é igual a 0. O melhor cenário controle para o objetivo 2 foi “Lotes G altura G”. Para o objetivo 3 obteve-se dois cenários com o mesmo resultado máximo, são eles: “Lotes G altura P” e “Lotes P altura P”. Para o objetivo 4, o melhor cenário controle foi o “Lotes P altura G”

A comparação entre os resultados obtidos na situação controle junto aos diferentes cenários permite avaliar de forma objetiva e quantitativa qual seria a diferença de performance dos cenários em relação a outro cenário específico.

Os cenários de controle podem se destacar em quesitos específicos, porém nenhum deles contempla todos os objetivos simultaneamente. Os cenários variados de forma randômica apresentam maior homogeneidade na performance entre os diferentes objetivos. Entre esses cenários, o de melhor resultado foi o “Lotes V altura V randômico 4” que apresentou os menores índices de deterioração, quando comparado aos cenários controle para os objetivos 1, 3 e 4, e apresentou melhoria de 4,73% no quesito 2.

As opções otimizadas obtiveram bons resultados, com índices para os objetivos ligados ao conforto ambiental melhores do que os encontrados nas situações de controle: para o objetivo 1 (irradiância) apresentam qualificação de 25,21% a 29,1% e para o objetivo 2 (iluminação natural) apresentam melhoria de até 10,95%. Os cenários otimizados apresentam redução da metragem quadrada (objetivo 3) que varia entre -7,15% e -8,01%. Já para o número de pavimentos (objetivo 4) a redução varia entre -82,06% e -33,59%. A metragem quadrada e o número de pavimentos apresentaram redução e em nenhum dos casos avaliados houve melhora desses objetivos específicos.

Os cenários otimizados apresentam resultados mais homogêneos entre os diferentes objetivos e alguns se destacam por atingirem bons níveis de aperfeiçoamento quando comparados à situação controle. O resultado que melhor equilibra os diferentes objetivos é o “Lotes V altura V média de aptidão” e seria uma opção de cenário que pode apresentar qualificação do espaço urbano.



## 4. Conclusão

Após avaliação da diferença entre os cenários para os objetivos de forma generalizada, entende-se que o estudo atende a sua questão inicial. Pode-se utilizar ferramentas computacionais que auxiliem no planejamento de cidades mais equilibradas, que permitam conciliar a performance ambiental e outros parâmetros inerentes como o direito à moradia e a especulação imobiliária.

A radiação e a iluminação natural são objetivos de performance e, por não possuírem valores definidos de máximo e mínimo, é cabível melhoria. A área e o número de pavimentos são objetivos prescritivos que, por tratarem da geometria, possuem valores máximo e mínimo definidos. Os cenários otimizados apresentaram resultados que equalizam os objetivos 1, 2, 3 e 4.

Os cenários de composição randômica apresentam desempenho mais equilibrado para atingir diversos objetivos. Morfologias urbanas que apresentam homogeneidade podem ter um desempenho ideal para um objetivo, porém são insuficientes nos outros quesitos analisados.

Conclui-se que um contexto urbano que favoreça a diversidade morfológica pode oferecer um ambiente mais confortável e mais propício para o conforto dos habitantes, pois é mais possível que se ajuste a diferentes objetivos e demandas.

O estudo ainda pode evoluir em diversos aspectos. Com o avanço da computação será possível testar mais cenários com mais parâmetros e variações em menos tempo e com maior qualidade e definição da quadrícula de análise. Ainda, pode-se abranger mais objetivos como a temperatura urbana, temperatura interna, sombreamento urbano, ventilação, caminhabilidade, custo de implementação e muitos outros pontos. A análise dos edifícios de forma individual também é interessante para avaliar o potencial de etiquetagem para os lotes ainda na fase do estudo urbano.

## 5. Agradecimentos

Agradecimento ao arquiteto Gunveer Singh que ministrou curso gratuito no Digital Futures e foi muito solícito ao auxiliar em questões técnicas de uso das ferramentas de simulação.

## 6. Referências

AMARAL, Rubens do. **Morfologia urbana**: Conceitos e aplicações. Brasília: SEGETH, 2017. Disponível em: <https://bit.ly/3q4NXrn>. Acesso em: 12 set. 2021

DISTRITO FEDERAL. Lei Complementar nº 948, de 16 de janeiro de 2019. Aprova a Lei de Uso e Ocupação do Solo do Distrito Federal - LUOS nos termos dos arts. 316 e 318 da Lei Orgânica do Distrito Federal e dá outras providências. Brasília: Governo do Distrito Federal, 2019. Disponível em: <https://bit.ly/3YaunXk>. Acesso em: 15 nov. 2021.

DISTRITO FEDERAL. Secretaria de Estado de Gestão do Território e Habitação (SEGETH). **DIUR 03/2015**: Região Administrativa de Águas Claras. Brasília: Governo do Distrito Federal, 2015. Disponível em: <https://bit.ly/3KiZlqB>. Acesso em: 15 out. 2021.

DISTRITO FEDERAL. Secretaria de Estado de Gestão do Território e Habitação (SEGETH). **DIUR 03/2018**: Eixo de Dinamização da Via Transbrasília. Brasília: Governo do Distrito Federal, 2018. Disponível em: <https://bit.ly/3q1LMVA>. Acesso em: 10 out. 2021.

EKICI, Berk *et al.* Performative computational architecture using swarm and evolutionary optimisation: A review. **Building and Environment**, [S. l.], v. 147, p. 356-371, 2019. Disponível em: <https://bit.ly/47bRjct>. Acesso em: 22 nov. 2021.



ELSHANI, Diellza *et al.* Measuring Sustainability and Urban Data Operationalization: An integrated computational framework to evaluate and interpret the performance of the urban form. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE ASSOCIATION FOR COMPUTER-AIDED ARCHITECTURAL DESIGN RESEARCH IN ASIA (CAADRIA), 26., 2021, Hong Kong. **Proceedings** [...]. Hong Kong: Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA), 2021. Disponível em: <https://bit.ly/43NXDEp>. Acesso em: 12 set. 2021.

LANGNER, Marcelo. **Design generativo para criação de elementos de controle solar para a arquitetura**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2020. Disponível em: <https://bit.ly/3DxIVrx>. Acesso em: 19 out. 2021.

LIMA, Fernando Tadeu de Araújo. **Métricas Urbanas**: Abordagens paramétricas para o planejamento de bairros e cidades sustentáveis. São Paulo: ProBooks, 2019. *E-book*.

MAKKI, Mohammed; SHOWKATBAKSH, Milad; SONG, Yutao. **Wallacei**: An Evolutionary and Analytic Engine for Grasshopper 3D: Primer 2.0. [S. l.]: Wallacei, 2019. Disponível em: <https://bit.ly/451MKzO>. Acesso em: 13 out. 2021.

ROMERO, Marta Adriana Bustos. **Princípios Bioclimáticos para o desenho urbano**. Brasília: Editora UnB, 2013.

SHELLER, Camila *et al.* **Análise arquivos climáticos para a simulação do desempenho energético de edificações**. 2015. Relatório (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015. Disponível em: <https://bit.ly/3KejdLi>. Acesso em: 13 out. 2021.



## **Marco Aurelio de Lima Maron**

Arquiteto e urbanista dedicado ao conforto ambiental e à eficiência energética. Concluí a graduação em Arquitetura e Urbanismo em 2017 (UniCEUB) e, em 2021, finalizei a pós-graduação em Reabilitação Ambiental no Laboratório de Sustentabilidade Aplicada à Arquitetura e ao Urbanismo (LASUS - UnB). Atualmente, estou comprometido com meu mestrado no programa de pós-graduação em Ciências Mecatrônicas, no Grupo de Inovação e Automação Industrial (GIAI - UnB), com ênfase na linha de Fabricação Robotizada e Deposição de Metal a Laser.

Contribuição de coautoria: Concepção; Curadoria de dados; Análise; Coleta de dados; Metodologia; Software; Validação; Visualização; Redação – rascunho original; Redação - revisão e edição.

## **Thiago Montenegro Góes**

Professor do Curso de Arquitetura e Urbanismo da UFG desde 2023 e Especialização Reabilita da FAU/UnB desde 2019. Arquiteto e Urbanista (UFSC, 2011), especialista pelo Reabilita (2017), mestre (2018) e doutorando do Programa de Pós-Graduação da FAU/UnB.

Contribuição de coautoria: Concepção; Metodologia; Software; Supervisão; Redação - revisão e edição.

**Como citar:** MARON, M. A. de M., GÓES, T. M. Algoritmo adicionado ao planejamento urbano e ambiental: Otimização multiobjetivo do trecho da Via Transbrásilia. Revista Paranoá, n.36, Edição Temática Reabilitação Ambiental Sustentável - 2023. DOI 10.18830/issn.1679-0944.n36.2023.02.

**Editor responsável:** Caio Silva (PPG-FAU/UnB) e Teresa Santos (Universidade Nova de Lisboa, Portugal).

**Assistente Editorial:** Lucídio Avelino.