

# Landscape Information Modeling:

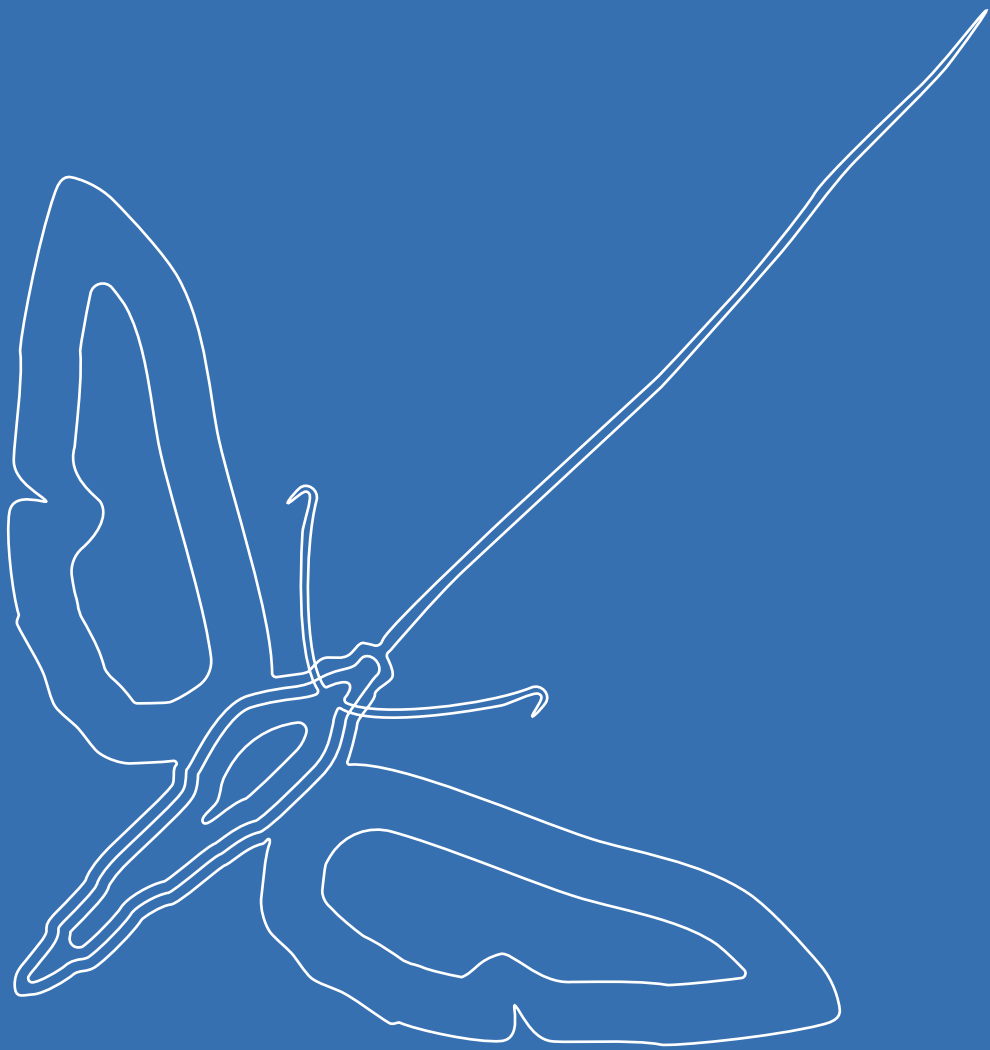
um conceito para projetos de  
paisagens multifuncionais



**Adriana**  
**Afonso Sandre**

Orientador:  
Prof. Dr. Paulo R. M. Pellegrino





Adriana Afonso Sandre

Landscape Information Modeling: um conceito  
para projetos de paisagens multifuncionais

Tese apresentada à Faculdade de  
Arquitetura e Urbanismo da Universidade  
de São Paulo para obtenção do título de  
Doutora em Ciências.

Área de Concentração: Paisagem e  
Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Paulo R. M.  
Pellegrino

São Paulo, 2022

Nome: SANDRE, Adriana Afonso

Título: Landscape Information Modeling: um conceito  
para projetos de paisagens multifuncionais

Tese apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade  
de São Paulo para obtenção do título de Doutora em Ciências.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr.

Instituição:

Julgamento:

Prof. Dr.

Instituição:

Julgamento:

Prof. Dr.

Instituição:

Julgamento:

Prof. Dr.

Instituição:

Julgamento:

À minha Mãe, família Afonso Sandre e seu novo membro.

Ao Prof. Paulo que me acompanhou nessa etapa de crescimento acadêmico abrindo meus horizontes ao possibilitar que ideias novas sejam admitidas na Universidade

Aos professores do Exame de Qualificação, Profa Ana Clara e Metzger pelas contribuições assertivas que orientaram o desenvolvimento do trabalho.

Aos Profs da Área de Paisagem e Ambiente pelo conhecimento acadêmico, conversas inspiradoras e por me ensinar e aos demais alunos o que é ser e a importância do Arquiteto Urbanista e Paisagista.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo apoio financeiro e técnico.

À Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo por me possibilitar abrir novos rumos acadêmicos e toda a equipe de funcionários que dá o subsídio para formação de estudantes críticos e competentes.

Aos amigos, saudades de vcs.

À Cecília por me abrir seu conhecimento e horizontes internacionais. Ao Mário por acreditar no potencial de um bom projeto de paisagem para recuperação hídrica das bacias paulistanas.

Por fim, à minha Mãe, pela força e paciência, ao meu Pai por seu apoio cotidiano e à minha Irmã por me ensinar a ser mais forte e por ser uma grande parceira na vida. Por todo suporte em minha dupla jornada acadêmica.

Aos meus Avós Gege e Landinho, em memória, lembrarei sempre das cantorias matutinas e noturnas.

Ao Marco pelo verdadeiro companheirismo e amor aos ursos...

Em 25 de janeiro de 1862, Charles Darwin (1809-1882) recebeu uma caixa de orquídeas de James Bateman (1811- 1897), dentre elas estava a *Angraecum sesquipedale*, nativa de Madagascar. A fascinação dele foi tamanha que escreveu cartas a James, se perguntando: “*do you know its marvelous nectary 11½ inches (29.2 cm) long, with nectar only at the extremity. What a proboscis the moth that sucks it, must have! It is a very pretty case*”. Ele também diz, “*Good Heavens what insect can suck it*”, já prevendo qual animal poderia ser responsável pela polinização (Ardetti et al., 2012). Décadas mais tarde, foi descoberta a mariposa *Xanthopan morgani praedicta* com sua probóscide gigantesca: só a mais longa e especializada das línguas pode alcançar o néctar e, por consequência, polinizar a orquídea! É o que Darwin prediz, uma flor com estilete tão longo geraria probóscides cada vez mais longas, uma das principais contribuições para a biologia evolucionária: a coevolução! Essa relação complexa ilustra nosso trabalho generativo, de especialistas extremos – como a mariposa – a generalistas todos temos lugar na paisagem, espaço e função.

## RESUMO

Esta tese discute a importância de operar com o conceito da complexidade no projeto da paisagem. Por complexidade compreende-se as diferentes relações projetuais possíveis de serem estabelecidas pelos profissionais da área. Para tanto propõe o conceito do Landscape Information Modeling (LIM), que consiste em uma metodologia de projeto de paisagem, capaz de simular aspectos dos ambientes construídos, integrando elementos e processos naturais com a finalidade atender as questões ambientais, sociais, culturais e econômicas de nossas comunidades e cidades. Trata-se da proposição de um algoritmo que permitirá gerar diversas alternativas de projeto de paisagem, possibilitando uma exploração criativa dos diversos padrões geométricos que os espaços livres podem assumir no tecido urbano. A tese sustenta que o controle da complexidade via algoritmo permite uma nova reflexão sobre as propriedades estruturais e funcionais, além das intervenções tradicionais do espaço. Simultaneamente, acredita-se que o projeto da paisagem, por ser uma dimensão integradora das camadas de intervenção no espaço, permite maior transparência e democratização do processo de decisão e execução, podendo ser orientado para o atendimento das demandas sociais, ecológicas, econômicas e em atenção às particularidades históricas. Para estruturar a Plataforma foram definidos um conjunto de parâmetros de projeto caracterizados por sua diversidade, adaptação e responsividade. Ao incluir parâmetros focados na provisão de serviços ecossistêmicos, pode-se propor inúmeras variações para o modelo, de forma a objetivar-se diferentes soluções e avaliar seu grau de resposta e adaptação e, portanto, da sua inteligência compreendida como a capacidade de adaptação do sistema às novas condições oferecidas pelo projeto. Neste sentido, a tese propõe a montagem de um pré-protótipo que testa de forma exploratória a viabilidade do LIM, denominado Mariposa. No final, os principais resultados encontrados foram a conceptualização e a montagem do pré-protótipo, bem como a escolha dos parâmetros que melhor equaliza as necessidades de um projeto de infraestrutura verde, passos essenciais para lidar com a complexidade inerente ao projeto da paisagem.

**Palavras-chave:** Infraestrutura verde; Projeto da Paisagem; Planejamento da Paisagem; Landscape Information Modeling; Modelagem algorítmica

## ABSTRACT

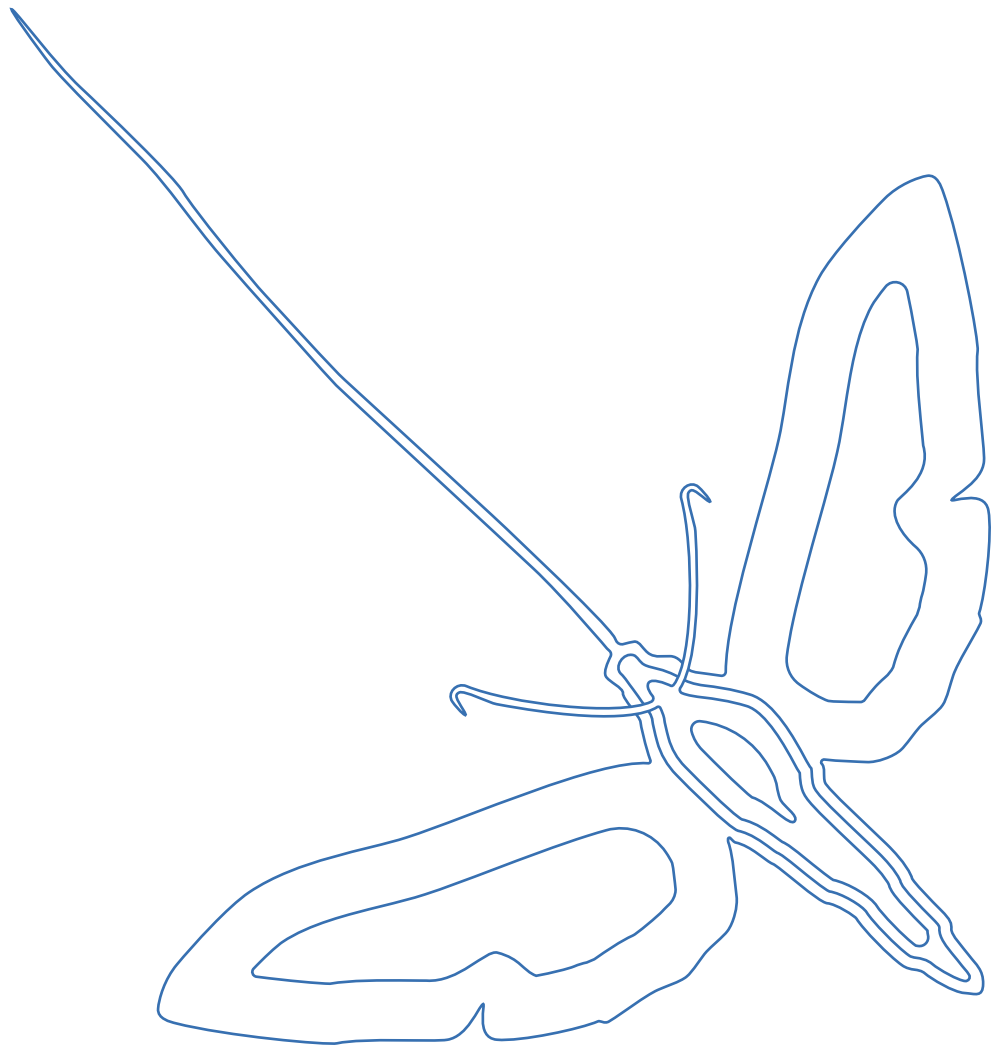
This thesis discusses the importance of operating with the concept of complexity in landscape design. By complexity it means the different projectual relationships that can be established by professionals in the area. Hence, it proposes the concept of Landscape Information Modeling (LIM), which consists of a landscape design methodology capable of simulating aspects of built environments, integrating natural elements and processes in order to address the environmental, social, cultural and economic issues of our communities and cities. Moreover, it is the proposition of an algorithm that will allow the generation of different alternatives for landscape design, enabling a creative exploration of the different geometric patterns that open spaces can assume in the urban fabric. The thesis argues that the control of complexity via the algorithm allows a new reflection on structural and functional properties, in addition to those admitted with traditional interventions in space. Simultaneously, it is believed that landscape design, as an integrating dimension of the intervention of layers in space, allows for greater transparency and democratization of the decision and execution of the project, being able to address social, ecological, economic and other demands and in light of their historical particularities. In order to structure the Platform, a set of design parameters were defined, characterized by their diversity, adaptation and responsiveness. By including parameters focused on the provision of ecosystem services, numerous variations can be proposed for the model, in order to target different solutions and assess their degree of response and adaptation and, therefore, their intelligence, understood here as the ability to adapt the system to new conditions offered by the project. Finally, the thesis proposes the assembly of a pre-prototype, which exploratory tests the viability of the LIM, called Mariposa. The main results found were the conceptualization and assembly of the pre-prototype, as well as the choice of parameters that best equalize the needs of a green infrastructure project, essential steps to deal with the inherent complexity of landscape design.

**Keywords:** Green infrastructure; Landscape Project; Landscape Planning; Landscape Information Modeling; Algorithmic modeling

## RESUMEN

Esta tesis discute la importancia de operar con el concepto de complejidad en el diseño del paisaje. Por complejidad se entienden las diferentes relaciones de diseño que pueden establecer los profesionales del área. De esta manera, propone el concepto de Landscape Information Modeling (LIM), que consiste en una metodología de diseño del paisaje, capaz de simular aspectos de los entornos construidos, integrando elementos y procesos naturales para atender las cuestiones ambientales, sociales, culturales y económicas de nuestras comunidades y ciudades. La tesis discute la propuesta de un algoritmo que permitirá generar diferentes alternativas para el diseño del paisaje, posibilitando una exploración creativa de los diferentes patrones geométricos que pueden asumir los espacios abiertos en el tejido urbano. La tesis argumenta que el control de la complejidad vía algoritmo permite una nueva reflexión sobre las propiedades estructurales y funcionales, además de las admitidas con las tradicionales intervenciones en el espacio. Simultáneamente, se cree que el diseño del paisaje, al ser una dimensión integradora de las capas de intervención en el espacio, permite una mayor transparencia y democratización del proceso de decisión y ejecución, pudiendo orientarse al encuentro social, ecológico, económico y otros. exige atención al respeto de sus particularidades históricas. Para estructurar la Plataforma se definieron un conjunto de parámetros de diseño, caracterizados por su diversidad, adaptación y capacidad de respuesta. Al incluir parámetros centrados en la provisión de servicios ecosistémicos, se pueden proponer numerosas variaciones del modelo, con el fin de apuntar a diferentes soluciones y evaluar su grado de respuesta y adaptación y, por tanto, su inteligencia, entendida aquí como la capacidad de adaptación del sistema a las nuevas condiciones que ofrece el proyecto. En este sentido, la tesis propone el montaje de un pre-prototipo, que prueba exploratoriamente la viabilidad del LIM, denominado Mariposa. Al final, los principales resultados encontrados fueron la conceptualización y montaje del pre-prototipo, así como la elección de los parámetros que mejor igualan las necesidades de un proyecto de infraestructura verde, pasos esenciales para lidiar con la complejidad inherente al diseño del paisaje.

**Palabras clave:** Infraestructura verde; Diseño de exteriores; Ordenación del Paisaje; Landscape Information Modeling; modelado algorítmico



# Sumário

## **15 INTRODUÇÃO**

19 Estrutura da tese

## **22 CAPÍTULO 1 ÁREAS VERDES URBANAS PROVÊM SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS?**

22 Uma análise sobre as diferentes percepções em uma revisão sistemática de literatura

26 Método

32 Resultados e Discussão

40 Considerações parciais

## **42 CAPÍTULO 2 BASES CONCEITUAIS PARA CONFORMAÇÃO DE UMA MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA PAISAGEM**

43 Representacional: sistema CAD

45 Modelagem Paramétrica

47 Modelagem Algorítmica

50 Processo generativo

53 Breves notas quanto ao uso da computação no projeto

58 Dilemas éticos quanto ao uso da computação no projeto:  
preocupações para um desenvolvimento responsivo da plataforma

63 Considerações Parciais

## **65 CAPÍTULO 3 LIM LANDSCAPE INFORMATION MODELING**

65 Definição semântica do LIM

- 71** Modelagem paramétrica e algorítmica: Um novo paradigma?
- 74** Um novo paradigma para o projeto da paisagem?
- 77** Como materializar o desempenho?
- 83** Exemplos de aplicação da modelagem paramétrica e projetos generativos a arquitetura, urbanismo e paisagismo
- 87** Considerações parciais

## **89** **CAPÍTULO 4** **APLICAÇÃO DO LIM: PLATAFORMA MARIPOSA**

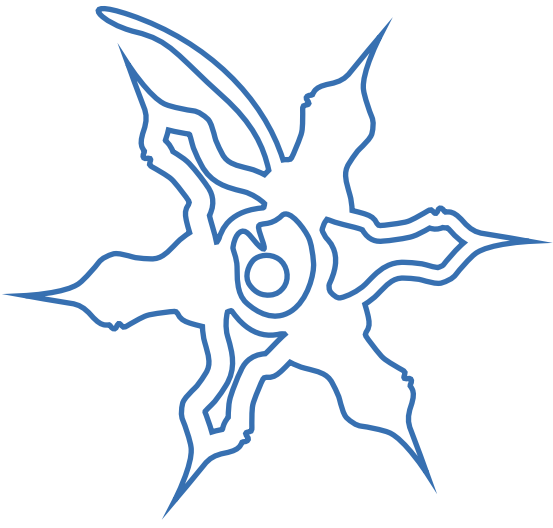
- 89** Premissas da plataforma mariposa
- 92** Primeira premissa: fase de projeto e provisão de serviços ecossistêmicos
- 99** Segunda premissa: elementos de projeto
- 108** Terceira premissa: plataforma online e acessível
- 113** Quarta premissa: projeto generativo
- 115** Estrutura e funcionalidades da plataforma mariposa
- 118** Geomorfologia
- 125** Biomassa e drenagem urbana
- 141** Análise multicritério do grau de aptidão de projetos de paisagem
- 164** Modelo tridimensional de jardim de chuva
- 168** Aplicação do conceito lim a situações reais de projeto
- 174** Projeto generativo de reservatórios híbridos
- 182** Reservatório híbrido abegoária
- 193** Considerações parciais

## **195** **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

## **201** **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DO CAPÍTULO 1**

## **216** **REFERÊNCIAS**

## **227** **ANEXO 1**



# INTRODUÇÃO

Esta tese intitulada “*Landscape Information Modeling*: um conceito para projetos de paisagens multifuncionais” discute uma metodologia baseada no conceito de modelagem da informação denominado *Landscape Information Modeling* (LIM), projetos generativos e algoritmos genéticos de suporte à decisão com o objetivo de integrar e operacionalizar as diversas etapas de um projeto urbano de paisagem.<sup>1</sup>

O termo LIM, cunhado no Brasil, pelo arquiteto e urbanista professor Paulo Pellegrino, enquanto um *design process*, simula os aspectos dos ambientes construídos e naturais com a finalidade de apoiar projetos de paisagem multifuncionais que integram as questões ambientais, sociais, culturais e econômicas.<sup>2</sup> Seu desenvolvimento tem embasamento em um amplo quadro de referências de conceitos ecológicos aplicados ao planejamento urbano e ambiental, como das Soluções Baseadas na Natureza (NbS). Quando tais tecnologias baseadas na natureza são integradas aos projetos de paisagem elas são reconhecidas como uma “infraestrutura verde” (IV)<sup>3</sup>, segundo Pellegrino (2017) e podem ser inseridas mesmo em áreas densamente ocupadas para prover serviços ecossistêmicos (SEs).<sup>4</sup>

---

1 O desenvolvimento do LIM é parte de um projeto amplo da equipe do LABVERDE – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, coordenado pelo professor Paulo Pellegrino em parceria com o Prof. Silvio Motta, com financiamento da FAPESP, Processo nº 19/23049-1.

2 Na Europa, o termo LIM foi registrado em 2016 pela empresa Land'Act com outro conceitual em modelagem da informação de elementos arbóreos. Para a empresa, o LIM® permite ao utilizador aceder aos metadados das árvores (sistemas radiculares, necessidades hídricas, calendário de crescimento, evolução ao longo do tempo), desde a concepção à implementação. Disponível em: <<https://www.landsrl.com/lim-2>> 20 jan. 2020

3 Ao admitir que o planejamento da paisagem associado aos dispositivos de infraestrutura verde (IV) é um recurso básico e imprescindível em projetos urbanos, concebidos enquanto um sistema de base, da mesma forma que os espaços destinados à infraestrutura obrigatória para a rede de esgoto, para a pavimentação das ruas, para telefonia, entre outros (Cormier & Pellegrino, 2008). Por exemplo, o sistema viário é tanto capaz de ser um sistema base de infraestruturas urbanas de transporte, abastecimento e energia quanto também palco de encontros e lazer – garantindo maior segurança social – e de base para dispositivos ambientais – que amenizam ilhas de calor urbanas, realizam o manejo das águas urbanas com o controle de pontos inundação e fitorremediação das águas. A infraestrutura verde é “uma rede interconectada de espaços verdes que conserva os valores e funções dos ecossistemas naturais e que fornece benefícios associados às populações humanas” (Benedict & McMahon, 2012, p. 12).

4 As soluções baseadas na natureza (NbS) – NBS em seu acrônimo em inglês (*Nature Based Solutions*) – são definidas pela União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN) como “ações para proteger, gerenciar de maneira sustentável e restaurar ecossistemas naturais ou modificados, que abordam os desafios da sociedade de maneira efetiva e adaptativa, proporcionando simultaneamente o bem-estar humano e os benefícios da biodiversidade”. Disponível em: <<https://www.iucn.org/commissions/commission-ecosystem-management/our-work/nature-based-solutions>> Acesso 03 fev. 2019.

Uma vez que a infraestrutura verde, implica no emprego de uma ampla gama de conhecimentos e técnicas presentes nas áreas das ciências biológicas, geográficas e naturais, além das engenharias a utilização do conceito dessas tecnologias naturais é um campo promissor de aplicação desse conceitual.

O ponto subjacente a tais questões é o tratamento do conceito da complexidade no projeto da paisagem. A complexidade é tratada nesta pesquisa como uma forma de observar o mundo, incluindo a natureza e a sociedade, que, por sua vez, revelam diferentes possibilidades de seleção para projetar capazes de atender às necessidades sociais, mas, simultaneamente, estar aberto para o lado contingente da natureza. Trata-se de um processo constante que marca a vida do paisagista que busca sempre a melhor maneira de projetar um espaço que o qualifique.

Nesse sentido, optou-se pelo uso da modelagem da informação enquanto conceito e ferramental para viabilizar embasamentos argumentativos que tratem da complexidade do projeto da paisagem. Para superar o enfoque habitual, pautado em soluções tradicionais, como veremos no capítulo 2, são necessários mais estudos e investimentos em tecnologias e metodologias de projetos da paisagem que criem inovadoras e criativas “sínteses fisionômicas” responsivas às forças dinâmicas que estão definindo o atual século, como as mudanças climáticas, rupturas tecnológicas, migrações e volatilidade econômica.

Dessa forma, sob a urgência global de desenvolver novas linguagens e ferramentas, a partir da modelagem da informação, propõe-se o LIM enquanto um conceito que objetiva alcançar um equilíbrio entre as estruturas projetadas e os sistemas naturais que nos sustentam.<sup>5</sup>

Trata-se de um avanço em relação ao processo de projeto ao incluir a concepção baseada em parâmetros e performances para gerar a modelagem precisa da informação. Em um processo que exige o diálogo e a abertura permanente do Paisagismo para outros campos do conhecimento, como a Informática e a linguagem da programação, que dependem da formação de grupos interdisciplinares, contemplando diversos profissionais habilitados a transitar nesses saberes, inclusive com a compreensão crítica das suas respectivas limitações. Tal integração possibilitará que as diferentes fases do processo de projeto da paisagem, tais como: concepção; análises de viabilidade e execução aconteçam de maneira mais integrada; pois estarão baseadas em parâmetros; metadados e regras generativas, o que possibilita a redução de desgastes em todo o processo de projeto, além de permitir uma nova forma de lidar com a parametrização em projetos de paisagem (Sandre & Pellegrino, 2021).

A partir do conceitual do LIM, a tese apresenta a Plataforma Mariposa, capaz de oferecer cenários de retrato da realidade urbana e de simulação de alternativas de projeto de infraestrutura

---

5 São poucos os projetos e publicações que discutem o uso de técnicas digitais avançadas no projeto de arquitetura paisagística, uma exceção são os livros *Digital Landscape Architecture Now*, que abrangem práticas de design digital, abrangendo renderização, animação, análise geoespacial, fotogrametria, detecção ambiental e o *Landscape Architecture and Digital Technologies: re-conceptualising design and making*.

verde, a partir de uma exploração criativa dos diversos padrões que os espaços livres verdes podem assumir no tecido urbano, com novas funções infraestruturais, além das já atendidas nas intervenções tradicionais. A tese discute a temática da performance dessas alternativas quanto à capacidade de provisão de serviços ecossistêmicos<sup>6</sup> a partir da integração de diversas variáveis hidrológicas, ecológicas, sociais e conforto ambiental prevendo tendências e avaliando potencialidades, restrições e conflitos de interesse.

Pautado no conceito de modelagem algorítmica, a Mariposa, a partir de dados e parâmetros, foi capaz de simular formas geométricas e gerar resultados permitindo visualizações gráficas que podem ser alteradas. As simulações podem variar conforme os usos, preexistências, funções, estrutura e composição, finalidade social dos espaços abertos.

Esta tecnologia será a base inicial comum para que os diversos stakeholders envolvidos possam interagir com o programa e visualizar alternativas de configuração dos elementos da paisagem. Acredita-se que a Plataforma pode auxiliar na compatibilização dos conflitos inerentes ao processo participativo de cocriação dos projetos, negociação de soluções na prospecção dos cenários e apoio à decisão. Não se trata de instrumentalizar o projeto, mas sim propor uma metodologia que permitirá aos usuários a intervenção ativa na conformação da paisagem a partir da provisão de serviços ecossistêmicos.

Assim sendo, tal abordagem permite que os pesquisadores, o Poder Público e a sociedade civil, em consórcios, promovam uma ciência colaborativa da paisagem. Novamente, reforça-se a necessidade da constituição de equipes multidisciplinares para o avanço desta discussão apresentada pela tese. Portanto, esta pesquisa inaugura um campo de investigação vinculado à possibilidade de inovação por meio da criação de uma tecnologia gráfica de simulação de cenários. Uma tecnologia capaz de integrar as diversas áreas de projeto da paisagem – dando o devido tratamento à complexidade, evitando simplificações –, gerando uma capacidade resolutiva em tempo real.

Argumenta-se ao longo da tese que essa Plataforma auxilia o processo de projeto da paisagem ao fornecer suporte à criação de alternativas, manipulando a complexidade das diversas áreas de conhecimento técnico-científicas e atendendo suas variáveis de desempenho, a provisão de Serviços Ecossistêmicos (SEs). Desse modo, a Mariposa atua como um meio para simulação de aspectos dos ambientes construídos e naturais dos projetos, com a finalidade de fornecer mecanismos para que suas múltiplas funções sejam verificadas em suas variáveis e avaliadas para o atendimento das necessidades ambientais, sociais, culturais e econômicas (Sandre & Pellegrino, 2021).

Com o uso da Plataforma, o arquiteto, urbanista e paisagista tem um amplo leque de possibilidades abertas pelos algoritmos, que o auxiliam em sua atividade projetual, podendo expressá-la de forma mais consequente e menos arbitrária. Podendo selecionar aquela alternativa

---

6 O conceito ES é definido pela *Millennium Ecosystem Assessment (MA) (2005)* como os benefícios que os humanos obtêm da natureza.

que melhor lhe atenda e aos demais participantes do processo decisório do projeto, evitando assim que cada decisão seja vista como personalista e/ou individualista, mas como parte de uma criação colaborativa que atende ao que todas as dimensões e agentes interessados procuram, conforme Moura:

*As novas condições tecnológicas favorecerão, sobretudo, os processos de governança territorial, uma vez que atuarão como uma ponte de comunicação entre os setores técnico, administrativo e comunitário da sociedade, pois as propostas para o território serão adequadamente simuladas, revisadas, comunicadas e intercambiadas. É mais um passo em direção a um planejamento participativo real, pois haverá uma condição mais ampla para a compreensão de propostas e normas. Espera-se que a ciência e a tecnologia sejam convidadas a colaborar nos processos de tomada de decisão e garantir ação antrópica em ambientes que busquem um equilíbrio dinâmico (Moura, 2013, p.7).*

Em complemento, objetivou-se fomentar a inter e multidisciplinaridade ao contribuir com o avanço da disciplina da Arquitetura da Paisagem, bem como ao discutir o desenvolvimento de tecnologias inovadoras, uma estética crítica e métodos de projetos integrativos de diversas disciplinas, ajudando a equipar uma geração de projetistas hábeis a trabalhar com diferentes ambientes e situações complexas. Destaca-se que a Plataforma Mariposa é idealizada desde sua concepção como um produto tecnológico interativo que, por meio de linguagem computacional, possibilita que o usuário exerça influência sobre o conteúdo da operação de modo a viabilizar sua aplicação por diferentes profissionais, seja no setor público (eg. aplicações relacionadas à gestão urbana pelo Poder Público, por meio das secretarias e órgãos públicos) ou no setor privado (eg. aplicações projetuais em loteamentos residenciais).

Por fim, apesar de não ser tema central de discussão desta pesquisa, esta tese é ciente que no processo da construção de algoritmos e da operação com os dados nas plataformas, inúmeros vieses podem ser reforçados, – bem como considera o impacto do desenvolvimento de novas tecnologias para o aumento da desigualdade social. Neste sentido, toda a discussão apresentada sobre o desenvolvimento da citada Plataforma não exclui a adoção de medidas para o combate aos abusos de poder econômico e à proteção da privacidade e dos dados pessoais.

Vale lembrar que é a apropriação dos dados pessoais, de forma gratuita e unilateral, pelos provedores de serviço como matéria prima para fins de análise comportamental que assegura a operação do capitalismo de vigilância (Zuboff, 2021, p. 18-19). As análises comportamentais são transformadas em lucro por meio do oferecimento de serviços variados, principalmente publicitários. Aliados a conectividade em crescimento exponencial, como a popularização da *Internet of Things*, possibilitando que qualquer dispositivo pessoal (celular, relógio, óculos, entre

outros) esteja conectado à internet, promovendo a intensa vigilância da sociedade. Ademais, o desenvolvimento da Plataforma aqui proposta, de forma aberta e participativa, está atenta para os riscos e problemas vinculados ao capitalismo de vigilância e aos vieses da programação, além, é claro, de aderir e respeitar a todo instante os valores éticos e profissionais do paisagismo e das regulações legais incidentes de modo a viabilizar uma sociedade livre e justa, em especial com respeito ao meio ambiente e o fomento da criação e ocupação dos espaços públicos.

## Estrutura da tese

Esta tese testou a hipótese que o *Landscape Information Modeling* auxilia na articulação de parâmetros em projetos complexos da paisagem urbana, em específico de espaços livres multifuncionais, que considere as dimensões políticas, culturais, éticas e simbólicas, possibilitando o tratamento da complexidade, ao mensurar a variação de sua capacidade de provisão de serviços ecossistêmicos.

A pesquisa possuiu o objetivo central de avaliar a performance de projetos de infraestrutura verde no aumento da capacidade de provisão de serviços ecossistêmicos em comparação a cenários de retrato da realidade urbana por meio do sistema de modelagem da informação, denominado *Landscape Information Modeling*, contribuindo para a capacidade resolutiva nos processos decisórios.

Dentre os objetivos específicos alcançados pela pesquisa, é possível destacar os seguintes:

- » Desenvolver o conceitual do *Landscape Information Modeling* que gere cenários de retrato da realidade urbana e de simulação de alternativas de projeto de infraestrutura verde a partir de uma exploração criativa dos diversos padrões que os espaços livres verdes poderão assumir no tecido urbano, com novas funções infraestruturais, além das já atendidas nas intervenções tradicionais;
- » Entender a performance dessas alternativas quanto à capacidade de provisão de serviços ecossistêmicos, prevendo tendências e avaliando potencialidades, restrições e conflitos de interesses;
- » Auxiliar nos processos decisórios de projetos de infraestrutura verde a partir da integração de variáveis hidrológicas, ecológicas, de conforto ambiental e estético, aumentando a capacidade resolutiva;

- » Contribuir com a análise sistêmica das questões ambientais urbanas ao gerar projetos de paisagens inteligentes com potencial multifuncional recreativo, contemplativo e de convivência, de manejo das águas urbanas, abrigo à fauna e também em larga escala, de aumento da resiliência da cidade às mudanças climáticas;
  
- » Possibilitar, a partir da Plataforma Mariposa, simular, modelar e adaptar o projeto a todo instante e detectar com antecedência todas as interferências entre as disciplinas, com rápida visualização de conflitos;
  
- » Fomentar a interdisciplinaridade ao contribuir com o avanço da disciplina da Arquitetura da Paisagem ao desenvolver tecnologias inovativas, uma nova estética crítica e métodos de projetos integrativos de diversas disciplinas, ajudando a equipar uma nova geração de projetistas hábeis a trabalhar com ambientes complexos.

A tese é composta por esta introdução e quatro capítulos, considerações finais e referências bibliográficas. Os dois primeiros capítulos oferecem uma base teórica que subsidia os resultados e discussão da conceituação do LIM e aplicação da Plataforma Mariposa nos capítulos seguintes.

No **capítulo 1**, o enfoque recai no estudo dos serviços ecossistêmicos em áreas urbanas, fluxo, demanda, oferta e modelagem. Dedicase a problematizar se as áreas verdes urbanas provêm serviços ecossistêmicos, com uma análise sobre as diferentes percepções em uma revisão sistemática de literatura. Embora prevaleça uma divergência na comunidade científica, esta pesquisa entende que as áreas verdes urbanas são parte de um ecossistema. Ao considerar tal definição é sublinhado que esta premissa não exige uma escala precisa (e exclusiva), mas sim a necessidade de compreender uma interação dinâmica entre seres vivos (incluindo suas funções ecológicas) e o meio. Ainda que os serviços ecossistêmicos tenham sido intensamente examinados em certos domínios, poucas pesquisas os avaliaram no tipo de paisagem urbana (Larson et al., 2016). Defende-se, assim, a importância da incorporação das áreas urbanas na agenda da Ecologia da Paisagem.

O **capítulo 2** aborda os conhecimentos necessários a proposição do *Landscape Information Modeling*, descrevendo suas bases teóricas, premissas e variáveis aplicadas ao projeto de paisagem urbana. Desta forma, são componentes do capítulo a modelagem paramétrica, algorítmica e generativa. Além dos projetos orientados ao desempenho no qual se baseia o LIM.

Esses capítulos oferecem a base conceitual para os **capítulos 3 e 4** que tratam da conceituação do LIM e a viabilidade técnico-científica de sua aplicação a partir da Plataforma Mariposa, em nível

de protótipo. Considerando o desafio de avançar em metodologias que possibilitem o estudo dos espaços livres a partir de sua multifuncionalidade, a pesquisa propõe um encaminhamento concreto que auxilie na tomada de decisão para o planejamento e gestão dos espaços livres, atenta à questão da provisão de serviços ecossistêmicos à população. São descritos os procedimentos adotados nesta tese, descrevendo o percurso metodológico da pesquisa em andamento e a delimitação do recorte das áreas de estudo. Com a contextualização da área de estudo, com projeto de infraestrutura verde. Os dados obtidos serão criticados e comparados com literatura pertinente. No final, esta tese conclui sobre a importância da aplicação do processo LIM nos projetos de paisagem, em especial via plataformas digitais.

# CAPÍTULO 1

## ÁREAS VERDES URBANAS PROVÊM SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS?

Este capítulo inicial apresenta uma base conceitual importante para o desenvolvimento da hipótese da tese, a saber: a importância da metodologia baseada no conceito de modelagem da informação para lidar com a complexidade inerente ao projeto urbano de paisagem.

Para esta tese a discussão da complexidade em grande medida se relaciona ao debate dos serviços ecossistêmicos em áreas urbanas, elemento fundamental para a defesa de uma modelagem que leve em consideração a provisão desses serviços.

Ao admitir que as áreas verdes urbanas são parte de um ecossistema, a tese sustenta que é necessário compreender uma interação dinâmica entre seres vivos (incluindo suas funções ecológicas) e o meio que estão situados, de modo a avaliar os serviços em questão. Ainda que os serviços ecossistêmicos tenham sido intensamente examinados em certos domínios, poucas pesquisas os avaliaram no tipo de paisagem urbana – o que reforça o ineditismo da pesquisa apresentada. Defende-se, assim, a importância da incorporação das áreas urbanas na agenda da Ecologia da Paisagem e de modo a justificar a importância da modelagem da informação da paisagem.

### **Uma análise sobre as diferentes percepções em uma revisão sistemática de literatura**

Prevalece uma divergência na comunidade científica em relação ao entendimento das áreas verdes urbanas enquanto parte de um ecossistema. Para um local ser considerado parte de um ecossistema deve-se admitir que não há uma escala precisa (e exclusiva), mas sim a necessidade de uma interação dinâmica entre seres vivos (suas funções ecológicas) e o meio. De um lado, ao entender que muitas das fronteiras entre os diferentes ecossistemas podem ser difusas (Rebele, 1994), alguns autores defendem a aplicação desse conceito às áreas urbanas ao partirem do pressuposto de não desvincular as relações entre o meio natural do social, em especial da intervenção humana.<sup>7</sup> Tal perspectiva supera a defesa de uma “natureza intocada” (Diegues, 1994) ao compreender a paisagem

---

<sup>7</sup> Ver Lima & Queiroga, 2007; Queiroga, 2014.

enquanto fruto da interação entre questões socioeconômicas e processos biofísicos, postura esta que não recai no extremo domínio dos sistemas tecnológicos.

Segundo Bolund & Hunhammar (1999), por exemplo, quando consideramos a humanidade enquanto parte da natureza, as próprias cidades podem ser consideradas como uma rede global de ecossistemas. Esta posição admite o ecossistema como um conjunto de espécies interagindo e seu ambiente local, não biológico, funcionando em conjunto para sustentar a vida (Moll & Petit, 1994). Em outras palavras, trata-se de todas as plantas, animais e microrganismos que vivem e interagem de forma dinâmica em uma determinada área, juntamente com a relação complexa que existe entre eles e seu ambiente.

Essa visão, adotada neste projeto de pesquisa, admite que as ações humanas são relativas a todos ecossistemas, independentemente de sua proximidade com áreas urbanas. Tal perspectiva compreende que é inerente ao processo de urbanização, seja no meio urbano ou rural, causar impactos e alterações na paisagem – mas que não a descaracterizam enquanto ecossistema.<sup>8</sup>

Nota-se também que esta visão já incorpora o caráter da complexidade na vida social, isto porque não isola e observa as ações humanas como algo estático e separado do ambiente. Ao contrário, pressupõe que a ação humana é elemento do ambiente, o que torna mais difícil compreender as consequências e efeitos, mas, ao mesmo tempo, é uma observação mais realista e rigorosa que busca compreender a operação de várias dinâmicas dos ecossistemas.

Por outro lado, muitos pesquisadores contrapõem esta ideia ao entender que, por exemplo, a presença de árvores isoladas e imersas no meio urbano em espaços confinados, sem uma macrofauna associada, não necessariamente configuraria enquanto um ecossistema. Vale lembrar que este conceito foi cunhado para abordar a interação entre organismos da natureza (Tansley, 1935) e sua aplicação depende em alguma medida de observar uma capacidade do ecossistema suportar, organizar e manter equilibrada uma comunidade de organismos (Karr & Dudley, 1981) sem distúrbio associado.<sup>9</sup>

Apesar das divergências, há um interesse crescente em entender melhor o provisionamento dos serviços ecossistêmicos<sup>10</sup> por áreas verdes urbanas; particularmente dentro do contexto da rede de

---

8 Nesta vertente os mosaicos urbanos são tratados como sistemas socioecológicos, ao incorporar componentes biológicos, sociais e construídos (Pickett, 2016). Sendo primordialmente a partir da década de 1990 que a Ecologia desperta para as áreas urbanas como um habitat legítimo para estudo (Grimm et al., 2000). Admite-se, portanto, uma ciência ecológica urbana (McDonnel, 2011).

9 A questão do distúrbio é um desafio para os ecologistas, Chapin e Starfield (1997), cunharam o conceito “novo ecossistema” para descrever ecossistemas com características bióticas e / ou abióticas alteradas pelos seres humanos. A avaliação do MA (2005) trata de toda a gama de ecossistemas – daqueles relativamente não perturbados, como florestas naturais a paisagens com padrões mistos de uso humano e ecossistemas gerenciados e modificados intensivamente por seres humanos, como terras agrícolas e áreas urbanas. Veja também MORSE et al., 2014.

10 O conceito ES, é definido pela Millennium Ecosystem Assessment (MA) (2005) como os benefícios que os humanos obtêm da natureza.

infraestrutura verde de espaços livres<sup>11</sup> públicos (por exemplo, parques, florestas e praças urbanas e árvores associadas ao sistema viário) e privados (áreas ajardinadas privadas). Para este texto, infraestrutura verde refere-se a “uma rede interconectada de espaços verdes que conserva os valores e funções dos ecossistemas naturais e que fornece benefícios associados às populações humanas” (Benedict & McMahon, 2012, p. 12).

Hurley e Emery, 2018, por exemplo, colocam a necessidade de um entendimento mais completo de como os **ecossistemas urbanos**, particularmente as florestas urbanas, aumentam o bem-estar humano. Para esses autores é preciso admitir que as áreas verdes das cidades<sup>12</sup> sejam consideradas ecossistemas urbanos. Um outro exemplo é extraído da tabela do CICES<sup>13</sup> (2018), trata-se do serviço de regulação de filtração de poeira por árvores urbanas, cujo benefício pode ser a redução de doenças respiratórias. Já Daily (1997) cunha o conceito de serviços ecossistêmicos enquanto condições e processos que fornecem real suporte à vida, através dos quais **ecossistemas naturais** e as espécies que os compõem, sustentam e atendem a vida humana. Há, portanto, uma premissa do serviço associada ao espaço natural.

Este trabalho, adota o marco conceitual desenvolvido pela IPBES que estabelece uma linguagem comum para as variáveis, foco dos diagnósticos, resumindo em palavras e imagens as relações entre as pessoas e a natureza (Diaz et al. 2015). No marco conceitual da IPBE, os serviços ecossistêmicos recebem abordagem mais ampla incluindo outras visões de mundo e o relacionamento do homem com a natureza (Joly, 2019). As contribuições da Natureza para as Pessoas (*Nature's Contributions to People*) se referem a “todas as contribuições positivas, ou benefícios e, ocasionalmente, contribuições negativas ou perdas, que as pessoas obtêm da natureza” (Pascual et al. 2017).

Muitos trabalhos discutem os serviços ecossistêmicos fornecidos por ambientes urbanos, ressaltando benefícios diretos e indiretos como serviços de regulação (por exemplo, melhoria da poluição) e serviços de suporte (por exemplo, biodiversidade<sup>14</sup>) entre outros, como serão analisados neste trabalho.

---

11 Os espaços livres de edificação para Magnoli (1982) são: quintais, jardins públicos ou privados, ruas, parques, rios, mangues e praias urbanas, tais espaços formam, um “tecido pervasivo”, sem o qual não se concebe a existência das cidades, estão por toda parte, mais ou menos processados e apropriados pela sociedade; constituem, quase sempre, o maior percentual do solo das cidades brasileiras (Pinheiro, 2004). Os espaços livres podem ser categorizados conforme sua acessibilidade, função, forma e usos (Sandre, 2017) e pela presença de vegetação ou área permeável.

Para espaços livres ver Magnoli, 2006; Macedo, 1999; Queiroga, 2014.

12 Nesse trabalho adota-se a concepção da Resolução CONAMA n.º 369/2006 que considera área verde “o espaço de domínio público que desempenhe função ecológica, paisagística e recreativa, propiciando a melhoria da qualidade estética, funcional e ambiental da cidade, sendo dotado de vegetação e espaços livres de impermeabilização”.

13 Não se pretende neste artigo discutir quanto a viabilidade da aplicação da tabela do CICES, nem quanto ao modelo em cascata. Apenas selecionou-se um exemplo de serviço localizado em área urbana.

14 Ver Elmqvist et al., 2013 e também Haase, Frantzeskaki e Elmqvist, 2014.

Diante dos diferentes serviços promovidos por áreas verdes urbanas e considerando uma revisão sistemática de literatura, busca-se mapear e identificar os argumentos que sustentam como (e se) as áreas urbanas provêm serviços ecossistêmicos por meio de uma revisão sistemática de literatura.

Considerando a necessidade do entendimento de como manter ou aprimorar o fornecimento de serviços ecossistêmicos urbanos relacionados à água, um segundo recorte foi feito para um exame mais pormenorizado. Este recorte se justifica na medida em que é possível admitir a infraestrutura verde como um método projetual capaz de examinar serviços ecossistêmicos, tais como o de regulação hídrica que permite reduzir o risco de inundações e recuperar a qualidade dos corpos d'águas. Quando relacionados aos elementos hídricos estes benefícios, por exemplo, incluem abastecimento de água potável (provisão), prevenção de inundação (regulação) e atividades recreativas e de lazer (cultural).

Deve-se pontuar também que dentre todos os serviços ecossistêmicos àqueles relacionados à água estão entre as mais importantes para o bem-estar humano (Brauman et al., 2007; de Groot et al., 2010; Keeler et al., 2012; Seifert-Dhnn et al., 2015 apud Hackbart et al., 2017). Portanto, é relevante fazer um mapeamento da literatura para compreender o nível de interesse da pesquisa no assunto de serviços hídricos, bem como quadro teórico adotado por eles na atribuição de valor (Hackbart et al., 2017).<sup>15</sup>

Destaca-se, por fim, que não se pretende defender um modelo normativo e nem esclarecer a divergência apontada, trata-se antes de compreender as diferentes posições apresentadas pela literatura. Este capítulo possui um viés descritivo. Questiona-se, assim, como as áreas verdes urbanas podem ser consideradas enquanto fornecedoras de serviços ecossistêmicos? E como são mensurados estes serviços?

O capítulo está dividido em três partes, além desta introdução. Na sequência são apresentados o método de pesquisa e o detalhamento de todas as etapas do levantamento e codificação dos textos analisados. Ainda, os resultados e discussões são indicados com o propósito de esclarecer o estado da arte em relação à indagação formulada. No final, o capítulo indica o crescimento de pesquisas que apontam para a importância do exame dos serviços ecossistêmicos providos por áreas verdes urbanas.

---

15 As bacias hidrográficas fornecem bens e serviços essenciais para sustentar ecossistemas e meios de subsistência das pessoas da região; por exemplo, a produtividade primordial e os insumos de bacias hidrográficas sustentam as redes alimentares que produzem peixe para fins comerciais e recreativos; decomposição e absorção biológica purifica o suprimento de água removendo materiais e nutrientes orgânicos (Naiman et al., 1995) Já as florestas urbanas promovem importantes serviços ecossistêmicos relacionados à água, tanto quantitativos quanto qualitativos (Kermavnar & Vilhar, 2017)

## Método

É apresentado na sequência o método de pesquisa realizado com todas as etapas para seleção dos artigos para análise de literatura, a saber: base de dados; critérios para inclusão e exclusão de artigos; e critérios para análise de literatura (Figura 1).

### Base de dados

A pesquisa bibliográfica foi realizada em um conjunto de dados de dados científicos indexados no ISI Web of Science em três estágios usando seletores de consulta (Tabela 1).

### Critérios para seleção de artigos

Uma pesquisa bibliográfica foi utilizada para investigar o uso do termo “serviço ecossistêmico” relacionado às áreas verdes urbanas. Como a pesquisa de Hackbart et al. (2017) demonstrou ser o termo relativamente novo, optou-se por incluir a sua lista de sinônimos de outros estudos (Costanza et al., 1997; De Groot et al., 2002; Lamarque et al., 2011; Lele et al., 2013) com o intuito de abarcar todas as pesquisas realizadas com essa temática para a revisão de literatura e os termos combinados (Tabela 1).

Os termos da Tabela 1 foram pesquisados em títulos, palavras-chave e/ou nos resumos de artigos publicados em revistas científicas, em inglês, no período de 1º de janeiro de 1960 a 1º de setembro de 2018, conforme método realizado por Hackbart et al. (2017) e de Araújo Barbosa (2015).<sup>16</sup> A partir da lista de artigos científicos obtida em ambas as bases de dados (e retirada possíveis duplicações de artigos), o segundo passo foi selecionar àqueles relacionados as áreas urbanas.<sup>17</sup> A data de 1960 foi selecionada para início do recorte tendo em vista a importância dessa década para os estudos sobre ecologia nas cidades.

---

16 A filtragem dos dados se deu com o uso do software EndNote.

Filtrar, organizar, analisar criticamente os resultados das pesquisas nas em bases de dados online, como é o caso da ISI Web of Knowledge, só se torna procedente com o auxílio de um programa de gestão bibliográfica, como é caso do EndNote. Depois da seleção dos textos a incluir na revisão de literatura, este programa constituirá um excepcional recurso para organizar referências bibliográficas, com facilidade de acesso e atualização de forma simples e devidamente sincronizadas com o processador de texto Word. (Ramos, 2014).

17 Não é objetivo deste trabalho destrinchar o que se entende por urbano e cidade. De forma a eliminar possíveis ambiguidades, visto as diferentes acepções de urbano, no âmbito desta pesquisa considerou-se como área urbana a classificação do uso da terra utilizada pelos autores dos artigos levantados.

Tabela 1. Termos selecionados para consulta na Base de Dados ISI Web Of Science.

Termos (simples)	Termos combinados Primeiro passo	Áreas urbanas Segundo passo
<p>“ecosystem service*” OR                      “ecosystem good*” OR                      “ecosystem benefit*” OR                      “nature* service*” OR                      “nature* good*” OR                      “nature* benefit*” OR                      “environmental* service*” OR                      “environmental* good*” OR                      “environmental* benefit*” OR                      “ecological service*” OR                      “ecological good*” OR                      “ecological benefit*”</p>	<p>“ecosystem good* and service*” OR                      “nature good* and service*” OR                      “environmental good* and service*” OR                      “ecological good* and service*”</p>	<p>“urban eco*” OR                      “green* urban* areas” OR                      “urban park*” OR                      “urban forest” OR                      “urban linear park*” OR                      “urban corridor*” OR                      “green square” OR                      “green backyard” OR                      “urban watershed”</p>

## **Critérios para inclusão ou exclusão dos artigos**

Os artigos incluídos na análise seguiram os seguintes critérios:

- » As palavras-chave pré-definidas (Tabela 1) devem existir em pelo menos um dos campos: título, palavras-chave ou resumo;
- » O artigo deve ser escrito em inglês; e
- » O artigo deve ser publicado entre 1º de janeiro de 1960 a 1º de setembro de 2018.

Quanto aos critérios de exclusão:

- » Não foram incluídos livros, capítulos de livros, teses de mestrado ou doutorado, resumos ampliados e resumos de eventos científicos e revisões;

Do total de artigos encontrados nos passos 1 e 2 (Tabela 1) foram excluídos os artigos referentes a revisões, opinativos, estrutura e composição da paisagem e planejamento, projeto e manejo de áreas verdes urbanas;

Após a etapa de discriminação, descrita a seguir, foram excluídos os artigos de serviços ecossistêmicos de cultura e suporte.

## **Critérios de análise dos trabalhos selecionados**

O montante de artigos foi separado conforme a divisão de serviço ecossistêmico proposta pela MA (2005) em culturais, provisão, regulação e suporte.

Após esta etapa, os artigos foram discriminados com relação ao tipo de SE encontrado (Tabela 2).<sup>18</sup>

---

<sup>18</sup> Muito embora tenha sido verificada uma incoerência entre o entendimento de serviço e benefício pelos artigos, estes dois conceitos não foram diferenciados na análise por não serem alvo de discussão neste trabalho.

Tabela 2. Serviços ecossistêmicos urbanos encontrados na seleção dos artigos e sua descrição (baseados nos trabalhos de de Groot et al., 2011 e La Note, 2017).

SE	Tipo de SE	Descrição
Suporte	Habitat	Importância dos ecossistemas para fornecer habitat de reprodução, alimentação ou descanso e Biodiversidade, Integridade do habitat (tamanho crítico mínimo)
	Proteção do Pool Genético	
Culturais	Recreação, espirituais, educacionais, patrimônio	Voltados à apreciação estética, valores recreativos, educacionais, paisagens culturalmente importantes
Provisão	Alimentação	Plantas comestíveis
	Fibra e energia	Presença de espécies com potencial uso de madeira, combustível ou matéria-prima
Regulação	Água (Proteção contra inundações e alagamentos e melhoria da qualidade)	Quantidade de água (diminuição do escoamento superficial e dos riscos de inundação)  Qualidade (Papel da biota e processos abióticos na remoção ou quebra de matéria orgânica, nutrientes xênicos e compostos)
	Regulação da qualidade do ar	Redução da poluição  Capacidade do ecossistema de extrair substâncias químicas da atmosfera (ozônio, partículas sólidas)
	Regulação do clima local	Influência dos ecossistemas na temperatura local por meio de cobertura vegetal
	Regulação do clima global	Influência dos ecossistemas na temperatura global por meio de cobertura vegetal pela redução das concentrações de gases de efeito estufa (ênfoque exclusivo em sequestro de carbono)
	Polinização e dispersão	Abundância e efetividade
	Controle biológico de pragas	Controle de pragas por regulação trófica
Múltiplos serviços		mensuração de 2 ou mais serviços ecossistêmicos
Valoração de múltiplos serviços		Valoração (exclusivamente financeira)
Valoração por percepção		Valoração por percepção das áreas verdes urbanas pela população

Para análise de literatura e metodologia foram excluídos os serviços de suporte, culturais, de percepção e valoração.<sup>19</sup> Visto que não é foco desta pesquisa verificar como os SE são percebidos pela população em áreas verdes urbanas, mas sim a sua mensuração em termos de controle de inundação, redução da poluição difusa e sequestro de carbono.

A análise de literatura dos métodos dos artigos levantados, referente aos serviços ecossistêmicos em áreas urbanas hídricas (SEw) e de sequestro de carbono (SEc), se deu a partir de um conjunto de requisitos mínimos para realizar a sua avaliação (Tabela 3). Os artigos discriminados para análise continham: informações específicas sobre a mensuração dos SE em áreas verdes urbanas e a descrição metodológica a partir de um estudo aplicado a uma área. O conjunto com indicadores e o foco basearam-se em Hackbart et al. (2017) para estudo de SE relacionados à água e nos estudos realizados por Pellegrino et al. (2006) e Lima & Queiroga (2007) relacionado aos espaços livres de edificação urbanos.

Tabela 3. Indicadores relacionados à efetividade da valoração dos SE em áreas urbanas utilizados para avaliar a bibliografia selecionada nesta pesquisa.

Indicadores	Artigo
Uso de índices estabelecidos	Seleciona variáveis baseadas em princípios científicos relevantes relacionados a SE em áreas verdes urbanas: sensíveis a sua localização e composição; além disso, devem ser capazes de resumir, simplificar e facilitar a interpretação, o acesso e a comunicação sobre as opiniões dos pesquisadores
Escala	Identifica escalas espaciais (2 ou mais locais) e temporais apropriadas para representar os SE em áreas verdes urbanas que sejam consistentes com funções ecossistêmicas
Dinâmica e estrutura da paisagem	Garante que os tipos de uso da terra e a configuração da paisagem são como elementos que guiam a mensuração do SE da área verde urbana, além de evidências da factibilidade de fornecimento do SE. Considera e analisa a proveniência do serviço, se em florestas urbanas, parques urbanos ou de árvores plantas no sistema viário
História	Considera períodos diferentes (1 ou mais anos) para mensurar o SE e os inclui como elementos da avaliação da situação atual do SE em área verde urbana
Construção de cenários	Define o cenário ideal ou os melhores cenários possíveis obtidos a partir dos maiores valores do ecossistema, explorando opções de uso da terra em uma análise espacial
Planejamento e Projeto	Define estratégias para planejamento e/ou realiza um projeto de forma a conservar e/ou aumentar os SE em áreas verdes Objetiva-se analisar como são incorporados os serviços ecossistêmicos ao planejamento e projeto urbanos, de forma a considerar o universo de questões relativas à paisagem de modo transdisciplinar

19 Os serviços de suporte classificados foram excluídos na etapa anterior dado que, majoritariamente, se tratavam de levantamento de biodiversidade (eg. Hui, N. et al., 2017). Embora a classificação do CICES não reconheça o suporte enquanto serviço optou-se por mantê-lo em vista a não excluir artigos anteriores à classificação realizada em 2017.

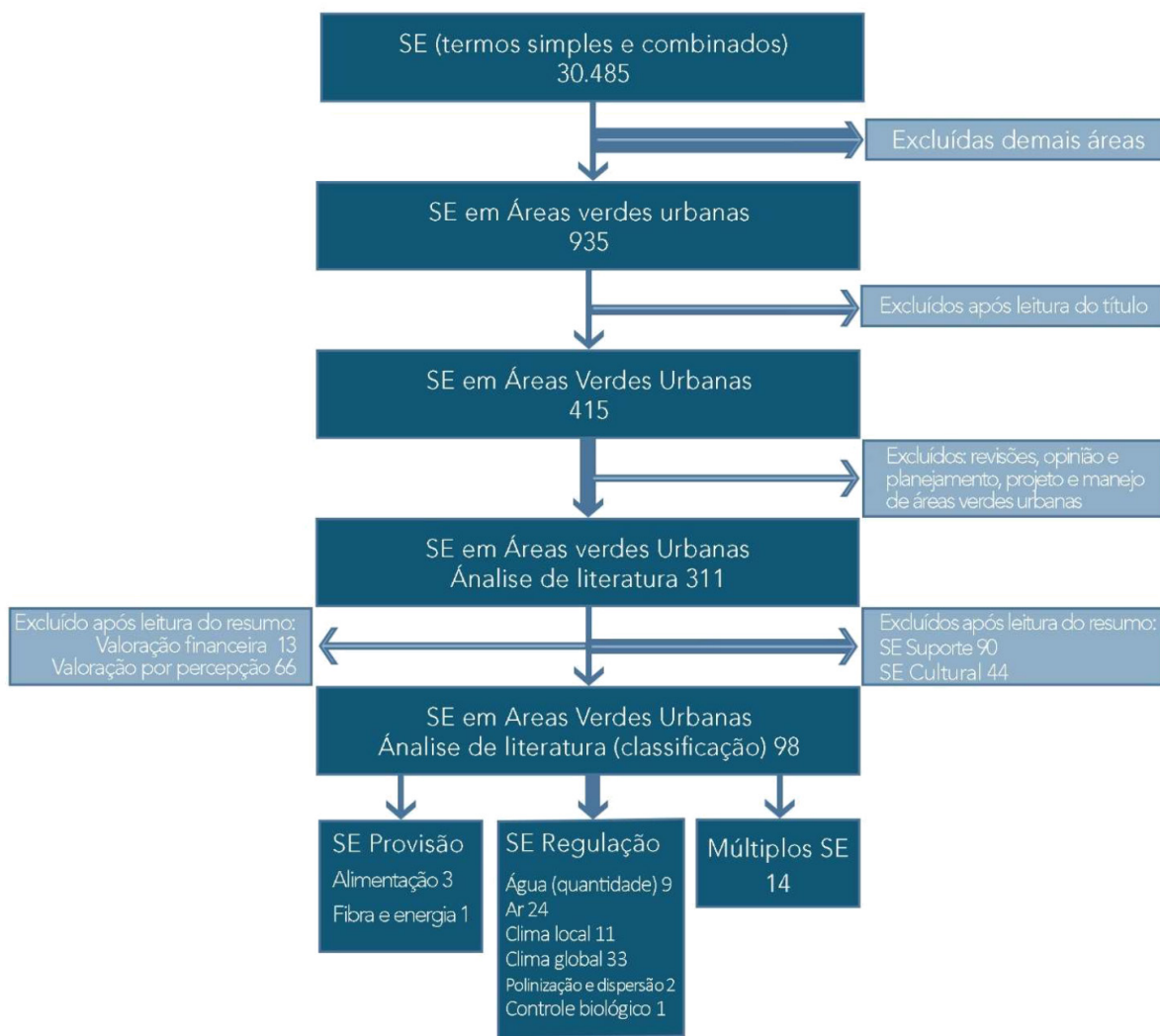


Figura 1. Fluxograma síntese do processo de seleção dos artigos pesquisados. O número de artigos em cada etapa esta indicado e o tamanho da seta indica graficamente a sua quantidade (mantida ou excluída da análise). SE em as áreas não urbanas foram excluídos. Após esta seleção, foram excluídos trabalhos opinativos, de revisão, exclusivos a projeto e planejamento e de desserviço de áreas urbanas. O total de SE em áreas urbanas (311) foram divididos após leitura do resumo em culturais, provisão, regulação, suporte, múltiplos SE e de valoração. Após a exclusão dos de suporte, culturais e valoração os artigos foram analisados quanto ao exemplo de SE. Por fim, os serviços de água (quantidade e qualidade) e de sequestro de carbono foram analisados quanto aos indicadores da Tabela 2.

## Resultados e Discussão

A pesquisa indicou que entre 1º de janeiro de 1960 e 1º de setembro de 2018, um total de 30.485 artigos foram publicados sobre o tema SE, dentre estes 935 artigos tratam, em algum momento, de áreas verdes urbanas em palavras-chave, títulos e/ou resumos (Figura 2).

Constatou-se que já existe acumulado mais de uma década de pesquisas documentando serviços ecossistêmicos fornecidos por espaços livres urbanos, incluindo serviços de regulação, por exemplo, sequestro de Carbono (Alonzo et al., 2016; Bae et al., 2015; Bartlett et al., 2011; Boukili et al., 2017; Carretero et al., 2017; Clerici et al., 2016; Delphin et al., 2013; Dorendorf et al., 2015; Escobedo et al., 2010; Freedman, 1996; Friess et al., 2016; Giannico et al., 2016; Golay et al., 2016; Gratani & Varone, 2014; Han, et al., 2018; Horn et al., 2015; Liu & Li, 2012; LV, et al., 2016; McPherson, et al., 2013; Nowak, 2013; Pace et al., 2018; Reynolds, 2017; Schmitt, et al., 2013; Singh et al., 2017; Strohbach et al., 2012; Tigges, et al., 2017; Timilsina, 2014; Vaccari, et al., 2013; Wang & Jiunn-Cheng, 2012; Yao, et al., 2017; Zhao & Sander, 2018; Kraxner et al., 2016); e de provisão, por exemplo em pesquisas recentes ao fornecimento de alimentos (Hurley & Emery, 2018; Jujnovsky, et al., 2012; Zinia & McShane, 2018); e com relação as florestas urbanas são reconhecidos benefícios como a retenção de água de chuva, regulação de inundações (Sanders, 1986), proteção da qualidade da água (Xiao et al., 1998); e a redução da poluição do ar (Jim & Chen, 2008; Baro, Francesc et al., 2014).

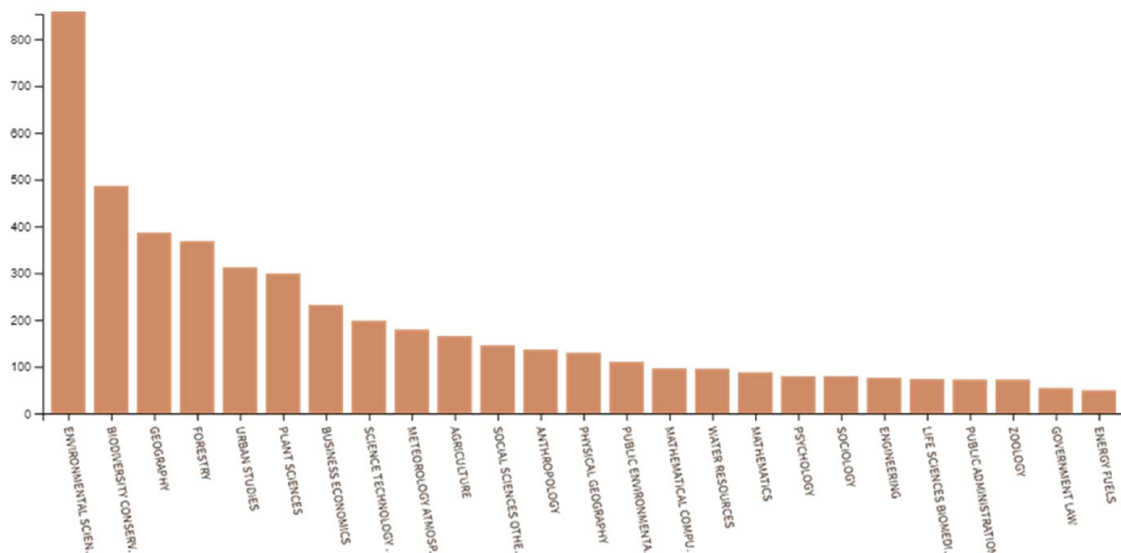


Figura 2. Área de pesquisa dos 935 artigos que tratam de Serviços Ecossistêmicos em áreas verdes urbanas no período de 1º janeiro de 1960 a 1º de setembro de 2018. Os artigos podem contemplar 1 ou mais áreas.

Fonte: autora, base de dados ISI Web Of Science

Entre os 935, 624 foram excluídos por não preencherem os critérios de análise, tratavam-se de artigos de revisão, opinativos e de planejamento, projeto e manejo de áreas verdes urbanas. Dos 311 artigos que se referiam a serviços ecossistêmicos em áreas urbanas, após leitura do resumo, foram divididos em serviços culturais (44), suporte (90), regulação (80), provisão (4), múltiplos SE (14), valoração monetária de múltiplos serviços (13) e valoração por percepção (66).

Os 311 foram classificados conforme o tipo de serviço (Figura 3, Tabela 2). Os serviços de suporte referiam-se majoritariamente a levantamento de biodiversidade urbana (Hui et al., 2017; Ferreira et al., 2018) e os culturais a questões recreacionais das áreas verdes (e.g. Fischer, et al., 2018). Os de valoração por percepção procuravam estabelecer uma conexão entre os serviços definidos por cientistas daqueles percebidos e apreciados pelo público em geral<sup>20</sup> (Larson et al., 2016).

Tanto os serviços culturais como os de suporte não foram incluídos na análise de literatura e metodologia por não se referirem diretamente a resposta da efetividade de serviços ecossistêmicos em áreas verdes urbanas. Ainda que existam estudos que apresentem ser a biodiversidade importante para o funcionamento do ecossistema (Harrison et al., 2014), ela é entendida como um “apoio” para sustentar a produção de serviços finais (CICES, 2018; Potschin-Young et al., 2017).

Isso não quer dizer que este “suporte” realizado pela riqueza de espécies não seja importante, mas sim que não trata-se de um serviço direto realizado pelo ecossistema (CICES, 2018). Muito embora, alguns críticos temem que, se esses elos não forem tão claros quanto se postulava anteriormente, maximizar apenas os aspectos dos ecossistemas que fornecem serviços aos humanos não protegerá necessariamente a biodiversidade, e o impulso para tornar este conceito uma parte integrante de qualquer política não fornecerá a sustentabilidade pretendida (Schröter et al., 2014).

Entretanto, é importante destacar dois fatores quanto à biodiversidade e ao SE. Primeiro, ainda que o artigo tenha em suas palavras-chave, resumo ou título o termo SE (ou correlatos), este não é parâmetro suficiente para que possa se afirmar que ele considere ser a biodiversidade um SE ecossistêmico de suporte. Segundo, muitos dos artigos foram desenvolvidos antes da classificação do CICES (2018) e, portanto, ainda havia (e há) controvérsias em relação aos serviços de suporte.

Entre as 311 publicações, 42 sobre serviços de regulação hídrica (9) e de sequestro de carbono (33) foram selecionados para compor um conjunto de dados sendo analisados sob o aspecto metodológico (Anexo 1). Dessa forma, 42 artigos foram selecionados para compor um conjunto de dados para análise porque preencheram os critérios de (i) presença de métodos de avaliação descritos e aplicados (com enfoque em regulação) e de (ii) foco central de SE em áreas verdes urbanas.

---

20 Como o estudo que explorou as percepções do público sobre o SE urbanos em duas cidades dos EUA, os respondentes dos questionários reconheceram todos os tipos de ES, embora os “benefícios ambientais” (regulação da qualidade do ar e da água; reconhecidos por 74% dos entrevistados) fossem menos amplamente reconhecidos do que benefícios culturais (90%) ou “benefícios experienciais” (98%) (Larson et al., 2016).

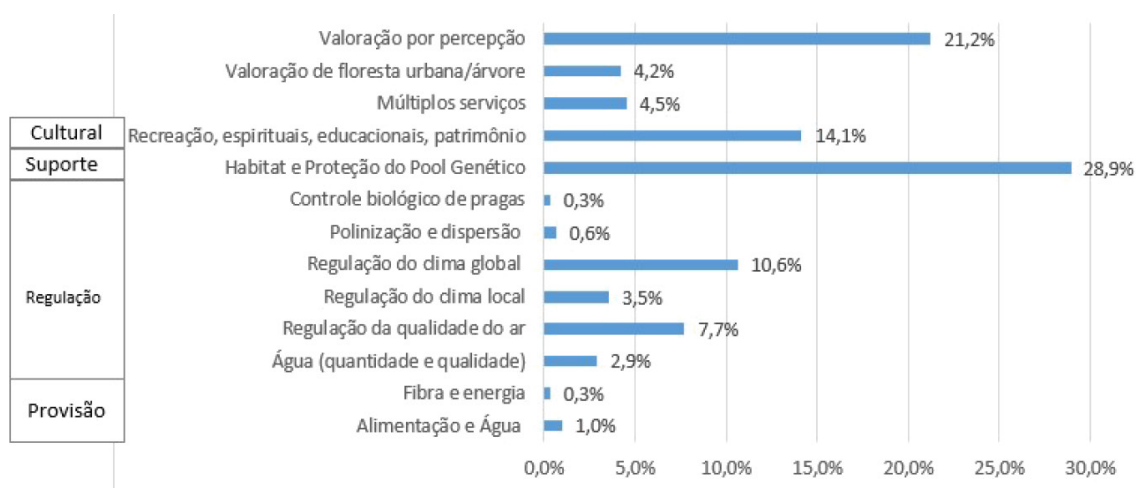


Figura 3. Distribuição dos Serviços ecossistêmicos valorados em áreas verdes urbanas.

Fonte: autora, base de dados ISI Web Of Science

O número baixo de publicações relacionadas aos serviços hídricos (apenas 5% com metodologia avaliada e descrita de 935 artigos de áreas verdes urbanas), sugere, para Hackbart et al. (2017)<sup>21</sup> que, por um lado, há amplo interesse internacional e, por outro lado, existe uma contribuição para o planejamento ambiental, ainda que esta seja insuficiente dar suporte aos tomadores de decisão em face a diversidade de paisagens e condições de uso dos recursos hídricos em todo o mundo.

### Avaliação por indicadores

Os trabalhos foram analisados quanto aos métodos utilizados e à aplicação de variáveis baseadas em princípios científicos relevantes relacionados ao SE em áreas verdes urbanas. As publicações foram avaliadas quanto a capacidade de resumir, simplificar e facilitar a interpretação, o acesso e a comunicação sobre as opiniões/dados das pesquisas. Os resultados indicaram que em todos os artigos selecionados foram adotados algum tipo de indicador ou índice para a avaliação dos SEw e de SEc.

Quanto aos SEc todos os trabalhos utilizaram medidas de carbono enquanto proxy para a regulação climática global. Destes 64% dos trabalhos utilizaram equações alométricas e dados do diâmetro a altura do peito (DAP) para cálculo de estimativas de biomassa (Alonzo et al., 2016;

<sup>21</sup> As autoras, em pesquisa sobre serviços ecossistêmicos hídricos, encontram um total de 3% de 1.688 artigos que utilizaram recursos hídricos como ES e tiveram uma metodologia descrita.

Bae et al., 2015; Bartlett et al., 2011; Boukili et al., 2017; Carretero et al., 2017; Clerici et al., 2016; Delphin et al., 2013; Dorendorf et al., 2015; Escobedo et al., 2010; Freedman, 1996; Friess et al., 2016; Giannico et al., 2016; Golay et al., 2016; Gratani & Varone, 2014; Han, et al., 2018; Horn et al., 2015; Liu & Li, 2012; LV, et al., 2016; McPherson, et al., 2013; Nowak, 2013; Pace et al., 2018; Reynolds, 2017; Schmitt, et al., 2013; Singh et al., 2017; Strohbach et al., 2012; Tigges, et al., 2017; Timilsina, 2014; Vaccari, et al., 2013; Wang & Jiunn-Cheng, 2012; Yao, et al., 2017; Zhao & Sander, 2018; Kraxner et al., 2016), tanto a partir de dados extraídos do LiDAR quanto de modelagem de amostras.

Algoritmos e modelos que associam propriedades a tipos funcionais de plantas ou grupos de espécies ao seu impacto em um ecossistema específico foram desenvolvidos, um exemplo é o método automatizado i-Tree Eco (Pace et al., 2018). O uso de ferramentas do i-Tree Streets (interceptação de águas pluviais) e i-Tree Eco Model ocorreu em 13% dos SEw (do total de 8) (Berland & Hopton, 2014) e 21% (do total de 33) dos SEc (Alonzo, et al., 2016; Boukili, et al. 2017; Nowak et al., 2013; Reynolds et al., 2017; Schmitt-Harsh et al., 2013; Timilsina et al., 2014a; Timilsina et al., 2014b).

O i-Tree é um software do Serviço Florestal do USDA que fornece ferramentas de análise de benefícios e análise florestal urbana e rural, que auxiliam no manejo florestal e os esforços de defesa, quantificando a estrutura da floresta e os benefícios ambientais que as árvores proporcionam.<sup>22</sup> Esta modelagem de ecossistemas pode ajudar, por exemplo, na tomada de decisões em relação ao plantio de árvores urbanas para mitigação das mudanças climáticas e redução da poluição do ar.

Entretanto, este software requer informações sobre as espécies e o diâmetro do caule à altura do peito (DAP) como dados de entrada, além de dados adicionais (incluindo uso e ocupação da terra, altura total da árvore, tamanho da copa e dados de caracterização de espécies) para cálculo de todos os serviços e desserviços do ecossistema.

Em estudo realizado em áreas tropicais, onde a informação de algumas espécies de árvores não estavam disponíveis, os trabalhos usaram valores definidos pelo gênero ou família, isso pode ser particularmente problemático, dado que o modelo foi aplicado a outras regiões que não os EUA, para as quais os parâmetros foram projetados (Pace et al., 2018). Considerando estas limitações, alguns dos estudos de SEc que utilizaram este software para locais que não os EUA, fizeram comparações entre modelagens para mensurar qual o melhor modelo em áreas urbanas (Zhao & Sander, 2018).

Nos estudos feitos em grandes áreas não é possível a pesagem de todas as árvores, portanto, equações para estimativa podem ser ajustadas, correlacionando a biomassa e o carbono com variáveis de fácil medição, como o diâmetro à altura do peito (dap), a área basal, a altura total da árvore ou a altura comercial (Martinelli et al., 1994).

As diferentes metodologias para SEw, em específico o cálculo de interceptação da chuva por áreas verdes, usaram ferramentas do i-Tree; equações alométricas; BasinSim Model; Dados poluição;

---

<sup>22</sup> Disponível em: < <https://www.itreetools.org/about.php> > acesso 08 set. 2018 >

Processo de interceptação da chuva/árvore do modelo de Rutter e Morton, 1977; Hidrogramas com/sem árvores (exceto volume de escoamento); Fluxo volumétrico de seiva; Arquitetura da copa; Stemflow (estimativa/modelagem); Precipitação interceptada pelo dossel (modelagem); BLUi (economic return of land use in R\$/km<sup>2</sup>); Storm Water Management Model (SWMM); Fair Hill NRMA (bacia hidrográfica experimental); Precipitação interceptada pelo dossel (modelagem).

Esta variedade de índices indica que os pressupostos que regem os métodos de análise de SEw em áreas urbanas não apresentam um consenso e variam amplamente entre pesquisadores e regiões, visto que não há uma única abordagem de cálculo para regulação de inundações. Deve-se considerar que os pesquisadores estão no processo de encontrar a melhor maneira de representar os serviços ecossistêmicos hídricos, a partir dos indicadores mais sensíveis, diretamente relacionados e representativos do status destes recursos (Hackbart et al., 2017). Embora seja importante para a prestação de SEw verificar tanto a quantidade (em termos de interceptação de águas pluviais, escoamento superficial e redução do risco de inundações) quanto a qualidade da água (em termos de poluição difusa, concentração de poluentes), estes somente foram avaliados em 2 estudos (Erol et al., 2013; Teng et al., 2012).

Esses índices são úteis para auxiliar atividades de gerenciamento e contribuir para estudos que visem modelar e identificar mudanças na prestação de serviços ecossistêmicos (Niemeijer & de Groot, 2008). Visto que o dossel das árvores reduz o escoamento das águas pluviais, interceptando a chuva, que subsequentemente evapora, infiltra-se no solo ou diminui-se sua contribuição para o escoamento superficial (Xiao et al., 1998).

Quanto aos indicadores econômicos, somente dois trabalhos de SEw utilizaram: um referente a valoração de wetlands e bacias hidrográficas em Quebec, Canadá em diferentes escalas (He et al, 2015); e o outro para valorar uma bacia hidrográfica na cidade de Belo Horizonte, Brasil, utilizando o BLUi (economic return of land use in R\$/km<sup>2</sup>) (Marques et al., 2017).

## Escala

Os 88% SEw e 67% SEc identificaram duas ou mais escalas espaciais para estudar e comparar a regulação hídrica e a regulação climática global por sequestro de carbono em áreas verdes urbanas consistentes com funções ecossistêmicas.

Tratam-se de estudos comparativos entre situações distintas de uso e ocupação da terra para a interceptação de águas pluviais por árvores. Por exemplo, situações entre composição florestais diferentes entre floresta mista urbana, floresta ripária e pinus, em que Kermavnar & Vilhar (2017) verificaram ser a interceptação pelo dossel, durante o período de 6 anos consecutivos, afetada principalmente pela composição de espécies arbóreas, cobertura do dossel e dimensões das

árvores).<sup>23</sup> Para os autores, uma melhor compreensão dos processos de interceptação de precipitação em florestas urbanas é necessária para auxiliar o manejo e planejamento de florestas urbanas, visando maximizar a interceptação do dossel para a mitigação do escoamento de águas pluviais e inundações em bacias hidrográficas urbanizadas.

Outro exemplo, foi o estudo de Berland & Hopton (2014) que verificou o padrão de plantio de árvores no sistema viário de nove comunidades, ao longo de gradientes geográficos e demográficos na região metropolitana de Cincinnati, Ohio: EUA. O estudo constatou que as árvores de rua são componentes cruciais da infraestrutura verde urbana, pois fornecem benefícios de interceptação de águas pluviais e outros serviços ecossistêmicos.

Em que pese o reconhecimento das árvores como essenciais para a prestação de muitos serviços ecossistêmicos nas cidades (Nowak, Hoehn, Crane, Stevens e Walton, 2007; Chen, Adimo, & Bao, 2009; Shackleton et al., 2015), questiona-se se sua permanência isolada ou em aléias no sistema viário configuraria o entendimento da prestação de um serviço necessariamente ecossistêmico? Árvores isoladas são elementos pequenos para serem consideradas ecossistemas por si mesmas e deveriam ser tratadas como parte de um sistema maior (Bolund & Hunhammar, 1999), logo este tipo de estudo não mensuraria o SE, mas outro tipo de serviço associado a presença de árvores no sistema viário.

Além disso, constatou-se que nenhum trabalho realizou análises em escala cruzada, ainda que esta abordagem tenha importância para o estudo das interações entre os componentes do sistema (e muitas descobertas sejam sensíveis à escala). As publicações tratavam principalmente de comparações entre locais diferentes, portanto multiescalares e na mesma escala espacial, mas não cruzadas.

Compreender como um fenômeno muda ao longo do tempo em uma escala requer compreender como ele se relaciona aos sistemas em outras escalas, já que ferramentas em escala cruzada quantitativas e preditivas ainda não existem (Scholes et al., 2013). Assim, para que este tipo de metodologia seja extrapolada, são necessários ajustes e os coeficientes dos resultados devem ser corrigidos de acordo com a escala desejada.

Muito embora cada região tenha sua especificidade hídrica, o trabalho realizado em maiores escalas (locais) para Hackbart et al. (2017) não pode ser generalizado já que as particularidades encontradas em cada área não se repetem em outras escalas. Como apontam Kermavnar & Vilhar (2017) todo ecossistema florestal, definido pela composição de espécies de árvores, características estruturais, do solo e condições do local, é de alguma forma único, portanto, é difícil tirar conclusões gerais sobre a precipitação e a interceptação do dossel investigando tipos e climas específicos e diferentes de florestas.

---

23 A floresta mista teve uma interceptação do dossel consistentemente mais elevada do que os outros dois tipos de floresta, isto é, a floresta de várzea e o pinhal, entretanto, os valores variaram conforme a época do ano e a presença de folhas em árvores caducifólias.

A escala temporal foi aplicada para cobrir o espectro das chuvas ao longo do ano, como realizado por Gotsch, et al. (2018) em duas diferentes áreas verdes urbanas. Os autores, ao considerar as árvores como elementos que “beneficiam os ecossistemas urbanos” (p.183), estudaram como a fisiologia vegetal afeta a capacidade de absorver água, particularmente após os eventos de chuva e encontraram grande variação entre o tamanho das árvores e ângulo de ramificação na interceptação de chuva.<sup>24</sup> Nesse sentido, percebe-se como estudos fisiológicos impactam serviços hidrológicos importantes que influenciam a eficácia de diferentes árvores como ferramentas para gerenciar o escoamento de águas pluviais.

### Dinâmica e estrutura da paisagem

Na análise dos serviços ecossistêmicos urbanos foram utilizados dados de uso e ocupação da terra enquanto elementos que guiam a mensuração dos serviços em áreas verdes urbanas em 67% dos SEw e 55% dos SEc.

Este dado é relevante visto a necessidade de entender como o uso da terra do entorno da área verde (urbano, rural, periurbano) influencia no fornecimento do serviço ecossistêmico e, também, no seu manejo e conservação. Entretanto, somente 2 estudos de SEc utilizaram métricas enquanto metodologia para estudo da estrutura da paisagem (Han et al., 2018; Singh et al., 2017).

LV et al., 2016 classificaram a floresta urbana de Harbin conforme o desenvolvimento do anel viário da cidade em 5 regiões usadas para representar os gradientes urbano-rurais do centro urbano para a área rural. A variação de estoques de carbono no espaço urbano exibiu um processo causal em diferentes níveis de urbanização e não apresentou relações com gradientes urbano-rurais. A análise de regressão não mostrou relações significativas entre o estoque de carbono e os níveis de urbanização nesta cidade.

### História

Em 33% dos SEw (Gotsch et al., 2018; Kermavnar et al.,; Keng et al., 2012) e 36% dos SEc (Bae et al., 2015; Boukili et al., 2017; Freedman, 1996; Golay et al., 2016; Gratani et al., 2014; Han et al., 2018; LV et al., 2016; Schmitt-Harsh et al., 2013; Singh et al, 2017; Timilsina et al., 2014) foram utilizados dados referentes a períodos direntes para mensurar o serviço. A contextualização dos drivers ao longo da história para compreender a paisagem recente e delinear o futuro é vital para

---

<sup>24</sup> Padrões de transpiração de pequenas árvores foram impulsionados principalmente pela variação na umidade relativa, enquanto a variação na radiação solar teve o impacto mais importante no fluxo de seiva de árvores de grande porte (Gotsch, et al., 2018).

avaliar serviços ecossistêmicos hídricos, visto que sua demanda varia ao longo do tempo (Hackbart et al., 2017).

Quanto aos SEc, no estudo de Bae et al. (2015) os parques urbanos são responsáveis por uma grande proporção de espaços verdes em áreas urbanas e sua área deveria aumentar devido à crescente urbanização e ao desejo dos cidadãos por uma melhor qualidade de vida. Para os autores, compreender o ciclo do carbono em parques urbanos é imperativo para mitigar as emissões de gases de efeito estufa nas regiões urbanas.<sup>25</sup>

## Construção de cenários e Planejamento e Projeto

Constatou serem poucos os trabalhos que definem diferentes cenários para explorar como o uso e ocupação da terra, em uma análise espacial, afetam a provisão de SEw e SEc (9,5% do total de 42) (Ayen et al., 2012; Gonzalez-Sosa et al, 2017; Marques et al., 2017; Delphin et al., 2013).

Cenários ajudam os tomadores de decisão a selecionar as melhores ações de gerenciamento para conservação ou recuperação de recursos hídricos, ponderando ações e investimentos, bem como onde e quando as interferências devem ser realizadas na paisagem para reduzir as mudanças no fornecimento de serviços hídricos (Hackbart et al., 2017). Por exemplo, Ayen et al., 2012 modelaram o impacto do uso da terra em uma bacia hidrográfica urbana para identificar estratégias específicas através do uso das melhores práticas de manejo (Figura 4).

Da mesma forma que em Planejamento e Projeto, apenas 19% das publicações definiram estratégias para planejamento e/ou realizaram projetos de forma a conservar ou aumentar o SEw e SEc. É imperioso observar que os estudos de SE ensejam questões transdisciplinares, sobretudo quando discutidos no âmbito das áreas urbanas. Todavia, constatou a inexistência de pesquisas coletivas ou diálogos entre diferentes disciplinas interessadas no tema. Nesse sentido é possível apontar a necessidade de reforçar a ampliação do horizonte cognitivo dessas pesquisas permitindo que diferentes pesquisadores e profissionais articulem seus conhecimentos. No caso concreto, por exemplo, observou-se que em trabalhos onde há uma mensuração de dados hídricos e de carbono não foram realizados projetos, da mesma forma que nos trabalhos de projeto e planejamento (excluídos do total de 935 no processo de seleção para análise de literatura) também não são observados metodologias científicas para mensurar os SE.

---

25 Eles verificaram diferentes estoques de carbono em diferentes tipos de cobertura da terra em 2012 e a mudanças de sua concentração entre 2003 e 2013 na Coreia. Foi observada uma diferença de dez vezes nos estoques de carbono entre os diferentes tipos de cobertura da terra, destacando que a escolha dos tipos de cobertura da terra no planejamento de parques urbanos poderia impactar significativamente os estoques de carbono nos parques. Um aumento de três vezes na concentração de SOC ao longo da década implica que os solos de parques urbanos possam servir como sumidouros de carbono.

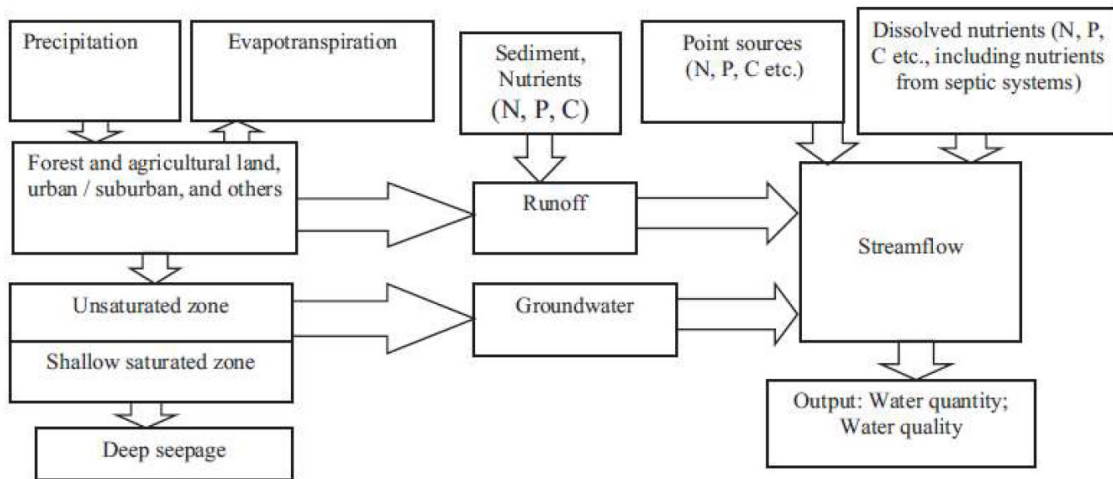


Figura 4. Estrutura conceitual do modelo de Bacia Hidrográfica.

Fonte: Modificado de Ayen et al., 2012

## Considerações parciais

Este capítulo inicial se propôs a estudar as bases conceituais para o desenvolvimento de uma tecnologia própria de modelagem da paisagem a partir da discussão sobre como as áreas verdes urbanas podem ser consideradas fornecedoras de serviços ecossistêmicos, bem como refletiu como esses serviços podem ser mensurados à luz de uma revisão de bibliografia.

Trata-se de uma discussão importante para o desenvolvimento da tese já que inexiste clareza na literatura sobre a importância dos serviços ecossistêmicos receberem uma abordagem mais ampla, englobando a relação entre homem com a natureza, vínculo essencial na discussão sobre o projeto da paisagem. De forma objetiva, a discussão e necessidade de estudos da provisão de serviços ecossistêmicos no meio urbano aponta para a necessidade da modelagem da informação da paisagem.

A partir da revisão sistemática da literatura foi possível aprofundar no tema do fornecimento de serviços ecossistêmicos em áreas urbanas, em especial discutindo os casos das áreas verdes. Em que pese a maioria dos estudos de SE serem realizados em áreas não urbanas (29550), propõe-se ampliar este instrumental ao entender ser esta disciplina essencial para o planejamento e projeto de uma espaços livres, pautados nos conceitos de infraestrutura verde.

Cabe destacar que, provavelmente, muitos trabalhos de recursos hídricos não foram incluídos por não terem serviços ecossistêmicos (ou termos relativos) em seus títulos, palavras-chave e resumos. Os estudos sobre bacias hidrográficas urbanas (tanto em termos de qualidade, quanto de quantidade de

água) são extensos.<sup>26</sup> Os dados aqui sistematizados reforçam a necessidade de uma maior articulação das pesquisas – dada a transdisciplinaridade do tema ambiental – considerando que poucos trabalhos pretenderam aplicar os resultados ou dados coletados. Ainda, este trabalho contribuiu para esclarecer a importância metodológica da revisão de literatura e do processo de construção da amostra analisada. No caso concreto, os resultados encontrados foram importantes para reforçar a importância das áreas verdes na provisão de serviços, embora não se possa afirmar que sejam de fundo ecossistêmico. Outro ponto importante é o recorrente uso de modelos para mensurar estoques de carbono utilizados pelos autores sem, entretanto, mensurar os dados em pesquisas de campo.

Os habitats nos centros urbanos são bastante heterogêneos: desde áreas com ecossistemas naturais, como parques municipais e remanescentes florestais urbanos, até complexos industriais e aterros sanitários com pouca vegetação nativa (Joly et al., 2019). Como os autores colocam, embora isso seja limitante para a composição e a diversidade de comunidades bióticas, geralmente, as áreas urbanas do Brasil são cercadas por ecossistemas de grande biodiversidade (Pauchard & Barbosa 2013). Parques públicos, remanescentes florestais, corredores ecológicos e outros componentes naturais possuem importância para o lazer, a regulação do clima e a prevenção de doenças (Joly et al., 2019). Como os autores criticam, a falta de planejamento apropriado acaba por estabelecer formas inadequadas de utilização social e ambiental da paisagem urbana, assim, a consolidação da política ambiental urbana depende de ações integradas entre esferas de governo e sociedade que permitam uma gestão ambiental transversal, otimizando os recursos naturais a fim de implementar medidas pertinentes. Uma forma de viabilizar essas medidas será discutida nos próximos capítulos.

---

26 Uma pesquisa na base de dados do ISI Web Of Science com os termos “urban watershed” or “urban wetland” or “urban stormwater” originou 2104 artigos, datados de de 1968 a 2018.

# CAPÍTULO 2

## BASES CONCEITUAIS PARA CONFORMAÇÃO DE UMA MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA PAISAGEM

Este capítulo apresenta um breve panorama histórico e uma discussão crítica dos termos utilizados na modelagem da informação e no projeto gráfico, dada a importância de situar este trabalho em relação aos processos digitais atuais da Arquitetura e Urbanismo. Na parte final, algumas ponderações críticas sobre o uso computacional no âmbito da sociedade capitalista de vigilância são destacadas de modo a apresentar um diagnóstico responsivo sobre o desenvolvimento de uma plataforma que vise a promoção da liberdade e da igualdade.

Trata-se de uma importante apresentação conceitual diante da não familiarização dos termos na área de Arquitetura da Paisagem, bem como da escassa literatura que se debruça em uma articulação desses campos. Não é pretensão deste trabalho acadêmico realizar um levantamento histórico exaustivo do Design Computacional – uso do computador no processo e método de projeto – mas sim, em vista da atual amplitude de termos e suas aplicações, esclarecer as bases conceituais adotadas, para então compreender a importância do LIM, no capítulo 3.

Embora seja possível traduzir o termo “computational design” para “projeto computacional”, optou-se por utilizar, manter o termo design, por ser uma convenção na área e ter seu uso recorrente no meio. O termo design, inclusive, preserva a ideia da construção e do processo envolvido na atividade criativa de projetar, o que guarda o sentido de complexidade trabalhado nesta tese.<sup>27</sup> Este capítulo apresenta seus itens conforme os três principais níveis de uso do computador, como divididos por Kotnik (2010):

Representacional	Utiliza o computador como uma ferramenta de desenho;
Paramétrico	Caracteriza-se pela geração de possibilidades por meio de variação de parâmetros;
Algorítmico	Relaciona-se à codificação da função que executa os comandos.

<sup>27</sup> Em especial, design se refere ao modo dinâmico de observar, refletir, projetar e implementar uma ideia. Vale lembrar que este termo ganhou grande relevância após os períodos de industrialização, nos quais o design está relacionado à produção de produtos industriais, sobretudo em larga escala e de altíssima velocidade de reprodutibilidade. Ademais, não se pode perder de vista a importância do design computacional neste processo de revolução e transformação industrial que marca a vida social no século XXI.

## Representacional: sistema CAD

A revolução da telemática, relacionada aos serviços de telecomunicações e da informática, impactou significativamente o desenvolvimento dos instrumentos de projeto e a própria ideia de projeto no século XX. Na própria história da ciência, importa lembrar que revoluções dependem de novos métodos, tecnologias, descobertas e lutas políticas. A título de exemplo, a revolução copernicana, que substituiu a explicação geocêntrica pela heliocêntrica do universo, não teria acontecido antes do período das grandes navegações, da descoberta do Novo Mundo, do fortalecimento do humanismo, da reforma do cristianismo e também do apoio à ciência por determinada classe política.<sup>28</sup>

A informatização do desenho representa uma importante transformação no projeto. Os antecedentes do Design Computacional originam-se do trabalho seminal de Ivan Sutherland, nos anos 1960. O pesquisador propôs um sistema denominado Sketchpad, onde eram inseridas formas geométricas no computador por meio de uma caneta.<sup>29</sup> Este sistema foi tido como o precursor dos Programas de CAD (*Computer-Aided Design* ou Desenho Assistido por Computador).<sup>30</sup>

Na mesma década, em 1961, Patrick J. Hanratty inicia sua pesquisa nos Laboratórios da General Motors onde ajudou a desenvolver o DAC (Design Automated by Computer), um sistema CAD com gráficos interativos. Mais tarde este cientista da computação desenvolve o software Adam (*Automated Drafting and Machinery*), o primeiro disponível para desenho gráfico, base para uma série de programas CAD subsequentes.

Naquela época o acesso ao sistema CAD estava vinculado à uma linguagem computacional (*Temporal Process Language*) que poucas máquinas conseguiam operar. Somente após o licenciamento do sistema a outras empresas e a popularização das máquinas computacionais, que o sistema CAD ganhou espaço e projeção no mercado. É na década 1980 que observa-se uma maior influência dos programas de CAD na Arquitetura e Urbanismo, em um plataforma 2D com ferramentas de desenho que facilitavam a precisão e repetição de desenhos. A difusão de sistemas CAD possibilitou o aumento da eficiência em processos de desenvolvimento de produtos, redução de

---

28 Foi nessa conjuntura que Copérnico conseguiu produzir um outro paradigma sobre a cosmologia. Alexandre Koyré, na obra *Do mundo fechado ao universo infinito*, afirma que “o espírito humano, ou pelo menos o europeu, sofreu uma revolução profunda, que alterou o próprio quadro e padrões de nosso pensamento, e da qual a ciência e a filosofia modernas são, a um só tempo, raiz e fruto” (Koyré, 2006, p. 7).

29 Com a tese, do Instituto de Tecnologia de Massachusetts, intitulada “Sketchpad: Um Sistema de Comunicações Gráficas Homem-Máquina”, Sutherland incluiu no *Sketchpad* recursos como memória do computador para armazenar objetos desenhados, faixas de borracha para construção de linhas mais simples, capacidade de aumentar ou diminuir o zoom em uma tela e técnicas para criar linhas, cantos e juntas perfeitas. Trata-se do início da interface gráfica do usuário (GUI), muito antes do termo ser cunhado. Disponível em: <<https://www.americanmachinist.com/cad-and-cam/article/21892098/the-cadcam-hall-of-fame>> Acesso 22 jan. 2020.

30 Douglas T. Ross, pioneiro da ciência da computação e pai da usinagem computadorizada que cunha o termo “CAD”.

erros relacionados à fabricação e ampliação das possibilidades de desenvolvimento colaborativo (Rothwell, 1994).

Não é possível perder de vista que o avanço de ferramentas computacionais de desenho reflete o desenvolvimento de uma sociedade capitalista informatizada que, a cada instante, necessita de novas ferramentas para possibilitar a produção em larga escalada de soluções e materiais. As entregas desse produto são cada vez mais automatizadas e orientadas para o lucro por meio das pressões e demandas da construção civil.

Como decorrência das limitações dos programas comerciais, e também do conhecimento do arquiteto, tornou-se recorrente nas décadas seguintes o uso dos softwares baseados em sistema CAD como uma forma de transferir para “meios digitais procedimentos analógicos convencionais” (Peters, 2013). Em outras palavras, a prática recorrente ao usar tais *softwares* é desenhar objetos geométricos no computador exatamente como se faz com o lápis e a prancheta.

Tendo em vista as limitações desse sistema com o avanço de novas tecnologias no final do século XX, para alguns autores, como Kós (2017), o termo CAD tende a desaparecer e se tornar obsoleto. O CAD era necessário quando a grande maioria dos projetos utiliza instrumentos tradicionais em um meio físico e seu uso trazia uma praticidade associada a uma ferramenta digital, conforme esclarece Mitchell:

*O efeito negativo da quarta geração CAD foi estabelecer uma concepção simplista e banal de funções CAD e estilo de interação nas mentes de muitos arquitetos. Sistemas CAD agora eram vistos, pela maioria dos profissionais e professores de arquitetura, como o equivalente gráfico dos processadores de texto – dispositivos bastante simples para a entrada, edição e produção de documentos gráficos (em vez de textos) (1990, p. 483).*

Atualmente, o CAD tornou-se um termo guarda-chuva/abrangente, específico o suficiente para ter alguns significados universalmente entendidos em relação à interface – representação geométrica –, mas muito genérico para sugerir e incluir todas as variações especializadas (Laiserin, 2002). À época soaria estranha a sigla PBD (*Paper Based Design*) que, atualmente e provavelmente, faria mais sentido do que CAD.

É nesse âmbito que, superando as restrições do CAD, limitado à representação de vetores, tipos de linhas associadas e camadas (*layers*) identificadas, é proposto o sistema BIM (*Building Information Modelling* ou Modelagem da Informação da Construção).<sup>31</sup> Ao integrar modelagem gráfica e banco

---

<sup>31</sup> Uma das primeiras aparições do termo BIM é no trabalho de Nederveen e Tolman (1992). Segundo Fonseca (2017), seu trabalho propõe que os diversos profissionais envolvidos no projeto abordem suas especialidades por meio de modelos de aspectos que filtrariam dados relevantes a cada disciplina e, por fim, atualizariam um modelo único de referência para todos os projetistas.

de dados, esses sistemas têm colaborado com a otimização dos processos da construção civil que envolvem desde a tomada de decisões em projeto, produção informações de alta qualidade, previsão do desempenho e estimativa de custo ao planejamento da obra (Ruschel et. al, 2010).

O BIM abrange dois componentes principais. Primeiro, o sistema possui uma reprodução gráfica tridimensional da geometria da construção (modelo), de onde é possível extrair os desenhos técnicos; e segundo, um banco de dados integrado, no qual todas as informações, propriedades, relações e apresentações são armazenadas (Eastman, et. al, 2008) e compartilhadas para aumento da eficiência do gerenciamento dos projetos. Este banco de dados integrado reduz o trabalho repetido – otimizando o tempo aplicado na produção –, ou seja, ao estabelecer os dados de uma só vez, teoricamente, têm-se as atualizações de todo o conjunto quando acontecer alguma modificação no modelo (Eastman et al. 2011).

O BIM é: “(...) uma versão melhorada de processos de projeto e representações mais tradicionais, acrescidos de metadados não geométricos” (Dritsas, 2016, p.612). Portanto, aos objetos são associados metadados: a um traço na tela vincula-se uma série de atributos, como dimensões de uma porta e suas propriedades materiais e custos. E, diante de uma memória infinita, todas as informações sobre o ciclo de vida do projeto são armazenadas nesses objetos e podem ser usadas para criar e revisar documentos relacionados à fabricação, estimativa de custos e até mesmo gerenciamento de construção. Diferente das ferramentas CAD que não exigem informações vinculadas aos bancos de dados e, para Laiserin (2002), não são mais suficientemente descritivas da amplitude e profundidade do processo de design.

Subjacente ao debate sobre o BIM discute-se o importante tema da modelagem da informação. Embora o termo tenha ganhado popularidade a partir da década de 2000, a concepção da modelagem da informação remonta ao ano de 1962 com o trabalho seminal “*Augmenting human intellect: a conceptual framework*” de Douglas C. Engelbart que aborda como os meios eletrônicos auxiliam no aumento da capacidade humana para lidar com situações complexas. É o que iremos nos debruçar no próximo item, tratando da amplitude de possibilidades do design paramétrico e algorítmico, não apenas como um processo capaz de gerar formas geométricas flexíveis e curvilíneas, mas sim enquanto um novo método de projeto.

## **Modelagem Paramétrica**

Como entender a modelagem paramétrica, um tipo específico da modelagem da informação?

Esta tese adota as concepções de Leach (2014) para o design paramétrico e algoritmo. Para o autor, o processo paramétrico relaciona parâmetros à geometria dentro de um intervalo pré-

definido. A depender do parâmetro, ao modificá-lo todo o sistema é alterado. Um parâmetro é um dado considerado necessário para analisar ou valorizar uma situação ou também pode ser descrito como um elemento ou característica que pode ser usado para estabelecer comparações entre pessoas, comportamentos, eventos, etc. No contexto da informática, o parâmetro é o valor atribuído pelo utilizador através de uma função específica, com o objetivo de fazer a modificação ou ajustamento de um determinado comando. Nos estudos sobre a qualidade dos espaços públicos, os parâmetros representam padrões a serem observados e mensurados (Filipe, 2018).

O “Modelo paramétrico” é um termo controverso, e mesmo especialistas têm dificuldade em definir de forma articulada uma definição concisa sobre o vocábulo (Davis, 2013). Os arquitetos atribuem uma variedade de significados a “paramétrico” e frequentemente usam os termos “modelagem paramétrica”, “design paramétrico”, “parametrização”, “parametria” (Landim, 2019) enquanto sinônimos.

Conforme resume a autora, na classificação de Hernandez (2006), existem três tipos de modelagem paramétrica:

- » **Modelo de variação paramétrica** – baseado na natureza declarativa dos parâmetros usados para construir a forma, e é a forma mais básica do design paramétrico, pois os componentes geométricos são controlados através da alteração dos valores (dados) dos parâmetros sem alterar a topologia da forma, ou seja, o número de componentes e suas relações;
  
- » **Modelo de combinação paramétrica** – também conhecidos como modelos de geometria associativa, oferecem, segundo o autor, um grau de complexidade maior, ao permitir que componentes geométricos possam ser combinados de diferentes maneiras a fim de criar novas composições de projeto;
  
- » **Modelo híbrido** – categorizado como uma junção das duas abordagens anteriores, oferecendo uma maneira mais robusta de projetar, embora mais difícil de construir, por exigir uma forte estrutura de dados.

## Modelagem Algorítmica

As formas resultantes de ambos os processos, paramétrico e algorítmico, podem ser semelhantes e frequentemente utilizadas simultaneamente, mas as técnicas para gerá-las são diferentes. Teoricamente, um algoritmo é a abstração de um processo e serve como um padrão sequencial que leva à realização de uma tarefa desejada (Terdisis, 2006).<sup>32</sup> Trata-se de um procedimento sistemático que produz – em um número finito de etapas – a resposta a uma pergunta ou a solução para um problema (Algorithm, 2015).

Na Arquitetura, essa tarefa é a capacidade que o algoritmo tem em auxiliar a resolução de problemas projetuais, permitindo ultrapassar as limitações da interface do usuário e projetar através da manipulação direta não da forma, mas do código.<sup>33</sup> Em outras palavras, trata-se de um processo de projeto em que o arquiteto não manipula a forma e, sim, um código, ou um *script*, através de sequências de operações lógicas (Celani, 2017). Ou seja, nele são utilizados processos matemáticos para a resolução de problemas projetuais.

Nesse sentido, pode-se definir o design algorítmico como o uso de técnicas processuais na resolução de problemas de projeto, em específico ao uso de linguagens de *script* que permitem ao projetista projetar através de manipulações diretas de códigos (Leach, 2014). Ainda, Celani (2017) coloca que Donald Knuth, criador da “Análise de algoritmos”, ressalta que um algoritmo:

- » Origina diferentes soluções a depender das variáveis a ele atribuídas;
- » Pode possuir pontos de decisão em que, dependendo das condições encontradas, levam a percursos diferentes. Nesses pontos há declarações condicionais, tipicamente expressas por meio das palavras “se” e “então” (“if” e “then”);
- » Pode apresentar repetições em determinados trechos: *loops*, expressos por “volte para” ou “repita isso x vezes”.

---

32 As estratégias algorítmicas utilizam a busca de padrões repetitivos, princípios universais, módulos intercambiáveis e links indutivos.

33 Um exemplo de aplicação ocorreu nas Olimpíadas de Londres em 2012. A proposta do Design Research Laboratory DRL Flotsam para o International Broadcasting Center / Media Press Center (IBC / MPC) distribuiu mais de 100.000 m<sup>2</sup> de espaços em uma organização de rede que canaliza o movimento entre Stratford e o Parque Olímpico. Sua metodologia de projeto utiliza nuvens de pontos geradas algorítmicamente em simulações de atratores, dando origem a um entrelaçamento vertical e horizontal de espaços privados e compartilhados (Verebes, 2009).

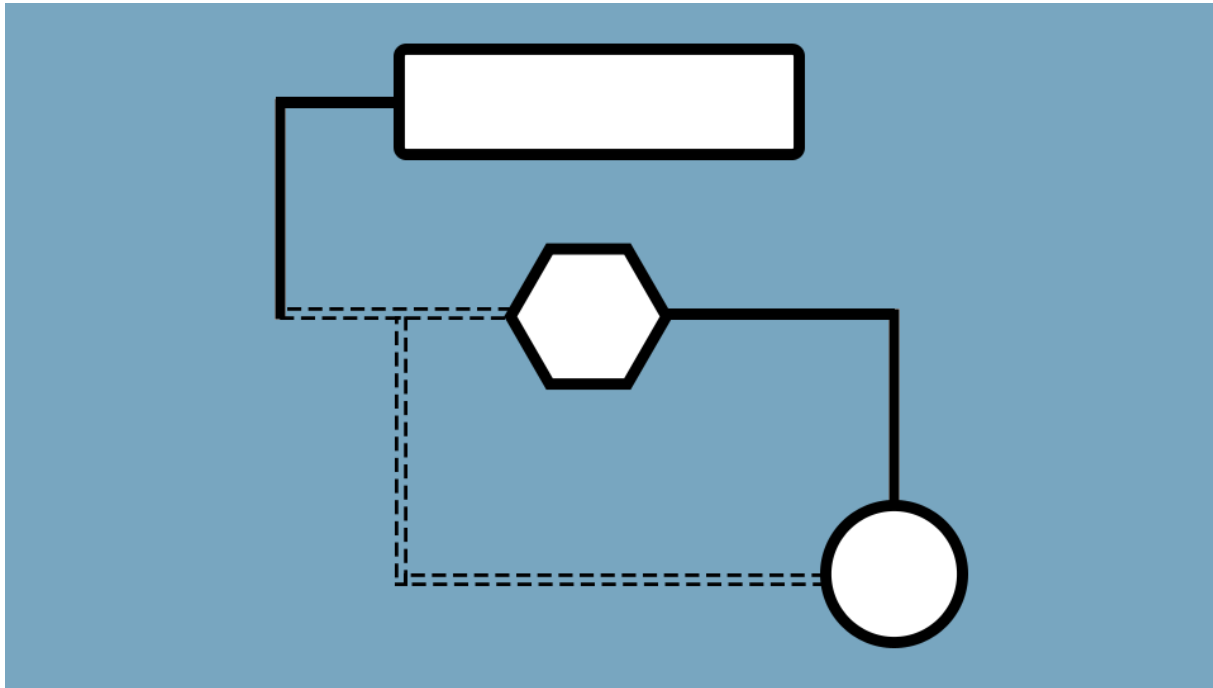


Figura 5. Representação da estrutura de um algoritmo com diferentes funções e parâmetros associados. Para sua elaboração é preciso verificar sua autonomia, se é possível ao usuário modificar inputs no *script*. Em problemas complexos, usualmente utiliza-se os computadores para processamento de dados, uma vez que após a alteração de um parâmetro a máquina automaticamente processa novas funções.

Embora a maioria dos algoritmos seja projetada considerando uma solução específica para um problema, existem alguns cuja solução é desconhecida, vaga ou mal definida. No último caso, os algoritmos tornam-se os meios para explorar possíveis caminhos que podem levar a diferentes soluções.

É nesse sentido que se destaca a aplicação de algoritmos para solucionar alguns dos problemas complexos em Arquitetura da Paisagem e Urbanismo, utilizando o computador para o processamento de dados. Todavia, vale ressaltar que não é imperiosa a utilização de computadores para se caracterizar o uso de algoritmos da Arquitetura. Novamente, retomando a história da ciência, é possível lembrar que processos e produções projetuais seguem leis e padrões que são derivados de inúmeras ciências, como o caso da física e da matemática – Leonardo da Vinci já falava sobre um pensamento semimecânico, combinando lógica e matemática no processo projetual.

*Dizemos que um conhecimento é mecânico quando nasce da experiência e que é científico quando nasce e termina na mente. O conhecimento semimecânico é aquele que nasce da ciência e termina na operação manual. Mas a mim me parece que as ciências são vãs e cheias de erros se não nascem da experiência, mãe de todas as certezas, e se não são confirmadas por ela e se em sua origem, meio e fim não passam pelos cinco sentidos (DA VINCI, 2008, p. 27)*

Estas lógicas e modelos matemáticos definem os modos operativos das práticas de design generativo mais conhecidas, entre elas estão as aplicações de gramática da forma, sistemas L, autômatos celulares e inteligência em enxames (Mineiro, 2019). Brevemente, como resume os autores, a gramática da forma (Stiny e Gips, 1978) utiliza a representação gráfica para descrever sequência de operações lógicas entre formas para gerar um projeto (Celani, 2017). E ao articular elementos por regras compositivas (Steadman, 2014), estas gramáticas também podem ser parametrizadas (Al-kazzaz & Bridges, 2012).

São alguns exemplos trazidos por Grêt-Regamey (2013) da gramática da forma implementadas em arquitetura e urbanismo: Palladian Villas (Stiny e Mitchell, 1978); as casas de pradaria de Frank Lloyd Wright (Koning & Eizenberg, 1981); casas de Álvaro Siza em Malagueira (Duarte, 2001); CGA (Computer Graphics Architecture), base do sistema CityEngine da ESRI (Müller, Wonka, Haegler, Ulmer e Van Gool, 2006); regras de planejamento urbano e paisagem (Ulmer, Halatsch, Kunze, Müller e Van Gool, 2007; Halatsch, Kunze e Schmitt, 2008); codificação de padrões urbanos (Alexander, Ishikawa e Silverstain, 1977); projetos urbanos sustentáveis (Halatsch, Kunze e Schmitt, 2008), modelos procedimentais parametrizados na modelagem de ecossistemas vegetais para simular cenas complexas com milhares de plantas (Deussen et al., 1998).

Já os Sistemas L aplicam um conjunto de regras de modo recursivo, produzindo formas de maneira análoga ao crescimento natural. E os autômatos celulares consistem em um grupo de células cuja forma evolui com o tempo em função de regras que consideram o estado de células vizinhas, enquanto modelos de inteligência em enxames geram padrões e comportamentos coletivos (SINGH e GU, 2012). Enquanto a gramática de forma e sistemas L operam com dinâmicas internas, autômatos celulares são abordagens matemáticas.

Embora nos últimos anos tenham sido desenvolvidos ambientes de programação dedicados às práticas de design paramétrico e generativo, lógicas e modelos matemáticos utilizados nestas práticas não são necessariamente novos (como diagramas Voronoi e sistemas reação-difusão) (Mineiro, 2019). Vamos detalhar na sequência o que são processos generativos e como tais processos se relacionam com a modelagem da informação, de modo a viabilizar as aplicações projetuais produzidas por uma plataforma.

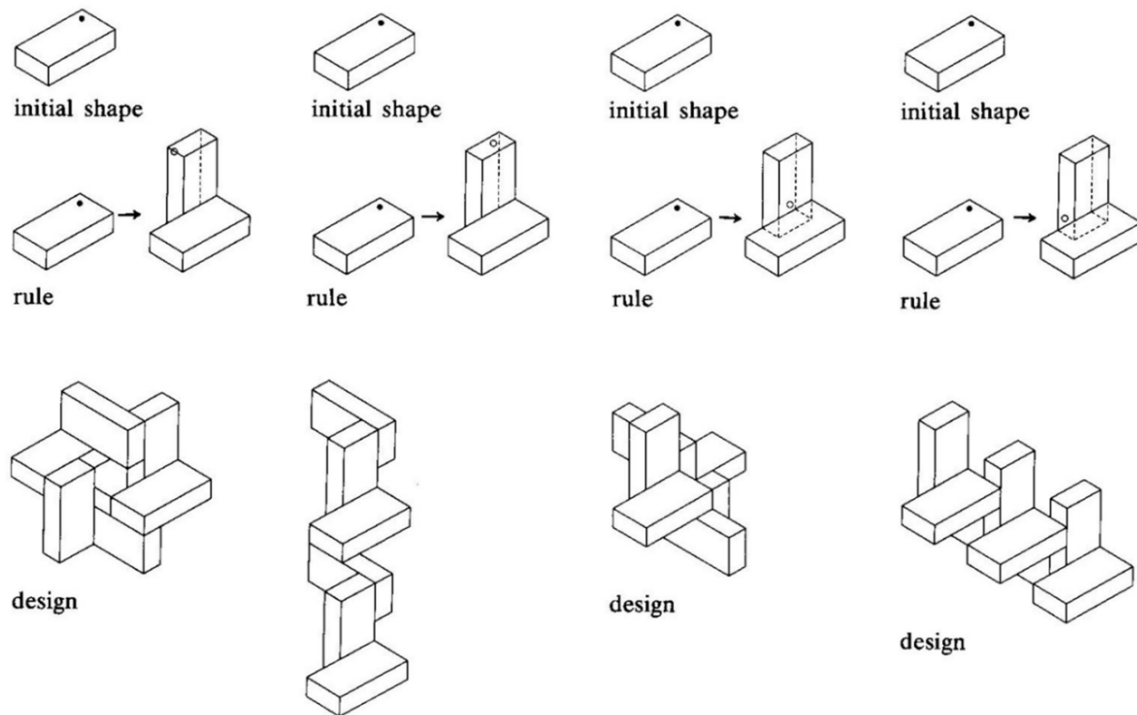


Figura 6. Gramática da forma. Stiny utiliza blocos de construção de Froebel nas gramáticas e designs para construir uma relação espacial a partir de regras.

Fonte: Kindergarten grammars, Stiny, 1980

## Processo generativo

Dentro da modelagem algorítmica, destaca-se o processo generativo em que a produção de soluções e formas se dá por meio de regras, relações e princípios generativos.<sup>34</sup> O conceito de sistema generativo de projeto é introduzido por William Mitchell em trabalho escrito em 1975: *The theoretical foundation of computer-aided architectural design*,<sup>35</sup> enquanto dispositivos capazes de gerar solução para um determinado problema.

34 Não existe uma definição única para projeto generativo, muitas são complementares e conforme os diferentes teóricos da arquitetura. Não há, entretanto, um enfoque em arquitetura da paisagem ou urbanismo.

35 O acrônimo CAAD (Computer-Aided Architectural Design), segundo Celani (2017) refere-se ao uso do computador com objetivo de obter a excelência em arquitetura, por meio de aplicações exploratórias, mas não apenas, com o foco de tornar o processo de projeto mais eficiente. Para John Harding (2014) os termos “Projeto de Arquitetura Assistido por Computador (CAAD)”, “Design Digital” e “Design Computacional” são todos sinônimos e referem-se a utilização do poder computacional nos métodos projetuais em arquitetura.

Sistemas generativos descrevem um processo iterativo gerado através de algoritmos que ajustam os parâmetros e a forma do projeto de acordo com as regras estabelecidas (Landim, 2019).<sup>36</sup> Essa Modelagem Generativa, segundo a autora, possui capacidades mais avançadas que a Modelagem Paramétrica, por combinar relações associativas da parametria à geração de geometrias através de regras.

A sistematização de um projeto automatizado e generativo exibe um estilo característico, próprio da alimentação de variáveis da máquina. Assim, ferramentas generativas têm a capacidade de ficarem mais inteligentes, uma vez que podem incorporar o que funcionou após a implantação do projeto. Daí a origem do nome, uma vez que o processo evolui por meio de repetições do método, ele também pode ser chamado de evolutivo.

Assim, um algoritmo genético (ou evolutivo) é um processo que estimula o comportamento e a adaptação de uma população de soluções candidatas ao longo do tempo, à medida que as gerações são criadas, testadas e selecionadas por meio de acasalamento e mutação repetitivos (Terdzis, 2006). Para o pesquisador, esse algoritmo usa uma pesquisa estocástica baseada na chance de que uma melhor solução seja possível e que o poder de processamento do computador seja rápido e preciso do ponto de vista do programador humano.

Em outras palavras, após a primeira geração de alternativas ('população') características de "indivíduos" selecionados são cruzadas para a formação de uma nova geração, transmitindo uma 'herança genética'. Como a seleção de indivíduos a cada geração se dá por critérios definidos e ajustáveis por usuários do sistema, espera-se pela emergência de resultados desejáveis (Mineiro, 2019).

O ambiente muda o resultado da abordagem.

Eles implicam as regras; todo o processo segue.

Para Lipson e Kurman (2013), os sistemas generativos enquadram-se como uma escala de sofisticação dos diferentes modos de operar por meio de formas tridimensionais em computadores. O modo operativo mais simples se daria pela definição da forma por notações fixas e produz uma geometria estática, como vimos nos sistemas CAD. Em um segundo nível, programas de modelagem permitem aos usuários criar formas ajustáveis pela variação de parâmetros.

A semelhança de Lipson e Kurman, Mitchell (1990) também divide escalas de sofisticação, para ele os níveis mais básicos do uso do computador correspondem aos usos de representação e análise, como nos sistemas CAD, enquanto o nível mais avançado consiste no uso do computador na busca de soluções para problemas pouco definidos de projeto, por meio da geração automatizada de alternativas e sua análise sistemática, como no sistema generativo.

---

<sup>36</sup> O processo permite que o arquiteto reformule o algoritmo e o código fonte, portanto, é uma operação iterativa, contando com a troca de feedback entre o designer e o sistema (Agkathidis, 2015).

De forma que, embora um processo não prescindia a utilização do outro, as formas geradas por processos algorítmicos podem ser modificadas por paramétricos. Nos encontramos em uma situação dialética em que código e forma dependem um do outro. Não pode haver forma sem código e nenhum código sem forma. Até certo ponto, então, o design algorítmico e o paramétrico são apenas dois lados da mesma moeda (Leach, 2014).<sup>37</sup>

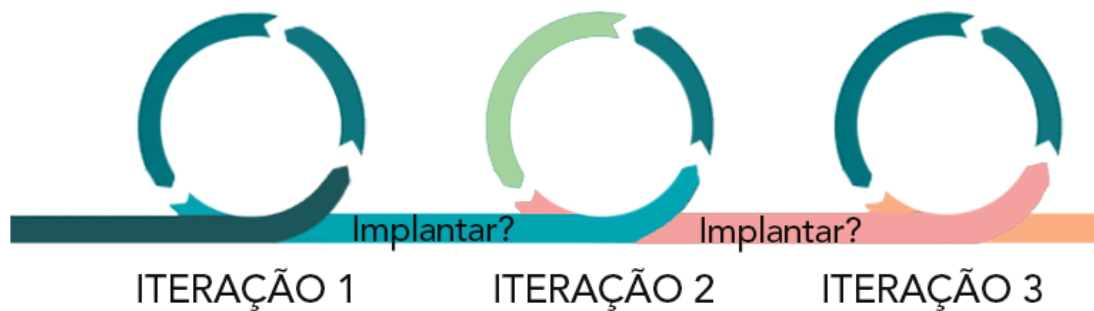


Figura 7. Iteração do processo de projeto generativo, com a repetição e acúmulo de conhecimento a cada tentativa. Em um processo cíclico de: concepção – teste de sensibilidade – calibração – validação – implantação.

O projeto generativo usa variações paramétricas e regras de transformação previamente estabelecidas por meio de um processo iterativo como principal estratégia para gerar alternativas de projetos (Celani, Vaz, 2012).

<sup>37</sup> Nesse sentido, neste trabalho entende-se que o LIM, a depender da fase do processo, possa tanto se enquadrar quanto um processo paramétrico, quanto algorítmico pelo uso do script do Grasshopper®, como detalhado no próximo capítulo.

Tabela 4. Sistematização entre o processo paramétrico e algorítmico.

PROCESSO PARAMÉTRICO	PROCESSO ALGORÍTMICO
Um modelo paramétrico é o conjunto de equações que expressam um modelo geométrico como funções explícitas de vários parâmetros (Davis, 2013).	Sequência de operações algébricas, analíticas e geométricas para a manipulação de dados e sua tradução em propriedades arquitetônica (Kotnik, 2010).
Manipulação de formas por meio de regras e utilizando parâmetros	Manipulação de código ou script para gerar soluções projetuais.
Resolução de problema por meio de parâmetros, em variação em um dado de entrada gera um resultado variado na saída.	Resolução de um problema por meio de um número limitado de etapas. É uma articulação de um plano estratégico para resolver um problema conhecido ou de uma pesquisa estocástica em direção a possíveis soluções para um problema parcialmente conhecido (Terdizis, 2006).
Interativo: durante a manipulação das propriedades geométricas da forma, o software confere ao usuário um feedback visual instantâneo, isto é, trata-se de uma ação recíproca entre modificação do parâmetro e a alteração da forma (Natividade, 2010).	Iterativo: termo proveniente da Informática que designa o processo de resolução de uma equação ou de um problema mediante uma sequência finita de operações em que o resultado é o objeto (Natividade, 2010).
Os parâmetros regem a forma. Menor grau de indeterminação da solução final	As regras regem a forma. Maior grau de indeterminação da solução final
Teste de combinações a partir de parâmetros	Teste de todas as combinações possíveis para as regras estabelecidas no script
Modelo de variação paramétrica; combinação paramétrica e modelo híbrido (Hernandez, 2006)	Processo generativo, evolutivo

Fonte: Baseado nos estudos de: Davis, (2013); Kotnik (2010); Natividade (2010); Terdzis (2006).

## Breves notas quanto ao uso da computação no projeto

Conforme visto no item anterior o uso dos sistemas CAD, BIM e da modelagem paramétrica e algorítmica no processo de projeto tem suas possibilidades e restrições a depender do momento no processo de projeto em que são utilizados e da ferramenta utilizada para viabilizar sua execução. Ao mesmo tempo, o desenvolvimento desses sistemas dependeu da revolução telemática e das condições sociais necessárias para o acesso e difusão de tais ferramentas a depender do mercado. No final, a própria ideia de projeto foi impactada sobremaneira por esses sistemas.

O objeto (projeto), seja ele uma edificação, um parque ou uma cadeira, não é definido no ato, mas é construído por meio da evolução do processo de projeto, etapa por etapa (Kowaltowski et al., 2006). Como colocam os autores, a descrição parcial (no programa de necessidades) do objeto é transformada em desenhos e a manipulação incremental desse desenho do objeto adiciona informação e refina o produto. O desenho então configura-se como objetificação desse ato, isto é, serve como base para a produção do objeto, compreendendo aqui a dinâmica da atividade industrial de refletir, projetar e executar o produto para algum fim social.

No caso desta tese, é possível pensar que o produto é a própria paisagem, devendo, então, compreender o processo dinâmico envolvido. Por exemplo, o desenho atua em duas grandes instâncias: uma de concepção (criação) e outra de viabilização (comunicação dessa criação) (Ortega, 2002). E cada um dos sistemas de design computacional estudados têm uma atuação pertinente a tais instâncias: CAD, BIM e modelagem paramétrica e algorítmica.

Concluimos que, em momentos mais avançados do projeto, com foco na implantação, viabilidade e projeto executivo, o BIM é reconhecido pelo aumento de eficiência e precisão no processo. Embora as fases projetuais não sejam ou devam ser estanques, dado que repensar o projeto é um ato contínuo deste processo, em um momento que é necessário materializar o objeto do desenho, os sistemas BIM atuam com primazia.

Já no processo de criação existe uma restrição no uso de processos computacionais vinculados aos programas baseados CAD e BIM, como observa Landim (2019), ao oferecer ferramentas predefinidas para a construção e edição de geometrias tridimensionais. Tais ferramentas podem ser limitantes na concepção do processo e geração de resultados. Fato que nas duas últimas décadas, novos processos computacionais, como a modelagem paramétrica e algorítmica têm viabilizado maior amplitude de possibilidades projetuais, auxiliando no reconhecimento e resolução de problemas.

Entretanto, a (não) primazia da máquina não deveria ser um exclusivo fator de solução de problemas complexos. É preciso destacar um debate recorrente sobre a relação entre profissionais e *softwares*, isto é, qual o grau de autonomia da atividade que se admite nesta relação. Por exemplo, não caberia ao arquiteto e urbanista a adaptação do projeto à capacidade dos sistemas disponíveis, mas sim que o *software* se adaptasse à sua metodologia. Ora, esta tese sustenta que a busca pela autonomia só pode se dar associada ao conhecimento em outras áreas, para além de um perfil refém do existente. Assim, facilita-se a autonomia do arquiteto no desenvolvimento de projetos, que siga o paradigma de Projeto Orientado ao Desempenho, Landim, (2019), como discutido no próximo capítulo.

*A discussão da relação entre as áreas de arquitetura e computação sugere que uma progressão nas habilidades de programação de arquitetos é desejável, para que possam formular e modelar problemas que pretendem abordar de maneira mais eficiente. (Landim, 2019, p.17).*

Desta forma, o projeto pode ser explorado como um processo mental, não apenas observando o comportamento humano, mas também observando o comportamento da máquina (Terdzis, 2006). Em contraponto a autonomia, para o autor, nesse processo é necessário executar operações individuais com independência substancial; isto é, toda a sequência de operações deve ser tal que não haja intervenção humana desde o momento de inserção dos dados até a obtenção dos resultados e que os mecanismos de tomada de decisão do projeto sejam incorporados à própria máquina. Isso não significa que um “designer de computadores” seja criado, mesmo que isso possa ser desejável, eventualmente. Em vez disso, ele sugere a obtenção de independência na solução de problemas de design específicos. Assim, o designer pode observar através do próprio processo de tomada de decisão do computador e compará-lo com o de outros – na sequência as implicações éticas desta visão são apresentadas.

Para esta linha de pensamento, o uso do computador no processo de projeto não somente adquiri a já corriqueira função de reduzir os esforços humanos em atividades programáveis, mas possui uma característica criativa importante que auxilia e interfere, em alguma medida na tomada de decisão, além é claro de desenhar e modelar à luz de formas arquitetônicas, assegura Terdzis:

*Tradicionalmente, o paradigma dominante para discutir e produzir arquitetura tem sido o da intuição e ingenuidade humanas. Pela primeira vez, talvez, esta sendo formulada uma mudança de paradigma que supera as anteriores. O design algorítmico emprega métodos e dispositivos que não têm precedentes. Para que a arquitetura embarque no mundo real da forma algorítmica, seus métodos de design também devem incorporar processos computacionais. Se houver uma forma além da compreensão, ela estará no domínio do algoritmo. Embora a intuição e a engenhosidade humanas possam ser o ponto de partida, os recursos computacionais e combinatórios dos computadores também devem ser integrados (Terdzis, 2006, p.59, tradução nossa).*

Transferir o ato de tomada de decisão do plano consciente da mente humana para um agente inconsciente, como o computador, pode gerar grandes mudanças na maneira de pensar a arquitetura, a qual se deu fundamentalmente através do domínio total do arquiteto sobre o ato de projetar o objeto. Em outras palavras, os computadores podem ser capazes de complementar o raciocínio humano, haja vista que podem sugerir perspectivas distintas do mesmo (Terdzis, 2006), mas não se libertar e eximir de responsabilidade do humano. Em concordância com Terdzis, Umakoshi (2014), conclui que essa quebra de paradigma só poderá ocorrer com a utilização das ferramentas digitais de modo totalmente inovador a ponto de modificar a maneira de pensar a Arquitetura. Para tanto, seria necessário extrapolar certos nichos de pensamento cristalizados não só pelo paradigma moderno como também pelas limitações da mente humana.

Aqui é válida a exploração dos papéis que o computador assumirá no futuro, questionando-se: “Quem assina?” Terdizis (2006). O autor é instigante ao colocar que, se alguém assumir que o projeto não é uma atividade exclusivamente humana e que as ideias existem independentemente de seres humanos, seria possível designar um mecanismo computacional que associasse essas ideias.

É aqui que o computador deixa de ser uma ferramenta<sup>38</sup> e passa a ser um meio (Reas & McWilliams, 2010) para concretizar o ato do processo de projeto.

Nesse âmbito, o foco do processo criativo se apoia menos no gesto individual, mas no refinamento dos métodos de design baseados em códigos cujos resultados oscilam do acidental para o intencional (Verebes, 2009). Esse processo de projeto, assistido por algoritmos, permite a superação das limitações dos programas comerciais dado que o aprendizado de programação permite não apenas criar ferramentas, mas também, sistemas, ambientes e modos inteiramente novos de expressão (Mineiro, 2019).<sup>39</sup>

Embora o design computacional signifique que agora podemos explorar uma quantidade incrível de iterações de design com novas eficiências e métricas de saídas quantificáveis os computadores nunca serão capazes de avaliar os aspectos qualitativos das saídas ou considerar qualquer coisa além do que o algoritmo foi criado para fatorar (Claghorn, 2018). Conforme acrescenta o autor, para arquitetos e paisagistas a aplicação de tais processos e pensamentos algorítmicos permite que o projetista use o computador não apenas como uma ferramenta de produção e representação, mas como um meio potencial para análise e design.

E para que não nos tornemos reféns do código, como a prática de design depende cada vez mais de metodologias digitais e computacionais e processos automatizados, é importante que os projetistas entendam e critiquem como os computadores podem ser usados para explorar e manipular a forma. É necessário um entendimento crítico mais profundo desses métodos, tanto na sociedade em geral quanto nas práticas de design, para ir além da aceitação muito rápida do fator “uau” da computação gráfica ou da rejeição rápida dos métodos digitais devido à falta de entendimento das forças em jogo (Claghorn, 2018).

---

38 Embora muitos tenham atribuído o termo “ferramenta” ao computador por causa de sua função como dispositivo de assistência durante o processo de design, essa suposição não é necessariamente ou totalmente verdadeira (Terdizis, 2006). Para o autor, as “ferramentas” computacionais são baseadas em algoritmos, enquanto processos escritos por programadores para utilizar os recursos aritméticos e lógicos de um computador e produzir resultados. Assim como os matemáticos, a descoberta ordinária da invenção de uma fórmula matemática não requer o conhecimento do matemático de todos os possíveis usos, repercussões ou consequências da fórmula. Portanto, não trata-se de uma ferramenta e sim de entendimento de que o computador é parte do processo de projeto, enquanto uma máquina para explorar o que, também, não é entendido.

39 Nesse âmbito, algumas proposições recentes sugerem um deslocamento do uso de sistemas CAD em direção a práticas de AAD (*Algorithm Aided Design*) (Mineiro, 2019). Para o autor, enquanto as práticas de projeto em sistemas CAD são voltadas para o projeto de objetos, edificações e configurações formais estáticas, ‘as práticas de design auxiliado por algoritmos (AAD) inserem o algoritmo como objeto de projeto, cuja criação é a criação de um processo’ (p.9).

Assim, a dificuldade de usar o meio, como os recorrentes erros de código, não deveria influenciar e ser um impeditivo que impossibilite determinadas soluções de projeto. Mas, infelizmente, é recorrente que mudanças no projeto sejam feitas para viabilizar a solução com o uso do meio computacional. Um exemplo são os vários discentes que, em aulas de projeto de arquitetura da paisagem ou edificações, usualmente só trazem soluções ortogonais, pela facilidade de manipulação de tais formas nos *softwares* de modelagem.

Nesse sentido, defende-se que seja apresentado ao arquiteto e urbanista a possibilidade da linguagem de programação na prática projetual, mas não sua plena fluência que cabe a um cientista da computação – o que inclusive reforça o sentido defendido nesta tese sobre a implementação de grupos interdisciplinares de trabalho.

Nesta perspectiva é importante repensar a relação entre a atividade do projetista e o computador. Um trabalho importante que contribui à prática é o de Landim (2019), a pesquisadora defende que o entendimento de como algoritmos podem apoiar o pensamento do projetista na concepção e resolução de problemas em projetos, torna o processo de projetar menos restringido pelo *software*. Como observa a autora, arquitetos aprendem a programar em linguagens que estão disponíveis dentro de ambientes CAD, como Rhinoscript (disponível no programa Rhinoceros) e AutoLisp (disponível para AutoCAD), que incorporam métodos para trabalhar com geometrias e sólidos, além de algumas outras linguagens visuais como Grasshopper e DynamoBIM e seus respectivos ambientes de linguagens textuais como VBA, Python, C#. Por esta experiência direcionada, pode ser difícil que arquitetos aprendam e programem fluentemente em outras linguagens que possuem sintaxe muito diferentes.

No anseio de usar o computador como meio, é imprescindível, portanto, a constituição equipes interdisciplinares no processo, dado que um só profissional não pode abarcar conhecimento de todas as áreas, com o risco de perder-se em um generalismo excessivo ou ainda tornar-se refém do *software*.

Não se pode esquecer que o computador é uma criação humana, que parte de princípios históricos e é protagonista exclusivo na tomada de decisão. A atitude crítica humana jamais pode ser substituída por um algoritmo digital, a fim de evitar um “determinismo tecnológico moderno com nova roupagem” (Meredith, 2008). No próximo item tal diagnóstico é reforçado e serve como contraponto e contexto para repensar os alcances do uso da computação no projeto e na sociedade.

No último item deste capítulo tal diagnóstico é reforçado e serve como contraponto e contexto para repensar os alcances do uso da computação no projeto e na sociedade.

## **Dilemas éticos quanto ao uso da computação no projeto: preocupações para um desenvolvimento responsivo da plataforma**

As considerações apresentadas neste capítulo são em grande medida resultados da revolução da telemática que vem transformando a sociedade nas últimas décadas, em todos os setores. Na atividade projetual, a possibilidade do uso da computação no projeto representa oportunidade para inovar e lidar com a complexidade destacada ao longo desta tese. No entanto, do ponto de vista ético, inúmeras questões se colocam a respeito deste tipo de utilização, em especial considerando o ponto de partida da relação entre o controle dos meios digitais e a exploração das plataformas por meio de dados coletados, tendo em vista a maximização de lucros.

Em primeiro lugar, vale ressaltar a necessidade de verificar a confiança dos projetistas nas ferramentas digitais, sobretudo na confiabilidade de suas recomendações. Por detrás desta questão prevalece a necessidade do amplo diálogo entre cientistas da informação, programadores, arquitetos e urbanistas para o exame e validação dos resultados, bem como para a constituição de uma reputação dos programas. Esta confiança não está ligada somente à competência aplicada pelos profissionais envolvidos e refletida nas recomendações finais de uma plataforma, mas é dependente também da inexistência de conflito de interesses entre financiadores e profissionais, ou da abertura dos códigos fontes para a constante consulta da sociedade.

Não é estranho cogitar a existência, por exemplo, de comissões diferenciadas segundo o resultado apresentado pela plataforma ou observar laços entre financiadores, programadores e fornecedores. De modo que a plataforma e os profissionais que operam poderiam nos recomendar soluções que não seriam de interesse da comunidade ou que não atenderiam os problemas levantados em primeiro lugar. Em alguma medida tais operações já estão presentes dentro de práticas agressivas de mercado do setor imobiliário, sobretudo em plataformas digitais que coletam dados pessoais tendo em vista a venda e locação de imóveis ou até mesmo na discussão camuflada de cidades inteligentes, vinculadas ao interesse do grande capital.

Exemplos de grandes empresas que investem nas estruturas de vigilância nas cidades, via plataformas, para justamente obter um aumento de suas operações é recorrente, o que reforça as preocupações éticas indicadas no planejamento da paisagem e o uso computacional no projeto. Trata-se de observar empresas privadas que coletam dados e implementam uma estrutura de sensores ambientais para atender uma lógica baseada em zoneamento por performance, o que revela os perigos da onisciência digital nestes projetos urbanos. A perspectiva ocultada é a confusão entre cumprimento de funções públicas e o enriquecimento privado em prejuízo dos interesses e direitos das comunidades.

*A Cisco tem, ao redor do mundo, 120 “cidades inteligentes”, algumas das quais adotaram a Cisco Kinetic [Cisco Cinética]. Esta — segundo explica em um post num blog Jahangir Mohammed, vice-presidente da empresa e gerente-geral da internet das coisas — é uma plataforma em nuvem que ajuda os clientes a extrair, computar e passar dados de coisas conectadas para aplicações de internet das coisas para oferecer melhores resultados [...]. A Cisco Kinetic recebe os dados certos para as aplicações certas na hora certa [...] enquanto executa políticas para fazer vigorar leis de propriedade de dados, privacidade, segurança e até mesmo legislação de soberania de dados. Mas, como ocorre com frequência, o esforço mais audacioso para transformar os bens comuns urbanos no equivalente capitalista de vigilância do pântano de cem hectares de Paradiso provém do Google, que introduziu e legitimou o conceito da “for-profit city” [cidade por lucro]. Assim como MacKay e Weiser aconselharam, o computador seria operacional em todos os lugares e detectável em lugar algum, sempre além dos limites da consciência individual. (Zuboff, 2021, p.276).*

Um segundo aspecto decorre da necessidade de utilização de uma série de dados para a operação dos processos generativos e que, muitas vezes, podem se referir a dados pessoais. Estes tipos de dados, que são atributos exclusivos de pessoas físicas, atualmente constituem importante trunfo econômico para quem os controla diante da possibilidade de promover análises preditivas e influenciar comportamentos nos mercados, como discutido por Shoshana Zuboff por meio da figura do imperativo de predição.

*Nós vimos que a busca de certeza pelo capitalismo de vigilância (o mandato do imperativo de predição) requer uma aproximação contínua da informação total como a condição ideal para a inteligência de máquina. Na trilha da totalidade, os capitalistas de vigilância ampliaram seu escopo do mundo virtual para o real. O negócio da realidade renderiza todas as pessoas, coisas e processos como objetos computacionais numa interminável fila de equivalência sem igualdade. Agora, à medida que o negócio da realidade se intensifica, a busca da totalidade necessariamente leva à anexação de “sociedade”, “relações sociais” e processos sociais básicos como novos terrenos para renderização, cálculo, modificação e predição. (Zuboff, 2021, p. 473)*

A preocupação do imperativo da predição recai no simples fato de que as operações de dados nem sempre se destinam aos interesses e preferências que a comunidade desejaria o que revela a imensa hipossuficiência da população: muitos não possuem condições de conhecer os riscos envolvidos e sequer de decidir sobre suas preferências e desejos, o que inclusive repercute na atividade do arquiteto e urbanista. Assim, retomando a questão da sua própria posição refém ao *software* de modelagem.

O risco já foi esboçado na ficção de George Orwell, será que nossos dados extraídos se voltarão contra nós? Esta questão depende de saber como esses dados são tratados e quais são os cuidados adotados pelos profissionais que desenvolvem plataformas.

A discussão exige observar o cumprimento de uma regulação de proteção de dados pessoais e da implementação de uma cultura responsiva aos interesses da comunidade no centro da criação dessas plataformas, de modo a viabilizar a confiança necessária para promover soluções projetuais que lidem com os genuínos problemas sociais. Dentre as possíveis questões levantadas no desenvolvimento da Plataforma desta tese, poderíamos enumerar algumas ações que precisariam ser discutidas com a comunidade e a equipe de trabalho:

- » Utilização de *softwares* com códigos fonte aberto;
  
- » Disponibilização dos resultados em bancos de dados públicos, incentivado por meio de parcerias;
  
- » Promoção de consultas públicas para a definição dos propósitos principais dos projetos desenvolvidos pela Plataforma;
  
- » Promoção e respeito à cultura dos dados pessoais, incluindo a implementação de um programa de governança e do protocolo de consentimento do titular dos dados, bem como de mecanismos de controle (eliminação, modificação ou inclusão de dados) dos tratamentos de dados realizados pela Plataforma;
  
- » Adoção de medidas que assegurem a diversidade nas recomendações apresentadas pela Plataforma, o que implica também em assegurar uma diversidade dos integrantes que participam na equipe de profissionais programadores;
  
- » Criação de bens públicos, produto capaz de ser utilizado por todos de maneira exclusiva a um custo baixo.

Por fim, a revolução da telemática também nos confronta com a acentuação da desigualdade de acesso aos serviços e postos de trabalho. No caso da atividade do projetista a preocupação é saber

qual é o futuro desses profissionais tendo em vista a aplicação de inteligência artificial no processo generativo a ponto de representar um risco efetivo de substituição do trabalho humano para o informático.

Não é novidade que o desenvolvimento da informática tende a beneficiar os empregos muito qualificados, cujas competências são complementares da informática, o que permite a substituição cada vez mais frequente da mão de obra por máquinas. No caso particular desta pesquisa é possível defender a tese da complementaridade já que a Plataforma substitui facilmente o ser humano para determinadas tarefas, por exemplo:

- » Tratamento dedutivo de uma operação, que consiste aplicar um comando programado a fatos, partindo do geral a Plataforma deduz o particular de maneira lógica, tal como cálculos necessários para a articulação das variáveis indicadas ou emissão das recomendações em atenção às premissas indicadas;
  
- » Tratamento indutivo, que a partir de aplicação de certa inteligência artificial, possibilitaria partir dos fatos a extrair uma conclusão geral, o que depende do tratamento de inúmeros dados para que a Plataforma identifique uma estrutura recorrente.

As atribuições mais difíceis para uma plataforma aparecem quando o problema é imprevisto, em grande medida impossível de programação. A própria noção de dificuldade ganha uma conotação diferente já que vai admitir a necessária intervenção humana em diferentes etapas do processo, seja no início informando a plataforma com dados; definindo comandos ou no final avaliando as recomendações para a tomada de decisão.

No limite, nós nos referimos a princípios não codificáveis, o que mostra a limitação do tratamento informático. O fundamento básico é que a plataforma só consegue operar diante de tarefas lógicas e previsíveis, dependente de dados suficientes que lhe permitam reconhecer o problema e executar comandos. Em contrapartida, o profissional deve dominar um saber abstrato, capaz de lidar com as situações imprevisíveis que se apresentam ao longo do processo de execução da plataforma, bem como ser capaz de traduzir as demandas da comunidade no início e final do projeto.

Trata-se, aqui, de um processo constante e que reforça a complementaridade (e não a substituição) entre homem e máquina, o que exige incluir na equação uma preocupação com o acesso à educação atenta ao desenvolvimento tecnológico da sociedade. Tal situação permite identificarmos a atribuição de responsabilidade histórica pelos rumos dos desenvolvimentos da

tecnologia nos humanos (e não nas máquinas), bem como ao fato de que a revolução digital serve de mecanismo de resistência e de luta para a promoção de uma sociedade mais justa e igualitária.

Novamente Shoshana Zuboff é esclarecedora da situação lembrando que é a prática capitalista que vincula a etiqueta de subjugação e impotência de certo inevitabilismo digital<sup>40</sup>, diz a professora: “o fato de o capitalismo de vigilância ser uma lógica em ação e não uma tecnologia propriamente dita é um ponto vital porque os capitalistas de vigilância querem que pensemos serem tais práticas expressões inevitáveis das tecnologias que empregam” (Zuboff, 2021, p. 31).

O desenvolvimento de uma Plataforma responsiva proposta por esta tese tem como base exclusiva atender as demandas da sociedade, com os propósitos de fortalecer nossa democracia e não se vincular aos interesses privados do mercado.

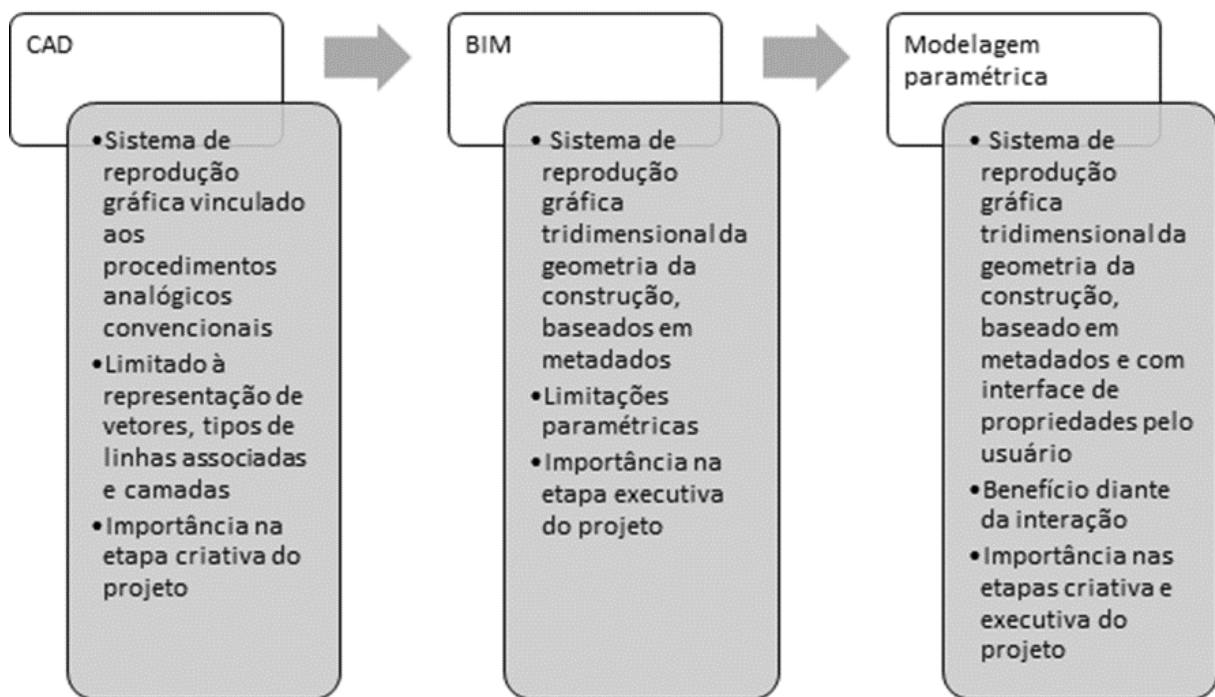
---

40 Nesse sentido sustenta Shoshana Zuboff: “O inevitabilismo consagra o aparato da ubiquidade enquanto progresso, mas oculta a *Realpolitik* do capitalismo de vigilância agindo nos bastidores. Sabemos que podem existir caminhos alternativos para um forte capitalismo de informação capaz de produzir soluções genuínas para uma terceira modernidade. Vimos que o capitalismo de vigilância foi descoberto e aperfeiçoado ao longo da história, manufaturado por homens e mulheres para servir aos interesses do capital impaciente. É essa mesma lógica que agora exige ubiquidade, pronta para colonizar desenvolvimentos técnicos em nome de seus imperativos e de crescimento. O inevitabilismo opera a serviço desses imperativos quando distrai os indivíduos das ambições de uma ordem econômica em ascensão e das ansiedades competitivas que conduzem o projeto de vigilância rumo à certeza e geram a necessidade de reivindicações cada vez mais vorazes quanto ao nosso comportamento. O inevitabilismo impossibilita a escolha e a participação voluntária. Não deixa espaço para o livre-arbítrio como o autor do futuro. Isso levanta perguntas: em que momento a reivindicação do inevitabilismo à extração e execução ubíquas se torna abuso? Será que as declarações utópicas de inevitabilismo mobilizarão novas formas de coerção arquitetadas para acalmar populações inquietas incapazes de reprimir ansios por um futuro de sua própria escolha?” (2021, p. 275).

## Considerações Parciais

Este capítulo apresentou uma breve perspectiva histórica sobre o desenvolvimento de softwares de projeto gráfico, o que permite situar com propriedade a importância das ferramentas da modelagem da informação da paisagem. A discussão apresentada permitiu situar os processos algorítmicos e paramétricos que são fundamentais na operação da Arquitetura e Urbanismo. Trata-se de importante etapa para a discussão conceitual da construção da plataforma, apresentada no capítulo 3.

De uma forma sucinta, é possível apresentar uma comparação assim esquematizada dos sistemas computacionais observados:



Um ponto importante alcançado a partir da comparação é que o CAD e o BIM oferecem ferramentas predefinidas para a construção e edição de geometrias tridimensionais. Tais ferramentas se limitam a algumas etapas do processo projetual. Diante da complexidade inerente à atividade de projeto da paisagem, observa-se que a modelagem paramétrica viabiliza maior amplitude de possibilidades projetuais, auxiliando no reconhecimento e resolução de problemas, conforme desenvolvido no próximo capítulo com o caso do LIM.

Por fim este capítulo teceu considerações sociais sobre o desenvolvimento das tecnologias computacionais, no âmbito das construções e da paisagem. Observou-se a importância de resgatar

a responsabilidade histórica pelos rumos dos desenvolvimentos da tecnologia feita pelas grandes corporações, que estão alinhados aos interesses e benefícios privados, bem como da atribuição dos usos e propósitos dessas ferramentas vinculados às operações do capitalismo de vigilância.

O desafio maior é promover um uso justo e igualitário dessas plataformas, capaz de atender os interesses e necessidades das comunidades, além é claro de atender com os valores éticos. Em outras palavras, é o caso de defender a responsividade dos programadores, empresas e paisagistas envolvidos na atividade projetual em atenção ao interesse público. Esta tese se preocupa em discutir a melhoria dos espaços públicos, de modo a viabilizar a resignificação dos espaços abertos e incentivar a participação na vida pública por meio do projeto da paisagem.

# CAPÍTULO 3

## LIM LANDSCAPE INFORMATION MODELING

### Definição semântica do LIM

O *Landscape Information Modeling* (LIM) é um método baseado no conceito de modelagem algorítmica computacional, projetos generativos e algoritmos genéticos de suporte à proposição de projetos de arquitetura da paisagem.<sup>41</sup> Trata-se de uma condição *if then* simulando diversas possibilidades projetuais.

Nas duas últimas décadas e conforme discutido no capítulo 2 desta tese, estes novos processos computacionais, como a modelagem paramétrica, algorítmica e generativa têm viabilizado maior amplitude de possibilidades projetuais, auxiliando no reconhecimento, suporte a participação, decisão, proposição e resolução de problemas. Isso se dá pelo uso de linguagens de programação (tanto visual como textuais) disponíveis nos *softwares* de modelagem (pautados em CAD e BIM) disponíveis para projetos dos mercados de arquitetura, engenharia e construção (AEC). O LIM se enquadra nos cenários de implementação de políticas públicas – *target seeking scenarios* – onde define-se a condição futura desejada.

Sustenta-se, nesta tese, que os termos “modelagem algorítmica computacional” referem-se à elaboração, auxiliada por computador (*computer aided*), de modelos matemáticos para análise de problemas complexos em diversas áreas do conhecimento – no caso do LIM ao projeto e planejamento da paisagem.

Para tratar de problemas complexos associados a esse quadro, é necessário usar um meio computacional e uma plataforma de modo a adquirir velocidade e precisão no processo de projeto, como proposta da Plataforma Mariposa apresentada no próximo capítulo. Dessa forma, o conceito do LIM, enquanto processo iterativo, enquadra-se no campo do design computacional ao ser auxiliado por uma plataforma digital vinculada a um software de modelagem que associa-se a um sistema algorítmico de geração de alternativas projetuais. Para fins desta pesquisa é importante destacar que o LIM permite modelar, computacionalmente, a complexidade da informação da paisagem e as diferentes alternativas projetuais.<sup>42</sup>

41 Publicada na Revista Pós FAUUSP, sob o título: Modelagem da Informação da Paisagem - Landscape Information Modeling (LIM). Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/posfau/article/view/168291>>

42 O uso de linguagens de programação, tanto textuais (Python, C++, Rhinoscript) como visuais (Grasshopper para

A intitulação LIM se dá por uma derivação da prerrogativa do BIM (*Building Information Modeling* ou Modelagem de Informação da Construção), o qual segundo Landim (2019) permite gerenciar informações entre múltiplos agentes em todos os ciclos e fases de projeto, da concepção à pós-ocupação. Como visto no capítulo anterior, os Sistemas BIM permitem gerenciar e compartilhar informações entre múltiplos agentes disciplinares em todos os ciclos e fases de projeto, da concepção à pós-ocupação. Dado que este banco de dados integrado de todas as representações reduz o retrabalho, ou seja, ao estabelecer os dados de uma vez, teoricamente, tem-se as atualizações de todo o conjunto quando acontecer alguma modificação no modelo (Eastman et al. 2011), aumentando a eficiência do processo projetual.

Tanto o LIM quanto o BIM trabalham com reprodução gráfica da geometria da construção (modelo tridimensional) e com o conceito de metadados – aos objetos são associados uma série de atributos, por exemplo, a um traço na tela vincula-se dimensões de uma escada e suas propriedades materiais e custos. Trata-se de um banco de dados integrado, no qual todas as informações, propriedades, relações e apresentações são armazenadas (Eastman, et. al, 2008). Um exemplo comercial que utiliza esses sistemas é o Revit® (vinculado ao BIM), assim como a Plataforma Mariposa é ao LIM.

A diferenciação da nomenclatura LIM do BIM<sup>43</sup> se dá por duas frentes de defesa associadas ao processo de projeto, em seus momentos criativo e de execução.

A primeira concerne ao processo de projeto no momento de criação.

Embora as fases projetuais não sejam (devam ser) estanques, considerando que repensar o projeto é um ato contínuo desse processo, quando é necessário materializar o objeto do desenho, os *softwares* baseados em BIM atuam com primazia. Embora as vantagens gerenciais do BIM, no aumento de eficiência e precisão projetual, sejam expressivas, elas não pressupõem (e não objetivam) o estímulo à criação de alternativas e análise de cenários de projeto da paisagem a partir do desempenho e da capacidade, por exemplo, de provisão de serviços ecossistêmicos, avaliando potencialidades, restrições e conflitos.

De forma distinta, o LIM insere-se no nível de utilização computacional algorítmico, segundo a categorização adotada por Kotnik (2010). Nesse nível, além da manipulação de entrada e saída de dados, do nível paramétrico, codifica-se a função que executa os comandos, permitindo uma maior liberdade de concepção. Trata-se de uma sequência de operações algébricas, analíticas e geométricas para a manipulação de dados e sua tradução em propriedades arquitetônicas (Kotnik, 2010). Essa sequência de operações lógicas tem uma série de dados de entrada relacionados a pontos

---

o software Rhinoceros) possibilitam a criação de plugins e ferramentas com funcionalidades extras para esses softwares.

43 São exemplos de estudos que abordaram a aplicação dos princípios BIM ao LIM, Arquitetura da Paisagem (Ervin, 2001; Ahmad & Aliyu, 2012; Zajíčková & Achten, 2013).

de decisão específicos, em que a variação em uma variável de entrada gera um resultado diferente na saída. Ou seja, um algoritmo pode gerar diferentes soluções.

O algoritmo trabalhado pelo LIM pode ser traduzido como uma ordem lógica das operações que serão executadas para se solucionar um problema, e seu “script” como um conjunto de instruções que se utiliza para executar o algoritmo. O algoritmo (a lógica) não varia pois pode ser utilizado em diversas linguagens (Landim, 2019). Já o *script* pode variar de acordo com a linguagem utilizada. A automação de tarefas é inerente a esse sistema, um exemplo, trazido por Landim (2019) é a geração automática de desenhos técnicos para projetos, no qual infinitos desenhos de corte, planta, elevação e detalhes arquitetônicos podem ser gerados a partir da construção de um único modelo tridimensional. Processos de automação podem ser incorporados a projetos complexos da paisagem desde que o projetista escreva um algoritmo/script que execute esta tarefa – eles não retiram do projetista a capacidade crítica, mas simplesmente reduz o uso de mão-de-obra no processo, com ganho de produtividade.<sup>44</sup>

A segunda frente de defesa refere-se à majoritária aplicação e desenvolvimento de tecnologias para os processos e modelos BIM restritas ao edifício, com iniciativas incipientes para a escala urbana e ainda menos contundentes para a paisagem. Reforçando a constatação de que os softwares BIM apresentam um formato operacional mais amigável ao projeto da edificação e dos seus componentes (lajes, vigas, alvenarias, esquadrias, pisos, instalações, entre outros) (Moura et al., 2018).

Enquanto no BIM os objetos têm como metadados não geométricos atributos vinculados a edificação, como dimensões de um batente e suas propriedade materiais e custos, no LIM os objetos são vinculados a elementos da paisagem, possibilitando a extração de dados do modelo tridimensional e das alternativas de projeto.

Embora as contribuições exponenciais tanto do BIM – no gerenciamento de edificações durante as etapas de construção e sua integração com outras ciências – quanto do projeto generativo – na geração de alternativas – as ramificações desses sistemas de design computacional para o paisagismo permanecem não teorizadas e nem tão pouco implantadas. Essa constatação, entretanto, não justifica a inércia em manter o *modus operandi* em CAD para o desenho urbano e paisagístico (Moura et al., 2018).

As infraestruturas e os espaços livres urbanos demandam diferentes elementos de projeto, implantação e monitoramento. É o que LIM se propõe: modelar a informação na paisagem, atuando tanto em um aumento escalar quanto de enfoque do *Building* para o *Landscape* – do *construído* para o *livre*.

---

44 O nível primeiro de automatização é uma das principais características das plataformas BIM.

*(...)Landscape information model consiste em dois componentes principais: primeiro, a informação e o conhecimento sobre os locais (terreno, condições do solo, clima, micro e macroclima, e assim por diante), e segundo a informação e conhecimento sobre a paisagem (“soft materials” como vegetação, e “hard materials” de objetos construídos) (Zajíčková & Achten, p.516, 2013, tradução nossa).*

Trata-se da modelagem da informação da Paisagem. O termo “Modelagem” é mantido pois implica em um processo de descrição (ou representação) que fornece a base para a simulação de desempenho da construção (essencialmente, modelando o comportamento futuro) e para o gerenciamento de informações de construção (modelos de informações que servem como estruturas nas quais as informações são gerenciadas) (Laiserin, 2016). No caso do LIM, o desempenho está diretamente associado à provisão de serviços ecossistêmicos.

A escolha por manter a expressão em inglês justifica-se pela popularização global do vocábulo nesta língua; e a opção por não utilizar a sigla CIM (*City Information Modelling*), apesar do trabalho se inserir na escala da cidade, deve-se ao emprego deste termo na modelagem de morfologias urbanas a partir de dados SIG (Sistema de Informação Geográfica), e não propriamente de elementos construídos de infraestrutura (Moura et al., 2018).

Se tomarmos definições mais recentes do termo CIM verificaremos a inclusão da modelagem, independente da origem geográfica da fonte de dados, enquanto parte da sua concepção. Beirão define o CIM enquanto:

*(...) uma plataforma para projeto, análise e monitorização de cidades. Congrega informação georreferenciada com ferramentas de análise e projeto especializadas. As ferramentas de projeto são generativas para permitir a geração de cenários de transformação. As ferramentas de análise associadas às ferramentas de projeto permitem analisar (calcular) indicadores de apoio à decisão avaliando objetivamente as qualidades das soluções geradas (as qualidades de cada cenário hipotético gerado pelas ferramentas algorítmicas) (2017, p.).<sup>45</sup>*

Este conjunto de conceituações dá maior amplitude à compreensão de CIM, mas é delimitado pelo foco no projeto urbano (*urban design*) e em como este pode ser medido por ferramentas de planejamento urbano (Almeida & Andrade, 2018). Nesta concepção, o LIM não se enquadra pois o foco do CIM é no planejamento urbano, pautado majoritariamente em suas ferramentas e conceitos.

---

<sup>45</sup> Em mensagem a Almeida & Andrade (2018).

Concepções mais recentes, entretanto, como a Almeida & Andrade (2018) reavaliam os conceitos de CIM e propõem uma formulação abrangente enquanto “um modelo de conhecimento baseado em computação envolvendo processos, políticas e tecnologias e que permite que múltiplas partes interessadas colaborem no desenvolvimento de uma cidade sustentável, participativa e competitiva” (p. 44). Eles destringem cada um dos termos definidores do CIM ao explicar o que entende-se que por:

- » **‘modelo de conhecimento’** como um conjunto articulado de classificações, taxonomias, ontologias, modelos, estruturas e teorias, orientado à noção de modelagem da informação;
- » **‘baseado em computação’** como aquilo cujos dados são predominantemente coletados, armazenados e processados em formato digital por meio de processos computacionais, e cuja informação é entregue/devolvida em meio digital por meio de mecanismos computadorizados;
- » **‘tecnologias’** como o campo de aplicação do conhecimento científico com propósitos práticos (OXFORD, 2007 apud Succar, 2009, p. 359), e que envolve agentes especializados no desenvolvimento de softwares, hardwares, middleware, equipamentos e sistemas de rede necessários para promover o aumento da eficiência, produtividade e aproveitamento de um determinado setor produtivo;
- » **‘processos’** como ordenamentos específicos de atividades de trabalho distribuídas no tempo e espaço, com início e fim, entradas e saídas (inputs e outputs) claramente identificados (DAVENPORT, 1992 apud Succar, 2009), e envolvem aqueles agentes envolvidos em licitações, projetos, planos, construção, uso, gestão e manutenção de construções e equipamentos urbanos;
- » **‘cidade sustentável’** entende-se aquela na qual segue-se uma agenda de otimização do consumo de recursos de modo a não comprometer seu uso por gerações futuras;
- » **‘cidade participativa’** entende-se aquela na qual há o fortalecimento de canais de comunicação direta, transparência e abertura de dados, permitindo alto grau de interação dos cidadãos e sociedade em geral com a governança local;
- » **‘cidade competitiva’** como aquela que, pelo conjunto de indicadores favoráveis que detém, apresenta um grande potencial para atrair investimentos e gerar negócios (Bouskela, Casseb, Bassi, Luca, & Facchina, 2016).

Embora a tese sustente a operação do LIM enquanto alternativa importante para o tratamento da complexidade no projeto da paisagem, não se busca aqui defender mais uma terminologia para projetos de paisagem urbana e infraestrutura verde. Apesar do debate semântico em relação a terminologia, para esta tese o que importa é a capacidade dos algoritmos em auxiliar o projetista a considerar a complexidade neste ato.

É justamente em razão desta indefinição terminológica do CIM que há espaço para as mais variadas soluções e experimentos, e, neste sentido, há uma forte sinergia ao redor do globo (Almeida & Andrade, 2018). Nesse sentido, pode-se arriscar uma articulação de que o LIM está circunscrito ao CIM, por justamente ambos se preocuparem com a modelagem da informação. Entretanto, ele se diferencia de todas as práticas do CIM pois sua concepção é circunscrita às questões ambientais da paisagem, em específico, ao seu embasamento em um amplo quadro de referências de conceitos ecológicos e baseados na natureza aplicados ao projeto urbano, mesmo em áreas densamente ocupadas, objetivando a provisão de serviços ecossistêmicos.

Portanto, essa pesquisa assume a prioridade do termo *Landscape* (e não *city*) na terminologia com o objetivo de demonstrar a aplicabilidade da modelagem da informação no desenvolvimento e aprimoramento em todos os projetos de paisagem.

Do ponto de vista teórico, a paisagem deve ser compreendida não apenas na sua dimensão física, mas também enquanto um programa político, social e cultural. Paisagens registram identidades, memórias e modos de vida. Entender essa dimensão de cada paisagem também é tarefa do(a) estudioso(a), que por estar atento consegue se sensibilizar pela sua história e dinâmica (Sandre, no prelo). Deve-se esclarecer, igualmente, que por Paisagismo, este estudo compreende uma forma sistemática de estudar, planejar e projetar a paisagem em um contexto aplicado. Trata-se, portanto, de uma área ampla de conhecimento, que abarca: o planejamento e projeto do espaço livre; ocupação do território relacionada às questões sociais, ambientais, econômicas; relação com os espaços construídos; entendimento teórico do que é paisagem; entre muitos conteúdos que essa disciplina aborda.

Embasado nessa compreensão, defende-se que o LIM pode ser aplicado nas mais variadas dimensões de um projeto de paisagem, tais como: nos espaços livres associados aos sistemas de transporte e circulação; parques; praças; áreas de conservação ambiental; áreas intralote; infraestruturas de drenagem; tratamento das águas e de energia.

Por fim, esta tese se enquadra em um estudo de processo projetual que permita o acesso a um quadro amplo de referências de conceitos ecologicamente aplicados às cidades, como das Soluções Baseadas na Natureza (SbN) e a Infraestrutura Verde (IV). Novamente, se atenta aqui para o tratamento da complexidade como base para o projetar. Se, a essa concepção de IV, associarmos a paisagem um sistema tecnológico adaptativo, podemos criar modelos matemáticos informatizados para avaliação de alternativas, assim como qualquer infraestrutura a ser construída (Cantrell & Holzman, 2016) – pautados na provisão de alguns dos serviços ecossistêmicos fisicamente próximos a sua demanda.

Nesse sentido, questiona-se se seria o uso de design computacional a melhor ferramenta para resolução de problemas projetuais. Trata-se, afinal, de uma mudança de paradigma? É o que discutiremos nos próximos tópicos, destrinchando a diferença entre seu uso nos momentos de concepção do conceito de projeto e nos de reforçar sua inteligência e desempenho.

## Modelagem paramétrica e algorítmica: Um novo paradigma?

A popularidade das técnicas de modelagem para geração de formas complexas gerou um novo termo: “Parametricismo”. Patrik Schumacher, sócio da Zaha Hadid Architects e diretor fundador do Laboratório de Pesquisa de *Design da Architectural Association* em Londres, em seu artigo “*Parametricism: A New Global Style for Architecture and Urban Design*”<sup>46</sup> defende que este termo deve ser adotado enquanto um novo “estilo” de arquitetura. Para o autor, o Parametricismo emerge da exploração criativa de sistemas de design paramétrico e algorítmico articulando processos e instituições sociais cada vez mais complexos.

*Existe uma convergência global em arquitetura de vanguarda que justifica sua designação como um novo estilo: o parametricismo. É um estilo enraizado nas técnicas de animação digital e seus refinamentos mais recentes são baseados em sistemas paramétricos avançados de design e métodos de script. Desenvolvido nos últimos 15 anos e agora reivindicando hegemonia na prática de arquitetura de vanguarda, sucede ao Modernismo como a próxima onda de inovação sistemática. O parametricismo finalmente encerra a fase de transição da incerteza gerada pela crise do modernismo e marcada por uma série de episódios arquitetônicos de vida relativamente curta, que incluem pós-modernismo, desconstrutivismo e minimalismo. A aplicação de suas técnicas é tão difundida que o parametricismo agora é evidenciado em todas as escalas, da arquitetura ao design de interiores e a grandes projetos urbanos. (2009, p.15).*

O autor argumenta que as próprias técnicas inspiraram um movimento coletivo com ambições e valores radicalmente novos, que levaram a problemas de projeto trabalhados competitivamente por uma rede global de pesquisadores. Trata-se de observar o desenvolvimento de uma consistência generalizada e de longo prazo de problemas de projeto que justificaria a enunciação de um novo estilo, no sentido de um fenômeno de época, para além do seu reconhecimento estético.

---

46 Disponível em SCHUMACHER, P. *Parametricism: A new global style for architecture and urban design*. in Neil Leach (ed.), *Digital Cities, Architectural Design*, v. 79, n. 4, p. 14-23, 2009.

O fato de as próprias ferramentas de design paramétrico não explicarem essa profunda mudança de estilo do modernismo para o parametrismo é evidenciado, pois os arquitetos modernistas tardios estão empregando ferramentas paramétricas que resultam na manutenção de uma estética modernista, usando modelagem paramétrica discretamente para absorver a complexidade (Schumacher, 2009). Nesse aspecto, concorda-se com Schumacher, que o processo paramétrico não deve propor uma cacofonia de pura diferença, mas, sim a capacidade de coordenar ainda mais as preocupações pragmáticas e articulá-las com todas as suas ricas diferenciações e associações relevantes.

A sua defesa é duramente criticada por Leach (2014), para o autor Schumacher parece querer se apropriar de todo legado pré-paramétrico dos conjuntos de regras de geometria NURBS<sup>47</sup> dentro do seu vocabulário de “Parametricismo” enquanto um novo estilo<sup>48</sup> arquitetônico e urbanista. Reivindicando todas as formas curvilíneas, sejam elas geradas ou não parametricamente, para sustentar esse novo estilo de concepção projetual, dessa forma, está argumentando tanto pelo estilo em detrimento da metodologia de projeto e também pela forma e não pelo processo da busca de formas.

Schumacher tem no parametricismo uma vanguarda estética que não tem como objeto primeiro a funcionalidade e o desempenho projetuais, mas sim a forma. Seu argumento privilegia a forma como capaz de delimitar e pensar nas complexidades da vida social – o que assegura, por exemplo, ferramentas que não se limitam apenas ao processo, mas também a aplicação e operação do projeto.

As próprias técnicas, fundamentadas em um contexto cultural, incentivam (e até convidam, por facilitar a operação) o uso de formas curvilíneas. Mas não há nada nas técnicas que garanta a seleção de tais formas (Leach, 2014). Para Leach, uma técnica computacional relativamente marginal foi cooptada para se referir a todo um novo estilo de arquitetura e a quebra de um paradigma. Embora o parametricismo esteja enraizado em certas técnicas, incluindo as paramétricas e *scripts*, um novo estilo não pode ser reduzido ao conjunto de técnicas.

Nesse sentido, uma mudança de paradigma é definida como uma mudança gradual no modo de pensar coletivo e não em um conjunto de técnicas que geram formas complexas. É sim a mudança de premissas, valores, objetivos, crenças, expectativas, teorias e conhecimentos básicos. Ainda que a mudança de paradigma esteja intimamente relacionada aos avanços científicos – conforme sublinhado no capítulo 2 desta tese – , seu efeito verdadeiro está na percepção coletiva de que uma nova teoria ou modelo requer a compreensão de conceitos tradicionais de várias maneiras,

---

47 NURBS (*Non-uniform Rational B-Splines*) é um modelo matemático, cujos estudos foram iniciados na década de 50 associados a indústria automobilística, para gerar e representar curvas e superfícies.

48 Estilo significar ‘efeito’ e deve ser entendido dentro de uma estrutura histórica mais profunda que remonta a Gottfried Semper, onde a aparência externa é entendida como o ‘efeito’ de certos processos subjacentes (Leach, 2014).

rejeitando antigas suposições e substituindo-as por novas. Somente projetar formas curvilíneas não se encaixaria nesse conceito.

Entretanto, concorda-se com Leach (2014), ao afirmar que o pensamento projetual se alinha a posições filosóficas contemporâneas como na obra de Manuel DeLanda, que desenvolveu um discurso sobre o Novo Materialismo a partir das abordagens materialistas preocupadas com questões ambientais e da operação e distribuição de recursos – nesse sentido, é possível admitir que há um novo paradigma no horizonte. Um paradigma que se concentra menos em preocupações formais e estéticas, e mais no comportamento material e inteligência de projeto.

*Seria errado, no entanto, supor que o design paramétrico se preocupa apenas com a criação de forma. Pelo contrário, técnicas paramétricas proporcionam ao arquiteto novos modos de eficiência em comparação com abordagens padrão e novas formas de coordenar o processo de construção (Building Informative Modeling) (Leach, 2014, p.34).*

Esta tese acredita que é a partir dos *softwares* de modelagem computacional que são encaminhados os problemas complexos. Trata-se de um meio pelo qual geram e discutem-se formas em uma tentativa nova de pensar o processo de projeto. Entretanto, produzir formas geométricas complexas não representa uma quebra de paradigma, dado que mantém a lógica projetual vigente.

A lógica deve ser a nova forma (Leach, 2014, p.42). O futuro não se baseia apenas em novas formas, mas em novos sistemas informacionais, fundamento do LIM, em um paradigma no qual o desempenho é ligado aos elementos dos projetos e às questões sociais e ambientais. Como contribui o autor (2015) contra a primazia da forma material, podemos postular uma lógica alternativa e fazer uma distinção entre a forma – como em “forma por causa da forma” – e informação. Enquanto ‘forma’ implica uma preocupação por uma condição estática governada em grande parte por questões estéticas, ‘informação’ implica uma condição dinâmica que é informada por uma série de fatores, muitos deles também incluindo a palavra ‘forma’, como ‘desempenho’.<sup>49</sup>

Entretanto, o autor faz um contraponto a questão focada somente no processo, existem questões materiais pressupostas antes de projetar, sobre interesses e como distribuir recursos. Nesse sentido, mesmo que se discutam novas formas de projetar, há de fundo um debate social sobre para quem e o que projetar – , diz o autor:

---

49 Wallis e Rahmann (2016) também usam o termo “performance” para definir uma era no desenvolvimento do digital que começou aproximadamente com a Conferência de Urbanismo Ecológico de Harvard em 2009, e que encerrou sua era anterior de “parametrismo”.

*Quaisquer que sejam as técnicas usadas na geração de qualquer forma, certamente precisamos abordar a questão da aparência ou representação resultante. Além disso, apesar do interesse contemporâneo no processo, simplesmente não podemos escapar da representação. Não é simplesmente que, dentro de uma estrutura deleuziana, ‘processo’ e ‘representação’ devam ser entendidos como presos a mecanismo de pressuposto recíproco, nesse processo alimenta – e desterritorializa – a representação, nada menos que a representação alimenta – e desterritorializa – o processo. Em vez disso, devemos entender a representação como um “efeito” direto das preocupações materiais que governam o processo de projeto. Nós nunca podemos escapar do estilo (Leach, 2014, p.39-40)*

De tal forma que poderíamos arriscar dizer que, para a paisagem, o desempenho do projeto de paisagem urbana na provisão de serviços ecossistêmicos poderia ser relacionado a tal quebra de paradigma. Não há dúvidas que este novo modelo implica em reformular algumas bases teóricas, não para apenas afastar ou criticá-las, mas para revelar uma transformação do pensamento em relação ao tratamento da complexidade na vida social. Não é possível desconsiderar os problemas ambientais, que também são questões materiais. Na sequência, de forma exploratória, é discutida a possibilidade de compreender um novo paradigma para a paisagem.

## **Um novo paradigma para o projeto da paisagem?**

As preocupações performativas (como as ambientais) implicam em uma mudança em relação a questões puramente estéticas e, como tal, abrem importantes questões de otimização e eficiência da ‘forma’. É aqui que podemos, talvez, começar a vislumbrar o mais provável fator de mudança para nossas futuras cidades.

Nesse âmbito, o processo conceitual do LIM incorpora o design computacional, não para o desenvolvimento de formas atípicas reféns de um capitalismo tardio,<sup>50</sup> mas em sistemas evolutivos que podem ser modificados em tempo real. O design paramétrico e algorítmico não devem depender exclusivamente de uma manipulação de forma complexa e visualmente interessante, algumas vezes superficiais.

---

50 A própria diferenciação da cultura pós-moderna é problemática. Leach (2014) traz o argumento de Fredric Jameson – no contexto do apelo ao regionalismo na arquitetura – o desejo de combater a homogeneização do capitalismo tardio celebrando a “diferença” é cúmplice da lógica do próprio capitalismo tardio. A diferença, como observa Jameson, torna-se outra mercadoria no mercado. Em vez de superar as tendências homogeneizadoras do capitalismo tardio, pode-se ver que as alimenta.

A quebra de paradigma para a paisagem pode se dar associada à concepção da variedade processual técnica e socialmente funcional associada a variações formais explícitas do objeto. O foco não é somente a busca pelo dinamismo da forma, mas sim, pela ressignificação do processo que gera uma multiplicidade de resultados possíveis para a paisagem a partir do seu desempenho.

Veja que a crítica aqui não reside nas criativas morfologias arquitetônicas focadas nas qualidades emergentes e adaptáveis da forma, não mais criadas somente por um ato criativo, mas encontradas com base em um conjunto de regras e algoritmos (Agkathidis, 2015). Edifícios com estruturas complexas e curvilíneas são intrigantes e a técnica que hoje nos permite vivenciá-los um ato igualmente encantador, há por que estimular novas e criativas soluções projetuais. Mas somente esse processo, não associado a demais fatores de desempenho, não pode ser chamado de uma quebra de paradigma.<sup>51</sup>

No trabalho seminal *Augmenting human intellect: a conceptual framework*, Douglas C. Engelbart apresenta a ideia de um arquiteto projetando uma residência em que não é só capaz de conceber o objeto arquitetônico, mas fazer análises antes inviáveis tais como: o ofuscamento de carros na rodovia causados pelo reflexo do sol nascente nas janelas da casa recém projetada. Percebe-se, assim, como novos elementos passam a ser considerados e integrados na forma de projetar a partir do uso de modelagem paramétrica.

Nesse sentido, quando projetamos com base em algoritmos é imprescindível definir como será o processo exploratório de projeto. Todo o processo é definido previamente à modelagem da forma, incluindo não só os objetivos do processo, mas todos os inputs fixos e o que será alvo de iteração. A dimensão do projeto se transforma já que não se projeta simplesmente o produto final, mas é incluído o processo exploratório para chegar a tal elemento.

Da mesma forma que prevalece uma discussão quanto ao papel do design computacional para o projetista, há um ceticismo em relação à importância que a parametria tem na arquitetura da paisagem. A relação entre parametria e paisagismo é problemática visto que – em contraste com muitos outros campos de arquitetura – os elementos vivos constituem uma proporção significativa dos elementos de projeto do arquiteto paisagista. A questão pode ser assim sintetizada: Como elementos vivos, que evoluem organicamente ao longo do tempo com base em inúmeros fatores ambientais e contextuais inter-relacionados podem ser quantificados? (Claghorn, 2018).

Em concordância com Claghorn (2018), esta tese sustenta que a intenção não é pressupor a operação computacional para prever perfeitamente um atributo performativo de uma paisagem

---

51 A discussão do “paradigma” se deve em grande medida pela obra de Thomas Kuhn, *A Estrutura das Revoluções Científicas*. O conceito indica uma transformação no interior da comunidade científica quando uma determinada teoria é aceita e seguida pelos cientistas, pois assume um protagonismo obrigatório na abordagem de problemas. Não obstante inúmeras questões se colocam a respeito da definição deste conceito na história da ciência, a ideia do paradigma possui uma forte dimensão sociológica, e outra, cuja característica se resvala em uma técnica de solucionar problemas em detrimento de outras teorias rivais e contemporâneas.

em um determinado período, ou simular perfeitamente como ela irá evoluir. Em verdade, o design computacional possibilita sistematizar dados de ecologia para gerar várias iterações de projeto que contribuem a tomada de decisões pautadas em dados de saída com performance quantificável. De forma alguma o elemento da imprevisibilidade ou da contingência da natureza é controlado pela operação computacional, o que reforça a dependência e responsabilidade humana pela decisão.

É nesse processo dinâmico que novas paisagens performativas podem ser exploradas. A tese se debruça ao questionar como o processo de projeto algorítmico e generativo pode cumprir o anseio de incorporar tal performance.<sup>52</sup>

De forma a permitir organizar o conhecimento que se tem acerca de determinado fenômeno em um processo e tornar explícito as diferenças de concepções em modelos dinâmicos espacialmente, com distribuição espacial dos atributos. Outro fator importante é que os pontos de entrada do algoritmo permitem uma interdependência de parâmetros, tão cara a paisagem.

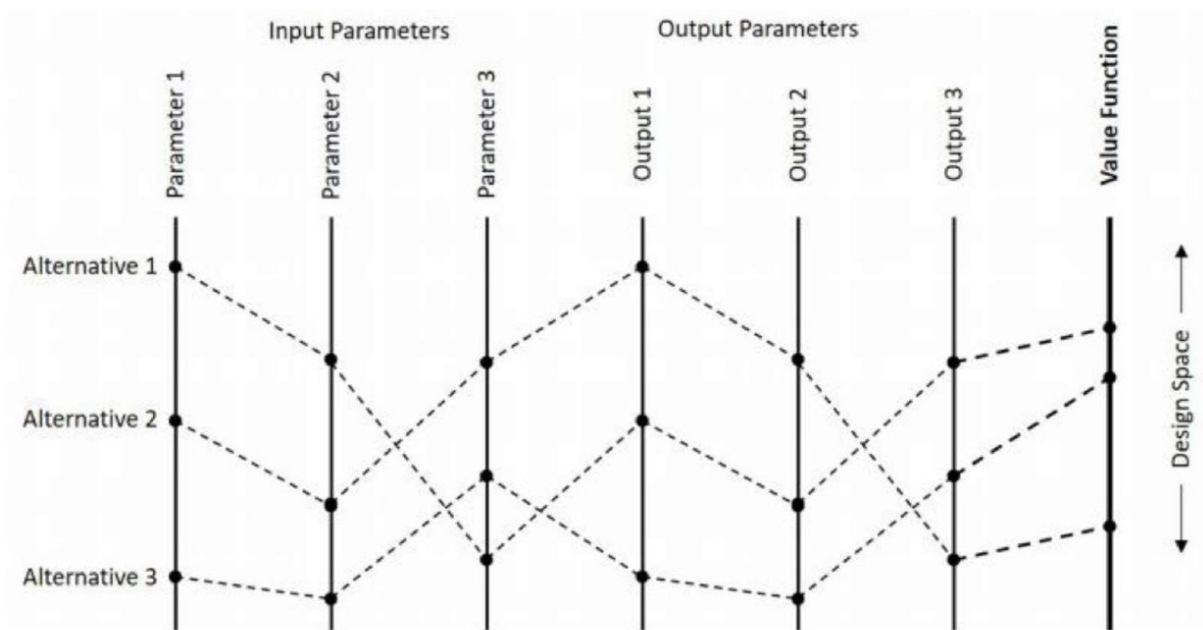


Figura 8. Esquema conceitual do desempenho entre alternativas de projeto que podem ter desempenhos diferentes em cada uma das variáveis de projeto, na maioria das vezes variáveis concorrentes.

Fonte: Haymaker et al., 2018

É nesse âmbito, que a tecnologia deve ser incorporada aos projetos de paisagem urbana e infraestrutura verde, como será discutido no próximo capítulo.

<sup>52</sup> Wallis e Rahmann usam o termo “performance” para definir uma era no desenvolvimento do digital que começou com a Ecological Urbanism Conference em Harvard em 2009, e que encerrou sua era anterior de “parametricismo” (Claghorn, 2018).

## Como materializar o desempenho?

A partir da discussão dos problemas relativos à paisagem, resta a questão sobre como materializar o desempenho. Subjacente ao ponto prevalece o interesse comum em viabilizar projetos que representem e equacionem inúmeras variáveis que devem ser consideradas de modo a preservar o meio ambiente e toda sua potencialidade envolvida. Embora a prática recorrente do uso dos sistemas computacionais seja para geração de formas e variações do projeto, o LIM foca-se em desempenho e performance.

Como visto no início deste capítulo, o LIM enquadra-se sob o Paradigma de Projetos orientados ao desempenho em modelos dinâmicos e interativos materializados por ferramentas computacionais e algoritmos em uma plataforma que oferece um nível de controle. A superação conceitual e projetual do planejamento ambiental pode-se dar auxiliada por meio de intervenções de alto desempenho que aumentem a eficiência dos espaços abertos na provisão de serviços ecossistêmicos (SEs). Obviamente, não desconsiderando as questões sociais e econômicas tratadas na introdução.

Contribuindo com a discussão do desempenho, para Ana Clara Moura (2013), este novo paradigma poderia ser associado, também, a nova maneira de trabalhar com informações espaciais em uma integração entre a representação territorializada de simulações de paisagens resultantes de processos de parametrização. Na inexistência de um novo termo que represente essa fase, esse novo paradigma, a autora propôs o termo “Modelagem Paramétrica da Ocupação Territorial”. Trata-se de uma abordagem, como explica a docente, para simular o futuro da cidade caso o Plano Diretor fosse executado, em uma comparação entre o possível – pautado pela legislação – e o provável, influenciado pela dinamização de mercado, questões sociais, entre outros fatores.

É nesse sentido que o LIM se encaixa, em um paradigma no qual o desempenho – incluindo o desempenho estrutural e ambiental – é associado às informações dos elementos de projeto e, também, do território.<sup>53</sup> Em específico procura-se responder qual a influência para a provisão de serviços ecossistêmicos da modificação dos elementos de projetos e variáveis atribuídas ao algoritmo e quais dos pontos de decisão levam a diferentes percursos?<sup>54</sup>

São inúmeras as vertentes que influenciam na qualidade de um projeto de arquitetura da paisagem, desde as relacionadas às estéticas até aos serviços ecossistêmicos. Dentre esses, entram

---

53 O termo Projeto Orientado ao Desempenho (Performance-driven) (SHEA; AISH; GOURTOVAIA, 2005; OXMAN, 2007; SHI, 2010; SHI; YANG, 2013) se refere ao uso de otimização integrada de vários requisitos de desempenho quantificáveis de edifícios (SHI; YANG, 2013), entretanto, a aplicação em paisagismo é ainda limitada.

54 Este entendimento de que as cidades só tem a ganhar se os seus projetistas se inspirarem nos sistemas naturais de regeneração das águas, solo e biodiversidade, é um ponto fundamental para uma mudança no paradigma com que temos lidado até agora com o problema, e desse modo propiciarmos uma forma mais eficaz de enfrentarmos o desafios climáticos, ao mesmo tempo que criamos lugares mais atrativos e saudáveis para viver, trabalhar, circular e recrear (Pellegrino, 2019).

água (qualidade e quantidade), conforto térmico, sequestro de carbono, provisão de espaços para práticas esportivas, lazer e recreação. Um exemplo seria estimar o efeito positivo no projeto paisagístico, tanto em termos de sequestro de carbono, conforto térmico, redução da poluição do ar e da água, bem como quantidade de água interceptada, a depender de quais espécies arbóreas forem utilizadas. No design computacional, para responder a essas demandas seriam necessários pelo menos uns três *softwares* que articulem todo esse conhecimento especializado.<sup>55</sup>

Em vista desse cenário, para superar o paradigma vigente e ter acesso a um processo orientado ao desempenho que otimiza dados quantificáveis, será necessário “simplificar” o acesso dessa linguagem para os projetos, mesmo sabendo que vivemos em um universo de conhecimento cada vez mais especializado. Como articular todo esse conhecimento, sem incorrer no risco de perder as especificidades de cada disciplina, abdicando do rigor científico?

Em contraposição a esta demanda, a revisão de literatura apresentada no capítulo 1 desta tese foca somente sob um aspecto de como aumentar a provisão de serviços ecossistêmicos urbanos no projeto. Na tentativa de evitar a hiperespecialização, este trabalho procurou extensivamente durante meses um projeto que estudasse (com dados, *softwares* e não somente teorizar) múltiplos vieses da provisão de SEs urbanos. Ainda assim, defende-se ser mais relevante constituir equipes interdisciplinares no processo, dado que um só profissional não pode abarcar conhecimento de todas as áreas, com o risco de perder-se em um generalismo excessivo.

A dificuldade de usar o meio, como os recorrentes erros de código, não deveria influenciar e ser um impeditivo que dificulte o processo. Mas é recorrente que mudanças no processo sejam feitas para viabilizar a solução.<sup>56</sup> Nesse sentido, defende-se que seja apresentado ao arquiteto e urbanista a possibilidade da linguagem de programação na prática projetual, mas não sua plena fluência que cabe a um cientista da computação – situação descrita no capítulo 2.

Um trabalho importante que contribui à prática é o de Landim (2019), a pesquisadora defende que o entendimento de como algoritmos podem apoiar o pensamento do projetista na concepção e resolução de problemas em projetos, torna o processo de projetar menos restringido por software. Como a autora observa, arquitetos podem aprender a programar em linguagens que estão disponíveis dentro de ambientes CAD, como Rhinoscript (disponível no programa Rhinoceros) e AutoLisp (disponível para AutoCAD), que incorporam métodos para trabalhar com

---

55 Na prática, os arquitetos e urbanistas raramente têm conhecimento e acesso a todos. São poucos os colegas profissionais, formados anteriormente a 2010, que usam *softwares* de geoprocessamento, ainda mais raros aqueles que usam modelagem algorítmica. Não se pode exigir que um escritório contrate todos os profissionais hábeis em todos os *softwares* para desenhar um espaço livre verde, como uma praça. No entanto, esta tese apenas pondera sobre o impacto desta inovação no mercado profissional.

56 Como acrescenta Landim (2019), o arquiteto e pesquisador Daniel Davis (2013), ao analisar a flexibilidade da modelagem paramétrica escrita através de linguagens de programação visual, indica que quando o projetista encontra problemas com o código, geralmente precisa escolher entre reconstruir o modelo ou “comprometer suas intenções de projeto para atender às limitações de um modelo paramétrico existente” (DAVIS, 2013, p. 42).

geometrias e sólidos, além de algumas outras linguagens visuais como Grasshopper e DynamoBIM e seus respectivos ambientes de linguagens textuais como VBA, Python, C#. Para a autora, por esta experiência direcionada, pode ser difícil que arquitetos aprendam e programem fluentemente em outras linguagens que possuem sintaxe muito diferentes.

Acredita-se que o uso dos algoritmos no design computacional poderia ser um meio para auxiliar nessa resposta.

Isto torna o momento propício para o desenvolvimento de um conceito LIM e de uma Plataforma digital que, organizado de forma aberta, por meio da utilização de um ambiente virtual, utilizando os meios já existentes, viabilize o gerenciamento contínuo e sob demanda das diversas entradas e contribuições específicas de cada uma das disciplinas afins, com seus diversos atores, necessidades e tempos. Ainda que o modelo seja uma representação simplificada de uma entidade que se deseja estudar, ele pode responder a algumas perguntas.

Um grande desafio que as ferramentas e os processos atuais de projeto não estão conseguindo atender. Permitindo confluir os *insights* das ciências parcelares usando modelagem digital, com informações e preferências dos usuários com dados quantitativos de qualidade e volume de água, reafeiçoamento topográfico, seleção e distribuição de vegetação, acessibilidade e circulação, entre outros que permitam entender e descrever as condições existentes e permitir o projeto de desempenhos futuros, conformando paisagens responsivas às diversas escalas, situações e funções (Sandre & Pellegrino, 2020).

A título de exemplo, se alguém perguntar para um botânico como chegar até determinado local, certamente ele utilizará por referência as bases conceituais de sua formação técnica explicando, por exemplo, que deve passar por duas goiabeiras, uma jabuticaba e virar à esquerda. Agora, se perguntar para um técnico da engenharia de trânsito da cidade, ele falará para passar a lombada virar à esquerda, se perguntar para um arquiteto ouvirei, passando o edifício sob pilotis, vire à esquerda. Este exemplo caricato revela, em verdade, que cada profissional olha a paisagem sob um aspecto, e isso é a riqueza atual e, ao mesmo tempo, o desafio para estabelecer o diálogo entre as técnicas no momento de projetar.

Com suas distintas bases técnico-científicas, as ciências parcelares podem dialogar e contribuir decisivamente para o aprimoramento das etapas de criação, implantação e monitoramento de projetos, permitindo a conformação de paisagens responsivas às diversas escalas, situações e funções. Cabe ao ensino da (para a) paisagem ser atento aos propósitos de cada carreira, mas sem desvincular e isolar-se das questões das demais.

Embora não haja um consenso – e não seja propósito deste trabalho discuti-lo e nem tão pouco defendê-lo – o estudo da paisagem do lugar, enquanto materialização da interação do homem com meio, é requisito essencial para o profissional preocupado com a compreensão, planejamento e projeto dos espaços. Evita-se reduzir as questões ao ecletismo autômato, recorrente na academia,

da defesa de um ensino interdisciplinar, paradoxalmente somente de (e pensado para) Arquitetos e Urbanistas. Essa interlocução entre estudantes (e também profissionais) que pretendem promover uma leitura, planos e projetos da paisagem, muitas vezes, apresenta impeditivos linguísticos de constituição epistemológica dos campos disciplinares.

É necessário um esforço adicional para estudantes, projetistas, planejadores e cientistas terem a plena comunicação em um espaço democrático de ensino e prática profissional. Em uma equipe de pesquisa interdisciplinar é exigido do sujeito uma capacidade de transitar por diversas percepções, cada qual com seu conjunto de referências históricas, construídas a partir da experiência vivida por cada um dos pesquisadores participantes.

Um ponto importante é problematizar a comunicação. Isto porque a interlocução entre sujeitos, muitas vezes, apresenta impeditivos linguísticos de constituição epistemológica dos campos disciplinares e também da multidimensionalidade dos objetos. Essa língua técnica, em que somos educados e alfabetizados, é comumente referida como o “arquitetês, engenheirês, sociologês ou juridiquês ...”. Destaca-se aqui que este esforço de articulação em uma equipe não se sustenta apenas da vontade do sujeito ou de uma coordenação dedicada, mas exige uma construção coletiva que transcenda a conduta individual de cada membro – trata-se de observar um parâmetro comum, às vezes vinculado a construção de um domínio linguístico próprio de determinado projeto ou empreitada. Um profissional que não entende a linguagem do outro não consegue plenamente estabelecer um diálogo legível. Trata de estabelecer um único domínio linguístico, a partir da identificação de zonas de não resistência epistêmica entre as disciplinas,

*Ao interpretar os fenômenos para os quais a sua formação disciplinar o qualificou, o pesquisador percebe uma realidade, dando-lhe sentido lógico e informacional, segundo as lógicas de seus paradigmas e as informações de seu domínio linguístico (Silva, 1999, p.13).*

Vale ressaltar que essa construção de um denominador comum que permite a interação de diferentes profissionais para o projeto paisagístico pode ser facilitada por meio de uma formação acadêmica que estimule a capacidade pluralística do aluno, por meio de disciplinas interdisciplinares.

Esse modelo é uma base comum para que os diversos agentes envolvidos dialoguem e possam interagir com o programa e visualizar alternativas de configuração dos elementos da paisagem auxiliar na compatibilização dos conflitos inerentes ao processo participativo de co-criação dos projetos, negociação de soluções na prospecção dos cenários e apoio à decisão. Essas alternativas contribuem para a gestão de projetos pois os gestores, sociedade civil e universidade podem confrontar as diversas possibilidades de atendimento dos muitos interesses e acordar para uma

solução que melhor atenda a todas as partes; em um processo que minimiza as (des)economias que correções de projeto por processos convencionais acarretam, com resultados sempre aquém do desejado.

*Um modelo é uma seleção metodológica, uma vez que responde à lógica, equação ou caminhos escolhidos para a investigação e composição. É uma seleção temporal, pois corresponde a um período ou data, e as variáveis estão envolvidas em constante transformação, cada uma em sua escala temporal. Por fim, um modelo é uma seleção espacial, pois é escolhido e delimitado um território a ser investigado, e a depender de como a seleção é feita, é importante considerar efeitos de borda, e influências de vizinhança, presença e difusão de eventos e fenômenos no território (Moura, 2013 p.5)*

O cenário não é o futuro desejado pela sociedade, mas, de acordo com o IPBES, é uma representação de possíveis futuros plausíveis ou de diferentes alternativas de manejo de tomada de decisão de políticas públicas, o que reforça o caráter da complexidade no projeto discutida na tese.

Por fim, não se trata de instrumentalizar o projeto pelo computador – como já apresentado no capítulo 2, mas sim propor um modelo responsivo que auxilie os usuários na intervenção da paisagem a partir da integração de parâmetros desejados, gerando maior eficiência em todo o processo de projeto, desde sua concepção até sua manutenção. Não se pode esquecer que o computador é uma criação humana, que parte de princípios históricos e é protagonista exclusivo na tomada de decisão, portanto sempre que possível seus códigos devem ser abertos e submetidos a uma série de controles sociais.

Deve-se lembrar, inclusive, sobre a discussão em relação à programação de vícios, que são traduzidos e operados pelos algoritmos – o que reforça a necessidade de transparência, debate e esclarecimento acerca dos valores. Obviamente que a concepção é fruto de intencionalidades humanas e que a escolha das alternativas é pautada, além dos vários requisitos de desempenho das ciências parcelares inseridos no LIM, obrigatoriamente quantificáveis, a questões sociais qualitativas. Paisagem esta que frequentemente é resultado de uma constante negociação de resolução de interesses e conflitos, cuja resolução exige uma dinâmica mais atenta e ágil que as tecnologias latentes atuais indicam já ser possível aplicar (Pellegrino, 2018).

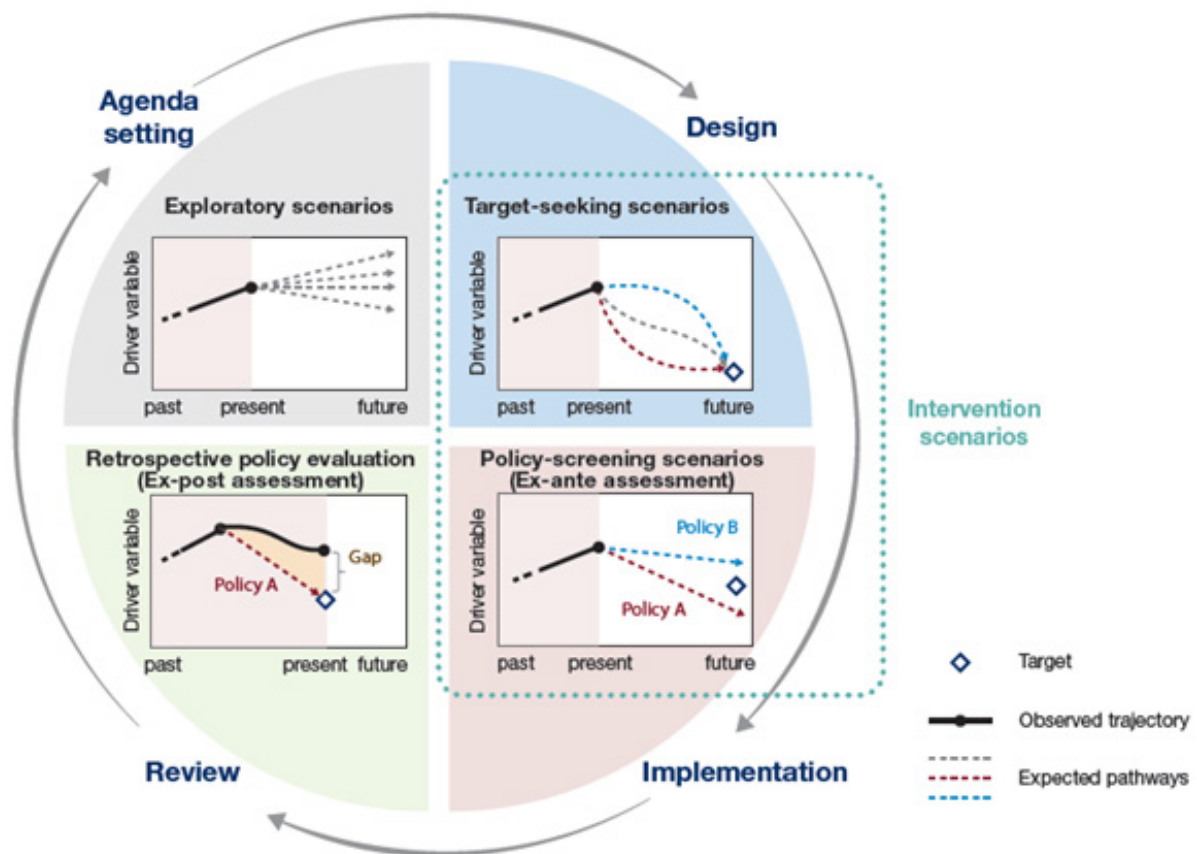


Figura 9. Cenários são representações ou simulações de possíveis futuros para um ou mais componentes de um determinado sistema de estudo, ou então diversas opções de gestão e política pública (IPBES 2016), em função de diferentes tipos de tomada de decisão no presente. Permitem uma análise comparativa das potenciais consequências das alternativas. Segundo Joly et al. (2019) os Cenários exploratórios: exploram diversas tendências (e.g. mudanças econômicas, políticas ou populacionais) comparando essas alternativas com o cenário business-as-usual, que seria a manutenção da tendência passada; ii) cenários de meta: definem uma meta para ser alcançada no futuro (como as metas de Aichi/CDB), e então parametrizam diferentes condições iniciais do sistema (os cenários) para se chegar a essa meta; iii) cenários de varredura de políticas públicas: comparam várias alternativas de políticas públicas ou de manejo do sistema em termos de suas consequências sobre o estado da natureza e seus benefícios; e iv) cenários retrospectivos de avaliação: comparam as projeções feitas a partir de cenários e modelos usados no passado com o que foi efetivamente alcançado no presente, analisando então a existência e as razões de diferenças entre esses valores.

Fonte: IPBES, 2016

## Exemplos de aplicação da modelagem paramétrica e projetos generativos a arquitetura, urbanismo e paisagismo

O projeto generativo trata da aplicação de um método para gerar um conjunto de soluções, logo, como esclarece Celani (2017), o objetivo não é a forma em si. Nesse sentido, como há inúmeras soluções aceitáveis para o problema há espaço para variação, o que é extremamente interessante se pensarmos em planejamento urbano, onde deve-se pesar uma série de variáveis, muitas delas concorrentes. Por exemplo, aumentar a densidade construtiva e populacional em zonas centrais pode gerar mais opções de moradia e acesso a emprego, mas também pode significar maior sombra nos espaços livres ocasionada por prédios altos, se não for realizado um estudo de conforto ambiental.

Conforme acrescentam Whitney e Ho (2019), diferentes especialistas em uma equipe de planejamento executam análises separadas para produzir um projeto de bairro: um arquiteto usa um tipo de software para simular a luz do sol, um engenheiro usa outro para planejar ruas, um desenvolvedor imobiliário modela a economia em uma planilha e assim por diante. Para os autores, isso demanda tempo e o custo para coordenar todos esses elementos concorrentes.

De forma a enfrentar esses desafios, há uma série de pesquisas que utilizam o conceito de projeto generativo em planejamento urbano. Uma delas é a ferramenta desenvolvida pelo Sidewalk Labs<sup>57</sup> que ajuda os planejadores a gerar não apenas um ou dois, mas bilhões de cenários de planejamento a partir de variáveis pré-estabelecidas. E, para cada cenário é associado um desempenho (ex. orientação das edificações, conforto ambiental, ...), o que auxilia a tomada de decisão pela equipe e comunidade.

O projeto generativo permitirá não só o maior acesso da comunidade à informação, mas também simular, em tempo real, diferentes cenários a partir de variáveis afetadas por suas demandas, em um planejamento participativo. Tais simulações podem ser admitidas como etapas de prestação de contas pelo Poder Público à comunidade, bem como formas de discussão em consultas públicas, admitindo que o projeto é resultado dessas interações entre sociedade civil, especialistas (eg. paisagistas, urbanistas e programadores) e as autoridades públicas.

Outro exemplo é o *Landscape Performance Series* (LPS) uma iniciativa do LAF para avaliar o desempenho de projetos construídos que visam fornecer serviços ecossistêmicos específicos. O programa está construindo um portfólio de estudos de caso de documentos que servirão de referência para profissionais, pesquisadores e estudantes.<sup>58</sup> Já o Departamento de Agricultura Serviço Florestal dos Estados Unidos desenvolveu o Modelo UFORE de computador para quantificar a

---

57 Disponível em: < <https://www.sidewalklabs.com/> > Acesso em 04 fev. 2022

58 Disponível em: < <https://www.conservationfund.org/> > Acesso 20 fev. 2020

estrutura e função florestal urbana. O modelo calcula vários atributos relacionados aos serviços dos ecossistemas urbanos, incluindo: poluição do ar, gases de efeito estufa e uso de energia.

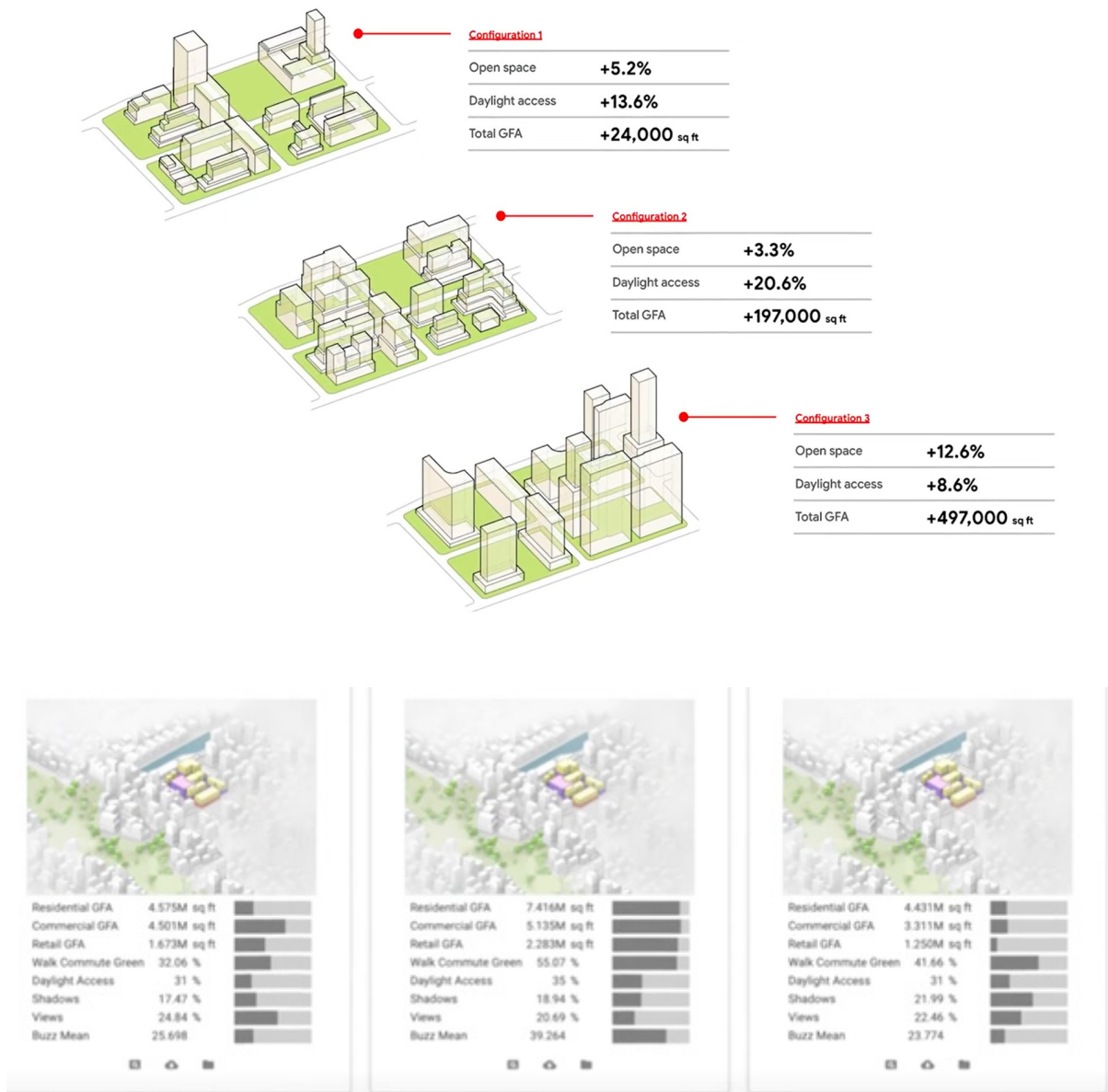


Figura 10. Estudo de possíveis configurações de implantação para uma área urbana a partir das variáveis de quantidade de espaço livre, acesso à luz do dia e densidade populacional.

Fonte: modificado de Sidewalk Labs.

A equipe de Anya Domlesky criou uma ferramenta de inteligência artificial (AI) que reconhece a flora e a fauna em uma praça urbana. Ao ensinar um algoritmo de aprendizado de máquina a identificar uma árvore, uma pessoa, uma bicicleta etc., a equipe processou mapas de calor que indicam o tempo de permanência ou o tráfego de pedestres.

Em 2016, Bradley Cantrell, ASLA; Laura J. Martin; e Erle C. Ellis publicaram o artigo “Designing Autonomy: Opportunities for New Wildness in the Anthropocene” na revista *Trends in Ecology & Evolution* onde especularam sobre as maneiras pelas quais os sistemas inteligentes podem ser usados no gerenciamento de áreas selvagens protegidas (Zeiger, 2019). Os autores sugerem que, por meio da IA, uma paisagem pode aprender a se conservar a partir da coleta de dados do ambiente circundante e, finalmente, ser gerenciada sem intervenção humana.<sup>59</sup>

A IA e o aprendizado de máquina se estendem e mudam os modos de análise, assim como as sobreposições de Ian McHarg e, em seguida, os sistemas de informações geográficas, deram início a novas e abrangentes maneiras de entender a ecologia (Zeiger, 2019).

Por fim, há outros exemplos de *softwares* que permitem o processo generativo em projeto, como o Generative Components (GC),<sup>60</sup> Digital Projects<sup>61</sup>, Grasshopper<sup>62</sup>, Dynamo<sup>63</sup>. Este último encontra-se enquanto uma linguagem de programação visual (do inglês Visual Programming Languages – VLPs), onde não se manipula diretamente a forma mas códigos representados graficamente e não em textos em linguagem de script (Textual Programming Languages, TPLs).

Tabela 5. Síntese dos programas de projeto (baseado em Mineiro, 2019; Lipson e Kurman, 2013)

Programas não paramétricos: configuração das formas, modelagem por notações fixas
Programas paramétricos: alterações dos parâmetros, mesmo após a definição prévia de formas.
Programas paramétricos + plugins: programação de pequenos códigos em ambiente aberto
Parametrização customizada: encadeamento complexo de parâmetros particulares a cada projeto
Design generativo (ou evolucionária): o ambiente influencia no processo e resultado projetual

59 Para mais informações sobre a pesquisa, ver “Ecology on Autopilot”, LAM, junho de 2017

60 Lançado em 2003, Bentley Systems. Disponível em: [https://communities.bentley.com/products/products\\_generativecomponents/w/generative\\_components\\_community\\_wiki](https://communities.bentley.com/products/products_generativecomponents/w/generative_components_community_wiki) acesso 28 jan. 2020.

61 Gehry Technologies, desenvolvida com base no CATIA, marca registrada da Dassault Systems.

62 McNeel, lançado em 2007 e utilizado no software Rhinoceros.

63 Autodesk, lançado em 2011 e utilizado no software Revit.

## Programas de Modelagem 3D e suas linguagens de programação

Programa/IDE	Linguagem/ Biblioteca	Sintaxe
	Dynamo	nodes
Revit	Revit Macros	VB.NET
		C#
	RevitPythonShell	Python
ArchiCAD	GDL	BASIC-like
Vectorworks	Marionette	nodes
	Vectorscript	Pascal
Rhinceros	Python	Python
	Grasshopper	nodes
	Python	Python
	Rhinoscript	VBScript
Autocad	AutoLISP & VisualScheme	LISP
	VB.NET	BASIC-like
FreeCAD	Python	Python
SketchUp	Ruby	Ruby
Blender	Python	Python
Bentley	Generative Components	nodes
Houdini	Houdini	nodes
Processing	Processing	Java
		Python
P5*JS (Processing Foundation)	P5*JS	JavaScript
NodeBox 3	NodeBox	nodes
NodeBox for OpenGL	Python	Python
3D Max	Python	Python
	MAXScript	MAXScript
Maya	Python	Python
Fusion360	Python	Python
	C++	C-like
Cinema 4D	Python	Python
	Coffee	Coffee
Unity	C#	C
Unreal Engine	Blueprints	blocks
	C++	C
QGIS	Python	Python
ArcGIS	Python	Python
Rosetta	Racket	Lisp-like
	Python	Python
	Processing	Java
	Java	Java

<b>Legenda</b>	
Tipo de modelagem	
	BIM
	CAD
	3D
	QGIS
	OUTRO
Tipo de linguagem	
	visual
	textual

Figura II. Principais programas de modelagem tridimensional e suas linguagens de programação e sintaxes disponíveis para desenvolvimento.

Fonte: adaptado de Villares (2018)

Os exemplos apontados reforçam a importância da aplicação de sistemas de modelagem da informação da paisagem, inclusive para melhor lidar com o debate da provisão de serviços ecossistêmicos no ambiente urbano. Para tanto, os exemplos mencionados possibilitam a operação

e integração de metadados essenciais para lidar com a complexidade inerente ao projeto da paisagem.

É possível perceber que esta ferramenta computacional não é apenas relevante para a atuação dos projetistas e profissionais envolvidos com o planejamento urbano, mas também para a própria sociedade civil que passa a exigir maiores detalhamentos e ponderações sobre as decisões tomadas pelas autoridades competentes. Resgatando Patrik Schumacher, o processo paramétrico aplicado ao processo da paisagem não deve resultar numa cacofonia de diferentes pontos de vista, mas, sim na capacidade de coordenar as diferentes relações estabelecidas no projeto, de modo a permitir a discussão das alternativas e cenários com os envolvidos – num constante processo de revisão e implementação de políticas públicas urbanas e ambientais.

## Considerações parciais

Este capítulo apresentou o conceito do LIM, definido como método vinculado à modelagem algorítmica computacional, projetos generativos e algoritmos genéticos de suporte à proposição de projetos de arquitetura da paisagem. Este capítulo colaborou com o entendimento da hipótese acerca do LIM enquanto alternativa importante para o tratamento da complexidade no projeto da paisagem. Para tanto, o capítulo diferenciou a operação do LIM em face do BIM.

De uma forma sucinta, é possível apresentar uma comparação assim esquematizada dos sistemas computacionais observados:

Semelhanças	Alcance do sistema	Aplicação e desenvolvimento de tecnologias para os sistemas
<ul style="list-style-type: none"><li>• Reprodução gráfica da geometria da construção (modelo tridimensional)</li><li>• Operação com metadados não geométricos</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• BIM: Materialização do objeto do projeto (nível restrito)</li><li>• LIM: Automação de tarefas do projeto (nível ampliado)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• BIM: Edificações</li><li>• LIM: Infraestruturas e os espaços livres urbanos</li></ul>

Ainda, o capítulo contribuiu com a distinção entre LIM e o CIM. Ambos se inserem no planejamento urbano, o termo CIM se concentra às morfologias urbanas a partir de dados SIG, e

não propriamente de elementos construídos de infraestrutura, o que possibilita se diferenciar do LIM, focado em especial para o projeto da paisagem e é capaz de mobilizar inúmeros parâmetros.

Diante deste cenário, o capítulo suscitou o questionamento se a operação do LIM representava uma quebra de paradigma para o projeto da paisagem tendo em vista a concepção da variedade processual técnica e socialmente funcional. Argumentou-se que o LIM não somente busca o dinamismo da forma, mas sim, presa pela resignificação do processo projetual que gera uma multiplicidade de resultados possíveis para a paisagem a partir do seu desempenho, o que envolve também a participação de inúmeros interessados no processo.

Em complemento, a tese também retomou apontamentos do capítulo I para apresentar aplicações concretas do desempenho do projeto de paisagem urbana na provisão de serviços ecossistêmicos via modelagem paramétrica e algorítmica. Percebeu-se que este novo modelo exige reformular algumas bases teóricas, não para apenas afastar ou criticá-las, mas para revelar uma transformação do pensamento em relação ao tratamento da complexidade na vida social. É etapa fundamental do projeto da paisagem considerar os problemas ambientais, que também são responsabilidades do paisagista, do programador e demais profissionais envolvidos com o LIM, além é claro de dever do Poder Público e direito da sociedade civil.

# CAPÍTULO 4

## APLICAÇÃO DO LIM: PLATAFORMA MARIPOSA

Este capítulo refere-se à etapa exploratória da tese, que se baseia nos estudos e experimentações para concepção de um protótipo online com usabilidade de recursos básicos da Plataforma Mariposa. Cabe destacar que nesta tese é apresentado um protótipo, de forma a exemplificar a aplicação do conceito LIM, apresentado no capítulo 3, a partir de simulações.

Destaca-se que a Plataforma Mariposa vem sendo elaborada desde 2020, em conjunto com outros pesquisadores dentro de um Projeto PIPE Fapesp, os quais desde já agradeço a colaboração, a saber: Prof. Dr. Paulo Pellegrino; Prof. Dr. Silvio Motta; Arquiteta e Urbanista Riciane Pombo e os discentes João Deodato e Carmen Ayres. Os apontamentos a seguir indicados são derivações desenvolvidas a partir da operação do protótipo online.

### Premissas da plataforma mariposa

No âmbito desta tese, foram definidas quatro grandes premissas para estruturar a concepção da Plataforma Mariposa, algumas delas já adotadas no primeiro protótipo online apresentado de forma exploratória.

Em síntese, propõe-se a criação da Plataforma Mariposa com os objetivos de:

- » Aplicar o conceitual do LIM em uma ferramenta de projeto;
- » Viabilizar a geração pelos usuários de diferentes alternativas de projeto para provisão de serviços ecossistêmicos a partir da integração de diversas variáveis, a exemplo das hidrológicas, ecológicas e de conforto ambiental, prevendo tendências e avaliando restrições e conflitos de interesse;
- » Responder qual a influência da modificação de elementos e variáveis atribuídas ao algoritmo para o desempenho de projetos de Arquitetura da Paisagem.

Trata-se um avanço em relação ao processo de projeto, ao incluir a concepção baseada em parâmetros e performance para a modelagem precisa da informação, conforme discutido nos capítulos anteriores. Tal integração possibilitará que as diferentes fases do processo de projeto da paisagem, tais como concepção, análises de viabilidade e execução aconteçam de maneira integrada, pois estarão baseadas em parâmetros, metadados e regras generativas, o que possibilita um melhor tratamento à complexidade inerente ao projeto da paisagem – como discutido no capítulo 3 desta tese.



Figura 12. A Mariposa foi escolhida como nome para a plataforma digital.

Em 25 de janeiro de 1862, Charles Darwin (1809-1882) recebeu uma caixa de orquídeas de James Bateman (1811- 1897), dentre elas estava a *Angraecum sesquipedale*, nativa de Madagascar. A fascinação dele foi tamanha que escreveu cartas a James, se perguntando: “do you know its marvelous nectary 11½ inches (29.2 cm) long, with nectar only at the extremity. What a proboscis the moth that sucks it, must have! It is a very pretty case”. Ele também diz, “Good Heavens what insect can suck it”, já prevendo qual animal poderia ser responsável pela polinização (Ardetti et al., 2012). Décadas mais tarde, foi descoberta a mariposa *Xanthopan morgani praedicta* com sua probóscide gigantesca: só a mais longa e especializada das línguas pode alcançar o néctar e, por consequência, polinizar a orquídea! É o que Darwin prediz, uma flor com estilete tão longo geraria probóscides cada vez mais longas, uma das principais contribuições para a biologia evolucionária: a coevolução! Essa relação complexa ilustra nosso trabalho generativo, de especialistas extremos – como a mariposa – a generalistas todos temos lugar na paisagem, espaço e função.

Fonte: arte da marca autora e Julio Okabayashi

## Primeira premissa: fase de projeto e provisão de serviços ecossistêmicos

A primeira premissa define que a Plataforma Mariposa atuará, principalmente, na fase de suporte à concepção do processo de planejamento e projeto de Arquitetura da Paisagem. A base de operação da Plataforma é dinâmica e interativa, vale dizer, ao invés de especificar formas fixas em linhas, os usuários definirão o processo, as variáveis e os parâmetros pelo qual os objetos serão criados.

A estrutura do protótipo inicial da Plataforma Mariposa procura responder qual a influência para a provisão de serviços ecossistêmicos (SEs) da modificação dos elementos de projeto e quais dos pontos de decisão levam a diferentes percursos. Por exemplo, estimar o efeito positivo no projeto, em termos de sequestro de carbono, conforto ambiental e drenagem urbana, a depender de quais espécies arbóreas forem utilizadas.



Figura 13. Processo de projeto generativo de uma paisagem urbana: a partir da inserção de dados de entrada e desempenho vinculados a SEs gera-se a forma de fluxos, diferentes SbN e dispositivos de infraestrutura verde. Atribui-se a cada elemento um identificador com um conjunto de atributos associado, onde suas informações, propriedades, relações podem ser modificadas pelo usuário para gerar diferentes cenários a partir do algoritmo.

Fonte: Sandre et al., no prelo

Não obstante esteja concentrada na fase de criação, a Plataforma Mariposa não se destina à realizar pesquisas empíricas sobre prestação de SEs, mas sim contribuir enquanto uma ferramenta de concepção projetual. De forma a identificar qual SE adicional gerado pelo projeto quando comparado à alternativa cinza. Naturalmente, antecede à concepção, alimentar a Plataforma com

estudos empíricos prévios. Por exemplo, no que tange aos SEs, é necessária uma avaliação da oferta de múltiplos serviços, bem como da demanda local.<sup>64</sup>

Um primeiro ponto de extração de dados para a Mariposa foi tomar como base para cálculo a oferta potencial de serviços ecossistêmicos – enquanto a capacidade máxima hipotética otimizada de uma área específica de fornecer um conjunto específico de benefícios dentro de um determinado período de tempo. Este dado difere-se, por exemplo, da capacidade de uma área específica de fornecer um conjunto específico de benefícios dentro de um determinado período de tempo realmente utilizado (Burkhard et al., 2012); informação que não pode ser utilizada, uma vez que são dados não plenamente acessíveis para várias das áreas urbanas.<sup>65</sup>

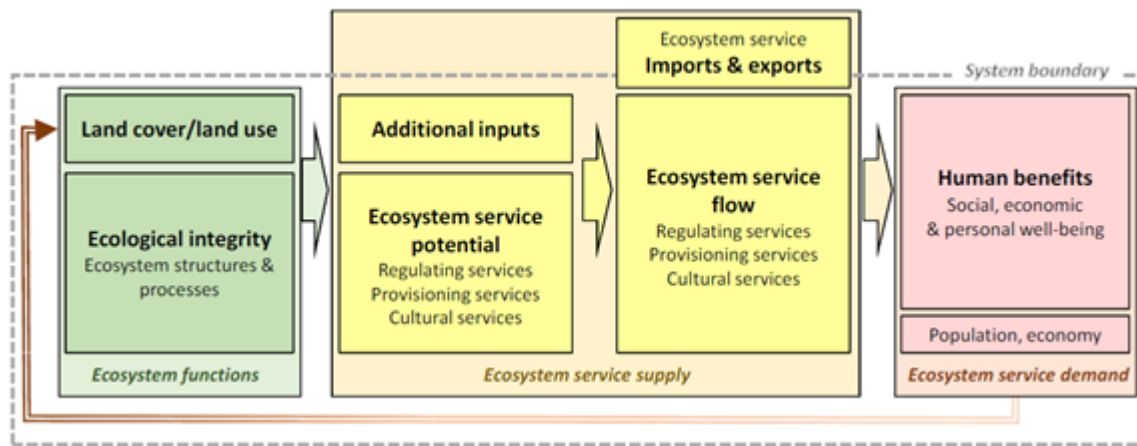


Figura 14. Modelo conceitual mostrando relações de funções, serviços e benefícios do ecossistema.

Fonte: Burkhard, 2014

Esta primeira premissa levanta dois grandes questionamentos de como resolver a complexidade associada à oferta, limiares, modulação de SEs. Busca-se, então, realizar uma aproximação de como estruturar o algoritmo da Mariposa, enquanto um codificação de um processo que visa resolver um problema a partir de sua complexidade.

64 O emprego de tal modelo algorítmico objetiva as etapas iniciais de projeto, quando estimativas céleres de armazenamento auxiliam diretamente a concepção, sendo aceitável uma margem de erro dentro da devida tolerância (Newton et al., 2018).

65 Embora os projetos de paisagem trabalhem por demanda de serviço (entendida como a soma de todos os bens e serviços do ecossistema atualmente consumidos ou usados em uma área específica durante um determinado período de tempo Burkhard et al., 2012), estas são avaliadas sem considerar onde os serviços do ecossistema são realmente fornecidos; e podem mudar ao longo do tempo e do espaço, independentemente da oferta real de serviços do ecossistema (Villamagna et al. 2013).

**1º. Limiares e configuração:** tal como para a fragmentação e percolação, existe um limiar de cobertura de habitat abaixo do qual há diminuição drástica na provisão de determinados serviços ecossistêmicos?

Em uma breve explanação, no limiar de fragmentação,<sup>66</sup> que em geral é indicado por volta de 30% de habitat remanescente, os efeitos sobre a redução populacional ou a perda de diversidade biológica seriam principalmente devido à perda do habitat, enquanto abaixo deste limiar haveria também um efeito forte da distribuição espacial do habitat, em particular de sua subdivisão (Metzger, 2010).

Pardini et al. (2010), em continuidade aos estudos de Andrén, propõe um modelo conceitual de limiar de fragmentação que assume ser a distribuição e abundância de espécies especialistas<sup>67</sup> em paisagens fragmentadas mediada por dois fatores principais: disponibilidade de recursos locais (determinada pelo tamanho do fragmento) e taxas de imigração (determinada pela conectividade, na escala da paisagem, entre manchas de vegetação habitáveis). Assim, a correlação entre a configuração do habitat – área do fragmento – e abundância e riqueza de espécies especialistas se daria em torno do limiar de 30%.<sup>68</sup> Desta forma, reduzir a perda de habitat deve ser uma prioridade para os planejadores de conservação, já que se espera que as espécies tolerantes à fragmentação do seu habitat exibam uma faixa mais larga de interação entre quantidade e a configuração, em comparação com as espécies menos tolerantes.

---

66 Este modelo conceitual assume que limiares de extinção de uma determinada espécie irão variar em função da configuração do habitat quando abaixo de um determinado limiar de habitat remanescente na paisagem. A quantidade de habitat é a consideração primeira para a conservação (Fisher, 2003; Lindenmayer et al., 2008; Ribeiro, 2009; Pardini et al., 2010; Villard & Metzger, 2014), ao passo que o controle da configuração do habitat – ou mais amplamente a estrutura da paisagem com o número de fragmentos, tipo de bordas, conectividade e entorno – tem o potencial para reduzir ou mitigar os efeitos da sua perda. Segundo Pardini et al. (2010), a cobertura total de habitat não é linearmente relacionada nem à mancha (por exemplo, número de manchas, tamanho da maior mancha, e percolação na paisagem), nem à estrutura (por exemplo, distância média para a mancha mais próxima e lacunaridade, a variabilidade no tamanho dos gaps) em paisagens fragmentadas.

67 O estudo seminal de Andrén (1994) propôs a existência de um limite de fragmentação que, se atingido, impossibilita a conectividade entre os fragmentos na escala da paisagem. Com menos de 30% de habitat, a complementaridade entre o tamanho da mancha, isolamento e a perda de habitat no declínio populacional de espécies é maior do que o causado somente pela perda de habitat. Neste limiar, portanto, a configuração importa. E com montante de habitat específico, a configuração influenciaria nos processos ecológicos, persistência da população e integridade ecológica.

68 Assumindo uma matriz homogênea, a configuração do habitat terá uma influência maior sobre as espécies sensíveis em valores intermediários de montante de habitat, em que a configuração tem potencialmente a maior variabilidade (Villard & Metzger, 2014). Segundo os autores, há uma dependência da tolerância da espécie à fragmentação e perda de habitat. Acima do limiar, indicado por volta de 30% de habitat remanescente, os efeitos sobre a redução populacional ou a perda de diversidade biológica seriam devidos à perda do habitat, enquanto que abaixo deste limiar haveria também um efeito forte da distribuição espacial do habitat, em particular de sua subdivisão (Metzger, 2010). Essa correlação não é presente em paisagens altamente degradadas, tal como nas altamente florestadas (Pardini et al., 2010).

Já para os SEs não se pode inferir este limiar de 30% de habitat. Não obstante, segundo Metzger et al. (2021) a estrutura da paisagem afete o fornecimento de serviços por meio de vários processos no nível da paisagem, como fragmentação, borda e efeitos de conectividade. Assim, pode-se inferir que a configuração e a composição da paisagem em áreas fragmentadas influenciam a biodiversidade e, portanto, os serviços ecossistêmicos dependentes dela. Além da idade do fragmento florestal, conectividade, tamanho, histórico de uso e ocupação do solo e entorno também serem outros fatores que influenciam na sua capacidade de provisão de serviços ecossistêmicos (Ferraz, 2014).

As consequências da fragmentação e da perda de vegetação nativa em função da expansão de usos antrópicos são críticas,<sup>69</sup> porque não apenas estamos extinguindo espécies, mas também as funções desempenhadas por elas, ocasionando, maior disseminação de doenças e até mudança nos regimes locais de precipitação, conforme acrescenta Bustamante et al.:

*(...) o padrão encontrado é claro: quanto mais conservadas estão as paisagens, mantendo cobertura de vegetação nativa acima de um determinado limiar, em uma disposição espacial pouco isolada, e quanto menor for a intensidade de uso e perturbação dessas áreas nativas, maior a biodiversidade e, conseqüentemente, a provisão de diferentes serviços ecossistêmicos que beneficiam diretamente o bem-estar humano (p. 135, 2019)*

Desta forma, é essencial compreender como a configuração e composição da paisagem, além do uso do solo do entorno, afeta a oferta e a demanda relativa de múltiplos SEs. A contribuição relativa da composição e configuração afetará de forma distinta a cada SE mensurado, por exemplo, com relação à distinta contribuição de um parque à melhoria da qualidade do ar a depender da sua localização territorial: se ao lado de uma rodovia de alto fluxo ou imerso em uma malha urbana residencial.

Para a plena implementação dos SEs seria preciso superar uma série de desafios ligados ao mapeamento e à quantificação da oferta e demanda, definição de escalas adequadas de análise, medição de fluxos e parametrização de modelos para diferentes tipos de serviços (Metzger et al., 2021).

---

69 Sabe-se que o suprimento regional de bens e serviços do ecossistema é diretamente determinado pela integridade ecológica regional, que é influenciada por ações e decisões humanas, como mudanças no uso e ocupação do solo e progresso técnico (Burkhard et al., 2012). O avanço da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, em uma área de transição de Mata Atlântica e Cerrado, junto com uma elevação da temperatura, pode acentuar em até 34% o risco de infecção da população por hantavirose (Prist et al., 2017). Outro exemplo são às mudanças de regimes climáticos, como da seca no Sistema Cantareira em São Paulo, entre 2012 e 2014, e a seca da Amazônia em 2005, eventos que tendem a se tornar mais frequentes e que tiveram influência direta do desmatamento, que reduz a umidade das áreas atingidas e interfere no ciclo de chuvas (D'Almeida et al., 2007; Spera et al., 2016).

**2º. Modularidade e escala:** há uma função linear entre provisão de serviço e aumento escalar de elementos de projeto de paisagem?

Se tomarmos diferentes projetos de paisagem, não haverá uma linearidade modular para a provisão de SEs, em vista da não similaridade entre seus elementos tanto em função das suas especificidades locais quanto da sua quantidade.

Ao pensarmos no projeto a partir de uma única árvore, por exemplo, podemos modular sua quantidade e disso se refletir linearmente na provisão de quais SEs? Uma árvore (n) contribui na diminuição em  $n \cdot x^\circ\text{C}$  da temperatura local, mas 100 árvores juntas não contribuiriam a 100  $x^\circ\text{C}$ .<sup>70</sup> Com relação às variáveis físicas e quantitativas, a atenuação da temperatura de superfície e melhoria do conforto ambiental não se dá em função linear, exclusivamente, conforme o plantio de espécimes arbóreas.<sup>71</sup>

Considerando somente o conforto ambiental, ofertado por uma área verde urbana, devem ser considerados vários fatores para análise: local do estudo (pela variação de velocidade do vento, radiação solar direta ou indireta) e quem é o ser humano beneficiário deste serviço (origem, altura, se está em movimento, sua vestimenta). Além de questões subjetivas que são captadas pela aplicação de questionários que geram, portanto, pesquisas e índices qualitativos e arbitrários.<sup>72</sup>

Em complemento, a depender de sua localização e um certo número mínimo de espécies arbóreas, pode-se compor um corredor florestal ou uma floresta urbana e contribuir a uma

---

70 Muitas vezes o mesmo elemento pode ser importante para mais de uma função ecossistêmica. Por exemplo, seria esperado para a função de regulação de nutrientes que em toda área com a presença de vegetação formando dossel haveria o processo de ciclagem de nutrientes por meio da serapilheira; mas é comum a retirada da matéria orgânica do solo em alguns parques urbanos, bem como há algumas áreas impermeáveis com dossel, principalmente em calçadas e praças (Gaudereto et al., 2018).

71 É importante considerar qual a real influência da arborização urbana no balanço de energia no controle da temperatura do ar, superfície e umidade (Nikolopoulou, 2003) como resultado do processo de evapotranspiração e sombreamento. Em específico, o processo de evapotranspiração vegetal é influenciado pelo balanço hídrico entre folha/raiz e solo/atmosfera, portanto, cabe entender como a inserção de dispositivos de infraestrutura verde de retenção e detenção de águas pluviais influencia nesse processo de perda de água para o meio e de calor latente.

72 Estas mesmas árvores têm influência diferente no potencial de atenuação da temperatura se tomadas nas vias ou dentro de uma floresta urbana (Shinzato et al., 2019). Uma área importante de pesquisa é o uso do ENVI-met para calibrar e diagnosticar a demanda por SEs, é necessário inserir variáveis microclimáticas locais (temperatura do ar, umidade, radiação solar, temperatura média radiante, temperatura da superfície, direção e velocidade do vento), características do solo e das árvores. O recente acoplamento do plugin ENVI-met para o Rhino poderá auxiliar na resposta de quanto o plantio de determinada espécie arbórea (elemento da Mariposa) influencia nos efeitos microclimáticos da área de estudo. Esse subsistema prescinde que o usuário realize medições de campo das variáveis ambientais, configuração dos dados microclimáticos e edáficos, bem como a inserção de dados georreferenciados com as edificações do entorno do projeto para a realização das simulações de forma dos elementos associada ao desempenho. Tais variáveis devem ser alimentadas no plugin do ENVI-met de maneira exploratória, em vista da recente inserção nesse modelo de elementos com fluxo de água corrente – como os da Mariposa (ex. jardins de chuva).

variedade de outros SEs, não aparentes quando tomadas no individual. Por exemplo, linhas de árvores nas ruas podem servir como corredores que conectam grandes áreas verdes, adicionando uma função de suporte ao habitat (Andersson et al., 2015).<sup>73</sup>

A modularidade varia, por exemplo, se considerarmos, o habitat e sistema de corredores ecológicos, ou ainda isolamento do parque – emissões e parcialmente ruído, regulação da temperatura e umidade do ar, fluxo de ar – aceleração devido a diferenças de temperatura entre hortaliças e edifícios, saneamento – ar limpo. E abordagens diferentes para o projeto, planejamento e gerenciamento da paisagem resultarão em desempenho e qualidade distintamente diferentes quando se trata do fornecimento de SEs.

E semelhante às árvores, os dispositivos de infraestrutura verde variam na provisão de SEs também em função da escala, estrutura, quantidade, tamanho, composição e condições edáficas, microclima e poluentes locais etc.

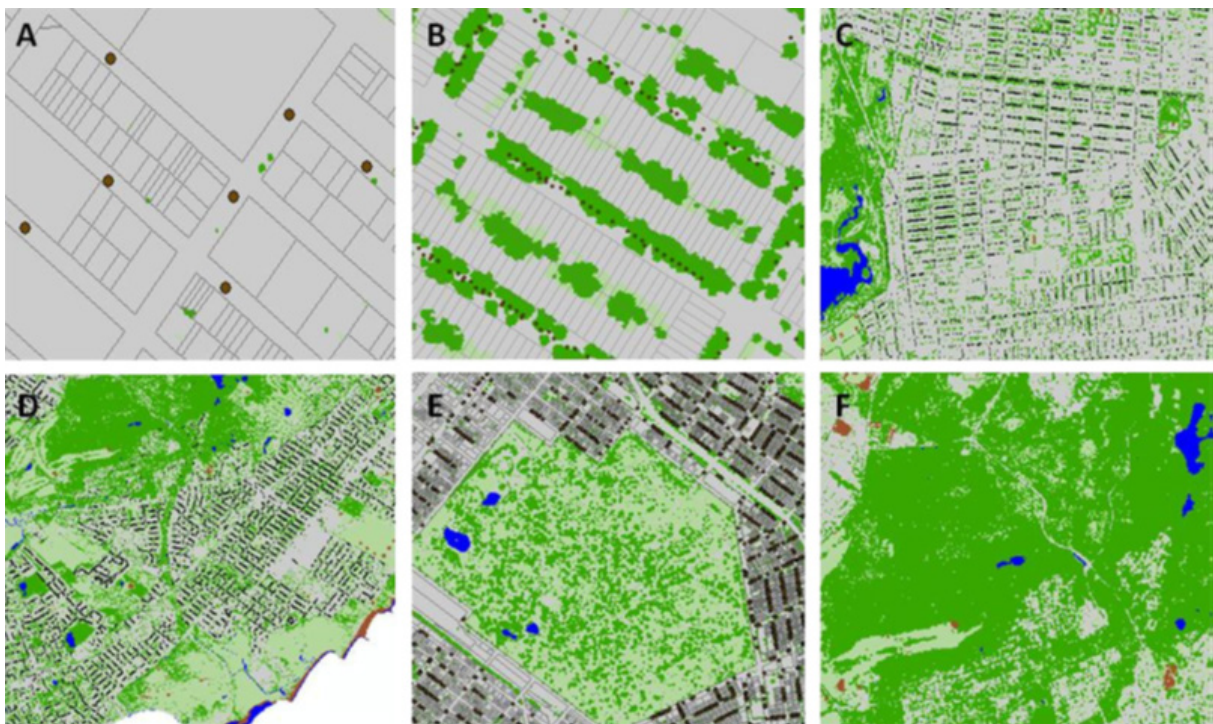


Figura 15. Configurações de SPU (*Service Providing Units*) de árvores urbanas: (A) árvores individuais no sistema viário; (B) arborização viária densa; (C) arborização viária como corredores conectando manchas verdes urbanas de pequeno e médio porte; (D) denso corredor arborizado ligando grandes parques urbanos; (E) cemitério enquanto espaço verde urbano desconectado e com árvores dispersas; e (F) grande floresta urbana (Fonte: Andersson et al., 2015).

<sup>73</sup> Varia também quem será o beneficiário, por exemplo, a recreação associada a tal floresta urbana ocorre no local, enquanto os benefícios do sequestro de carbono por suas árvores são independentes de onde ele ocorre. Ou no caso da regulação da qualidade do ar, a disposição das árvores afeta diretamente na interceptação da poluição pelo sub-bosque e elementos arbóreos.

Em síntese, a escala, o arranjo e a localização importam.

O questionamento de como viabilizar uma modulação complexa de projeto para mensuração dos SEs dentro da Plataforma Mariposa, tomando como base um refinamento escalar e possíveis limiares, ou ainda os múltiplos serviços, é uma pergunta que é problematizada tese.<sup>74</sup>

Por fim, não podemos simplificar excessivamente a realidade para dimensionar os projetos na Plataforma Mariposa. Na combinação entre os diversos elementos de projeto, deve-se estabelecer seu grau de importância para escolher uma opção em detrimento de outra, pois, aumentar determinado benefício pode levar tanto ao aumento quanto a reduções ou perdas em outros. Muitas vezes o mesmo elemento pode ser importante para mais de um desempenho e função ecossistêmica. Assim, para idealizar uma plataforma passível a generalizações e não excessivamente simplista ou específica a uma só condição é necessário pensar em graus de similaridade entre problemas, elementos distintos e critérios reprodutíveis. Ou ainda, é necessário realizar uma extração sistemática de princípios lógicos, com padrões repetitivos, princípios universais e módulos intercambiáveis, como será proposto na segunda premissa.

Em síntese, como não há um limiar que possa ser aplicado e generalizado a todos os SEs, foi necessária uma simplificação passível de ser aplicada a algumas funcionalidades da Plataforma Mariposa: tomou-se que a provisão de serviços ecossistêmicos segue uma função linear em relação ao aumento escalar dos seus elementos, inseridos isoladamente ou em conjunto. Entretanto, os elementos da Mariposa foram modulados conforme os atributos de localidade na funcionalidade: “Análise multicritério do grau de aptidão de Projetos de Paisagem. De forma que, como entidades programáveis, os elementos são caracterizados por sua diversidade, adaptação e responsividade em relação à capacidade de provisão de diferentes SEs.

---

<sup>74</sup> Atualmente, uma das questões de pesquisa mais destacadas em ecologia e economia ecológica é a relação entre estrutura do ecossistema, processos e serviços do ecossistema (Daily et al., 2009; Mitchell et al., 2013).

## Segunda premissa: elementos de projeto

A segunda premissa da Plataforma Mariposa toma como base o conceito de *Service Providing Elements* (Kain et al., 2016)<sup>75</sup> para propor, na escala projetual, a menor unidade enquanto os Elementos do repositório da Mariposa.<sup>76</sup>

Cada trecho do SPE dentro do script do algoritmo pode responder a questões específicas da provisão de serviços ecossistêmicos, com potencial de ser duplicado em outros momentos, formando pequenos blocos. A formação de tais blocos caracteriza uma resposta para resolver localmente uma lista de funções necessárias para alcançar o objetivo principal do algoritmo (Moura, et al., 2018).

Cada bloco de SPE requer a formulação de estratégias específicas baseadas em raciocínio lógico, e não pode carecer tanto da possibilidade de generalização a uma ampla gama de locais quanto de escalaridade onde o arranjo espacial importa. Reforçando que, a depender do SE, sua provisão irá variar de maneira não linear conforme o aumento da SPE e localização. Assim, é necessário incorporar no modelo algorítmico informações do ambiente real, enquanto parâmetros do sistema, às funções, que são operações lógicas, de maneira a resolver um determinado problema de natureza objetiva (Davis, 2013).

A seleção de possíveis combinações podem ser testadas quanto ao seu critério de desempenho, classificando as combinações por grau de importância ou, ainda, a partir do desempenho igual ou superior a um valor mínimo exigido por projeto, como será explorado nas funcionalidades descritas nos tópicos a seguir. No estabelecimento deste grau de importância devem ser levantados os possíveis *trade-offs* entre os serviços, pois aumentar determinado benefício pode-se levar a reduções ou perdas em outros. De forma análoga, quando estamos com uma infecção bacteriana e vamos a um médico especialista usualmente tomamos remédios que prejudicam as paredes estomacais. Um exemplo aplicado é o fato de que áreas prioritizadas com base na diversidade de fauna podem não corresponder àquelas que possibilitam os menores aportes de sedimentos para os corpos hídricos, comprometendo a qualidade da água (Kennedy et al. 2016).

Desta maneira, estudos de priorização de áreas que englobem múltiplos serviços ecossistêmicos tendem a ser um grande desafio de custo-benefício. Para tomar decisões sólidas são necessários

---

75 Kain et al. (2016) mostram como uma representação mais refinada, associando camadas de uso do solo mais refinadas a provisão de SEs, os chamado Elementos de Prestação de Serviços (chamados de SPE, do inglês *Service Providing Elements*) que incluem elementos bióticos e abióticos como os tetos verdes, jardins, estufas. Segundo os autores, dentro do contexto urbano, as SPEs parecem adicionar uma camada de integração entre a ecologia e o ambiente construído até então inexistente na abordagem da *Service Providing Units* (SPU). O conceito de SPU foi desenvolvido em ecologia e as funções ecológicas afetadas por diversos fatores contextuais sociais, tecnológicos, ambientais, ecológicos e culturais (Andersson et al., 2015).

76 Semelhanças emergem com o tradicional pensamento tipológico, uma vez que este é fundado na premissa de que um conjunto de soluções abstratas, os tipos, podem ser utilizados para deslocar o ponto de partida de um projeto específico a partir de um arcabouço composto por soluções prévias (Moura et al., 2018).

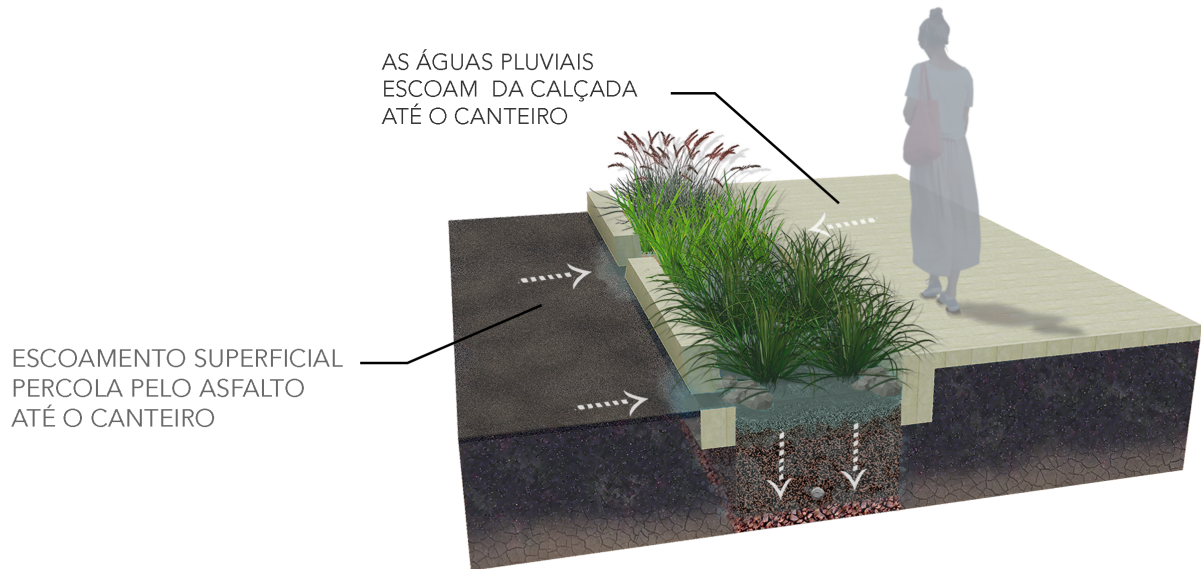
conhecimento e conscientização das interações entre os SEs, a fim de fazer julgamentos baseados em valores diferenciados sobre essas compensações (Bennett, Peterson, & Gordon, 2009). Bem como, dentro da Plataforma, será permitido ao usuário estruturar um modelo de Análise Multicritério, atribuindo diferentes pesos para cada situação, analisando-os separadamente e em níveis agregados de acordo com a particularidade e objetivo de cada projeto, como descrito nos itens a seguir.

Adotar a abordagem de SPE para avaliação e análise ajuda a esclarecer quais são essenciais como elementos básicos para projetar uma infraestrutura verde multifuncional (Andersson et al., 2015). Os esforços para atingir serviços ecossistêmicos nos projetos exige que manipulemos intencionalmente a configuração, composição e tamanho das SPE, bem como seu contexto.

Em síntese, seguem os elementos da Mariposa (Figura 14, Tabela 6) que foram desenvolvidos para inserção do protótipo:

- » Canteiro com árvores
  
- » Dispositivos de IV diferentes escalas: canteiro pluvial, jardins de chuva, biovaletas, lagoas pluviais e bacias de retenção associados a atributos
  
- » Elementos diversos: a Plataforma é idealizada para se inserir **quaisquer entidades gráficas com dados associados**, não necessariamente vinculadas a dispositivos de IV e SbN.

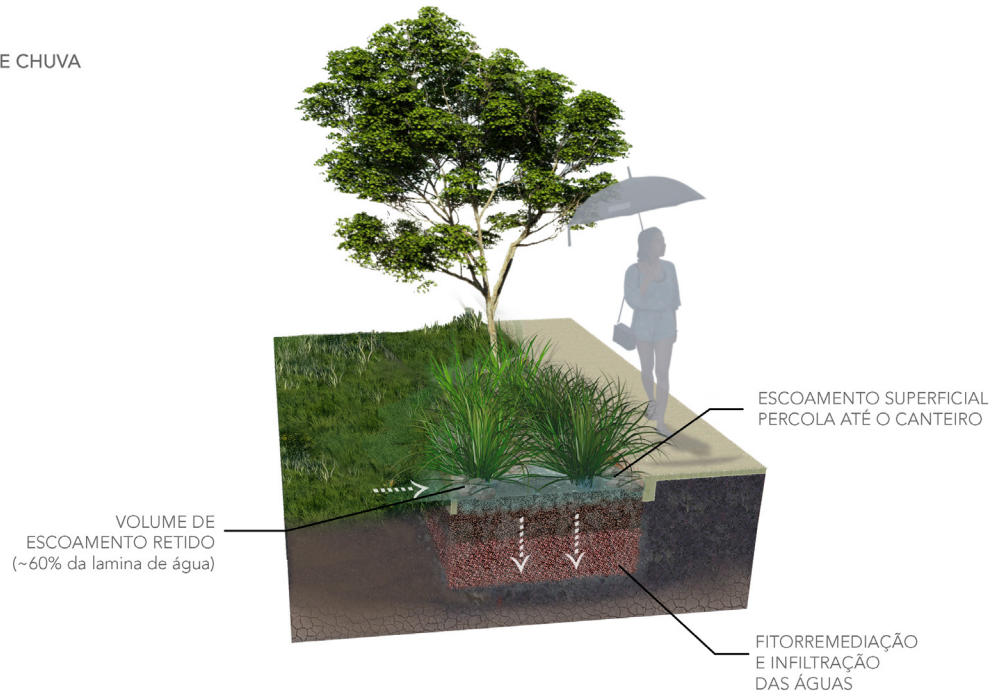
## CANTEIRO PLUVIAL



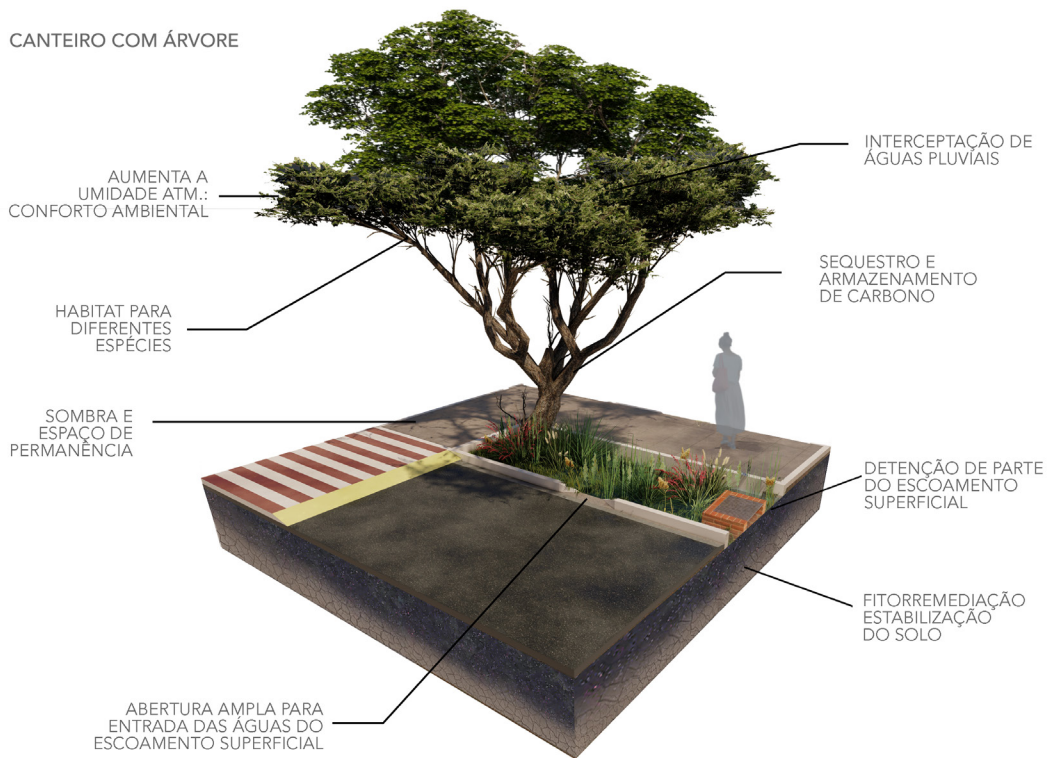
## BIOVALETA



### JARDIM DE CHUVA



### CANTEIRO COM ÁRVORE



## LAGOA PLUVIAL

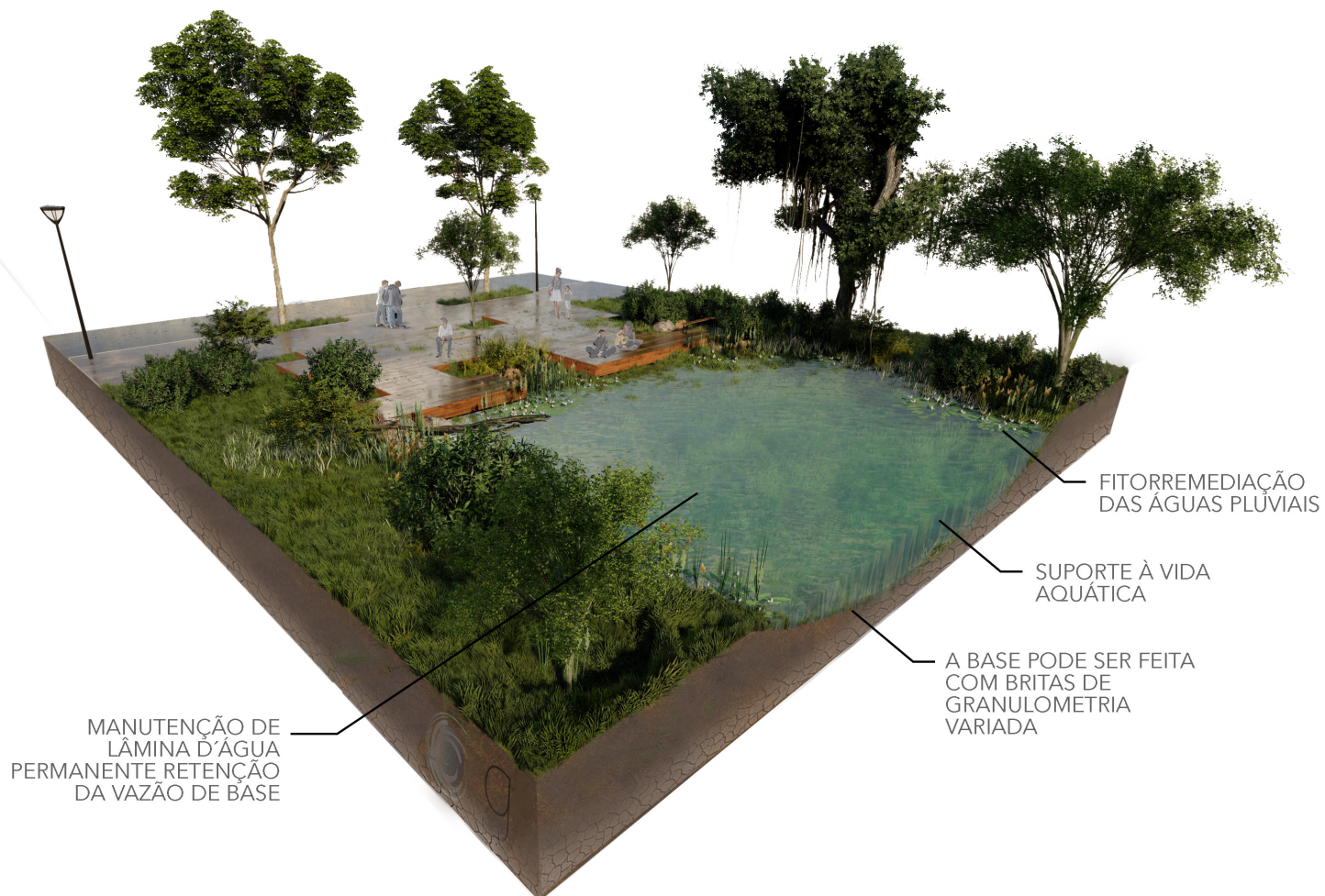


Figura 16. Exemplos de alguns dos elementos da Plataforma Mariposa, cada elemento possui um conjunto de atributos e metadados associados a seu desempenho.

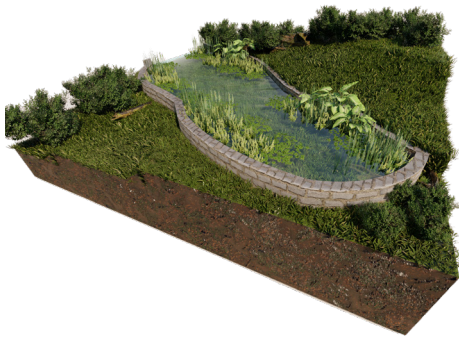
Fonte: Sandre et al., no prelo

Tabela 6. Definições dos dispositivos de infraestrutura verde da Plataforma Mariposa.

Fonte: Sandre et al., no prelo

DISPOSITIVOS	DETALHES
<p data-bbox="229 398 467 427">JARDIM DE CHUVA</p> 	<p data-bbox="834 450 1366 667">Dispositivos de baixo custo e de fácil implantação aplicados com uma depressão em relação à superfície, principalmente em calçadas, que podem atuar na detenção, infiltração e filtragem do escoamento superficial das águas pluviais. Sugere-se sua aplicação para locais com declividade de até 8%.</p> <p data-bbox="834 696 1366 757">Calçadas em ruas planas são ideais para implantação para aumentar a infiltração.</p>
<p data-bbox="229 842 483 871">CANTEIRO PLUVIAL</p> 	<p data-bbox="834 864 1366 1279">Dispositivos de baixo custo aplicados com uma depressão em relação à superfície, principalmente em calçadas, que podem atuar na detenção, infiltração e filtragem do escoamento superficial das águas pluviais. Caso aplicados em solos com baixa permeabilidade (infiltração menor que 20 litros/m<sup>2</sup> por dia) devem ser previstos extravasores ligados à rede de drenagem, nestes casos o volume de retenção fica restrito às camadas minerais. Caso o local também seja em fundo de vale recomenda-se que os dispositivos sejam herméticos e ligados à galeria de águas pluviais para que o excedente de água seja conduzido à rede por meio dos vertedores.</p>
<p data-bbox="229 1335 376 1364">BIOVALETA</p> 	<p data-bbox="834 1364 1366 1581">Dispositivos que atuam como canaletas vegetadas no direcionamento do escoamento superficial das águas pluviais, independente da declividade local. Diminui a velocidade de escoamento e encaminha o excedente para demais dispositivos, como canteiros pluviais, ou para a rede de drenagem convencional.</p> <p data-bbox="834 1610 1366 1700">Em calçadas com declividade superior a 8% devem ser previstas soleiras e colocação de pedras para evitar a erosão.</p>

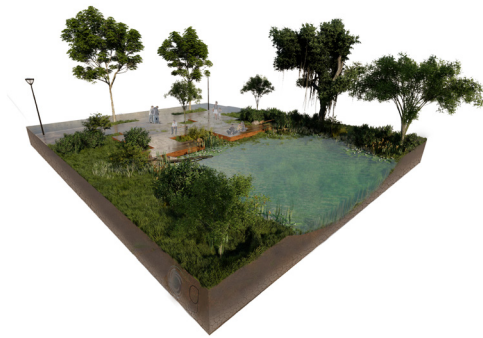
### TERRAÇO DE CHUVA



Dispositivos ideais para retardar o escoamento superficial das águas pluviais para o fundo de vale em taludes. Caso haja taludes ao longo de vias íngremes, é muito oportuno se criar terraços de chuva que possam interceptar e armazenar parte da primeira vazão de chuvas, contribuindo também para a redução de inundações.

Para conter a água, aproveita-se a declividade do terreno junto a uma contenção de pedras que acompanha as curvas de nível. Quando a água atinge o nível máximo do terraço é encaminhada para biovaletas que a levam para o terraço de chuva seguinte.

### LAGOA PLUVIAL



Dispositivo de retenção de águas pluviais para amortecimento de cheias. Em vazão de cheia é mantida uma lâmina d'água permanente (retenção), diferente dos dispositivos de detenção que ficam secos na estiagem. Caso o solo permita, tais bacias facilitam a infiltração das águas pluviais, se não ocorrer tal processo, é necessário prever um extravasamento.

Espaços livres são locais para implantação de lagoas pluviais associadas a atividades de lazer e contemplação.

### RESERVATÓRIO HÍBRIDO/ANFÍBIO



Em regiões onde as medidas compensatórias não são suficientes para conter o volume do escoamento superficial podem ser associados a microdrenagem os reservatórios *inline*. Em eventos de chuva extremos, retém volumes significativos e minimiza inundações a jusante e, em vazão de seca e início do evento chuvoso, quando ocorre o pico de concentração de possíveis poluentes, trata as águas do córrego.

São previstas estruturas para remoção de poluentes difusos, ou ainda algum aporte de cargas orgânicas de esgotamento sanitário. Além da microdrenagem à montante que remove possíveis cargas de sedimentos.

Esta primeira escolha de elementos para a Plataforma baseou-se a partir do conhecimento de que os dispositivos de IV não só contribuem com a drenagem urbana – ao promover a infiltração, detenção e retenção das águas das chuvas no local; filtrar as águas de escoamento superficial, provenientes do sistema viário contaminado por resíduos de óleo, borracha de pneu e partículas de poluição; contém encostas e margens de cursos d'água para evitar deslizamentos e assoreamento (Herzog, 2018) – mas também mimetizam as funções e dinâmicas ecológicas; criam habitat e refúgio para espécies; promovem conforto térmico das pessoas e local para lazer, recreação e prática de esportes.<sup>77</sup> Tratam-se de tecnologias que se aplicam à redução do risco de inundações e a recuperação da qualidade dos corpos d'água, associados a um aumento da riqueza florística e faunística das paisagens urbanas, sob a perspectiva de intervenções urbanísticas que, sob a égide das mudanças climáticas, promovam a segurança, o bem-estar e a promoção social das populações envolvidas.

Não obstante a Plataforma tenha sido idealizada para inserir quaisquer entidades gráficas importantes ao projeto de Arquitetura da Paisagem.

---

<sup>77</sup> Atualmente, o planejamento de paisagens urbanas para manter os principais SEs tornou-se uma das principais questões em ecologia urbana e ecologia da paisagem (Ahern, 2012; Wu, 2013).

Tabela 7. Descrição de Serviços ecossistêmicos por demanda e oferta de projeto de paisagem. A demanda por SEs é “a quantidade de um serviço exigido ou desejado pela sociedade” Villamagna et al., 2013: 116).

SERVIÇO ECOSISTÊMICO	FATORES QUE INFLUENCIAM A DEMANDA	INDICADORES FUTUROS FATORES QUE INFLUENCIAM A OFERTA	REFERÊNCIAS
Conforto térmico e ambiental <sup>78</sup>	Densidade populacional exposta a temperaturas extremas  Temperatura equivalente percebida (TEP)	Diferença de temperatura (C°) do ar e superficial entre as áreas ensolaradas, sombreadas e/ou próximas a elementos hídricos  Diminuição da temperatura pela cobertura das árvores (°C)  Temperatura equivalente percebida (TEP)	Breuste et al. (2013), Bowler et al. (2010) Monteiro, 2007 Shinzato et al., 2019 Duarte et al., 2015
Redução da concentração de gases do efeito estufa	Aumento da emissão de gases relacionados ao efeito estufa Redução de cobertura arbórea urbana Estocagem de carbono tCha <sup>-1</sup>	Quantidade de carbono (CO <sub>2</sub> ) acima do solo que absorvida e armazenada por árvores em termo de biomassa, teor de carbono (kg/espécie) e Sequestro de carbono (kg.ano <sup>-1</sup> )	Strohbach and Haase (2012) Brun (2012) Zanini (2018) Barbosa (2015) Rasera (2019)
Regulação de inundações e alagamentos	Precipitação local e capacidade de interceptação (m <sup>3</sup> ano <sup>-1</sup> )  Baixa: Capacidade de infiltração e armazenamento de água no solo (mm); e de retenção de água pelo solo da vegetação (tonkm <sup>-2</sup> ); Alto escoamento superficial (mm); Áreas expostas a inundações; População exposta ao risco de inundação (% por unidade de área) e contaminação das águas pluviais e fluviais por fontes pontuais ou difusas	Proporção de Superfície permeável/impermeável de unidade homogênea de uso da terra em que a água não pode se infiltrar %  Aumento da capacidade de infiltração e armazenamento de água no solo (mm); Capacidade de retenção de água pelo solo da vegetação (tonkm <sup>-2</sup> );  Precipitação interceptada por árvores; Diminuição do Escoamento superficial (mm)  Fitorremediação (papel da biota e processos de remoção ou quebra de matéria orgânica e compostos)	Haase & NuiSSL, 2010 Moura et al., 2018 Pellegrino et al., 2018
Regulação da Qualidade do ar	População exposta à concentração limiar de poluentes (proximidade a fonte de emissão e sua intensidade)  Concentração, distribuição espacial, obstáculos à dispersão e fluxo de poluentes	Taxas anuais médias de remoção de poluentes com aumento de cobertura arbórea (g/m <sup>2</sup> e kgha <sup>-1</sup> year <sup>-1</sup> )  Capacidade do uso do solo e de espaços livres de interceptar a poluição enquanto obstáculo à dispersão	Moreira (2010) Nowak et al. (2013) Xing (2020)

78 O conforto térmico é quantificado como a redução na temperatura da superfície e do ar resultante da presença de espaço livre verde, ou seja, a diferença entre as temperaturas modeladas para a um espaço livre impermeável e um espaço verde. Existe uma série de variáveis que influenciam no conforto térmico.

## Terceira premissa: plataforma online e acessível

Define-se a **terceira premissa da Plataforma Mariposa**: concepção baseada em acessibilidade online, tendo como perfil de usuário a comunidade interessada no projeto de Paisagem.

Para realização de um processo de projeto que envolve modelagem tridimensional, ferramentas de análise de desempenho e métodos de otimização é necessário a escolha de uma plataforma. A Mariposa, enquanto processo iterativo e online, é auxiliado por um *software* de modelagem que associa-se a um sistema algorítmico de geração de alternativas de projeto. Nesse sentido, a computação é utilizada enquanto parceira no processo de projeto, estimulando variedade de soluções pautadas em condições de desempenho.

O fluxo de trabalho inicial em Design Computacional compreende partir de programas que oferecem modelagem e manipulação de geometrias (Landim, 2019). Para o desenvolvimento e personalização dos componentes base da Mariposa escolheu-se o Rhinoceros® 6 e 7<sup>79</sup>. O Rhino, com precisão e alta flexibilidade, pode criar, editar, analisar, documentar, renderizar superfícies e objetos com alto grau de complexidade e tamanho, além de suportar malhas poligonais e nuvens de pontos, permitindo a modelagem de terrenos de bacias hidrográficas urbanas. A escolha deste *software* enquanto base inicial para o protótipo da Mariposa foi estratégica: é um programa que permite o livre desenvolvimento de *plugins* e algoritmos em uma lógica estabelecida pelo usuário.<sup>80</sup>

Um dos seus *plugins* que permite desenvolver algoritmos é o Grasshopper®, suas ferramentas foram necessárias para aglutinar importantes funções da Plataforma dentro de um sistema único que permitisse a compreensão e a execução de análises. Ao utilizar o Grasshopper, a Mariposa tem

---

A obra de Monteiro e Alucci (2007) levanta o estado da arte das pesquisas sobre conforto térmico em espaços abertos. Os autores selecionaram modelos desenvolvidos especificamente para espaços abertos, apresentando um comparativo, criticam seu uso e adequação e analisam suas equações e etapas de cálculo (ex. temperatura equivalente fisiológica – Physiological Equivalent Temperature, PET de Höppe, 1999), ferramentas iniciais para projeto de espaços abertos (ex. projeto Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces – RUROS).

79 O Rhinoceros, ou Rhino é um software de modelagem 3D, lançado em 1998, focado em designers, Arquitetos e Urbanistas e Engenheiros. Trata-se de um software de modelagem 3D, com diversas possibilidades de criação e alteração de modelos tridimensionais e que possui uma excelente interoperabilidade, permitindo uma conversa direta com outros *softwares* muito utilizados por arquitetos em todo o Brasil. Sendo que o Grasshopper® permite a programação de códigos baseados em linguagem de programação visual (VPL).

80 O kit de desenvolvimento de software Rhino C / C ++ (SDK) é um conjunto de recursos para desenvolvedores para personalizar e estender o Rhino para Windows. O SDK fornece ferramentas que fornecem acesso direto a estruturas de banco de dados, geometria, sistema gráfico, E / S de arquivos, definições de comandos. Os RhinoScript permitem que programadores, de qualquer nível de conhecimento, personalizem e automatizem o Rhino e estendam seus recursos criando extensões comercializáveis, chamadas Plugins. Importante colocar que, segundo o Rhino Developer Docs (2019), tal como acontece com todas as ferramentas de desenvolvimento do programa, o Rhino C / C ++ SDK e o RhinoCommon são gratuitos, isento de royalties e inclui suporte gratuito para programadores.

Disponível em: <<https://developer.rhino3d.com/guides/cpp/what-is-the-cpp-sdk/>> Acesso 26 mar. 2019.

parte de seu *script* – conjunto de instruções utilizado para executar o algoritmo enquanto ordem lógica das operações executadas para solução de problemas e geração de alternativas de projeto – desenvolvido em linguagem de programação visual (VPL). Algumas das funcionalidades de drenagem urbana foram desenvolvidas em TPL (linguagem de programação textual), considerando algumas das limitações das VPLs.<sup>81</sup>

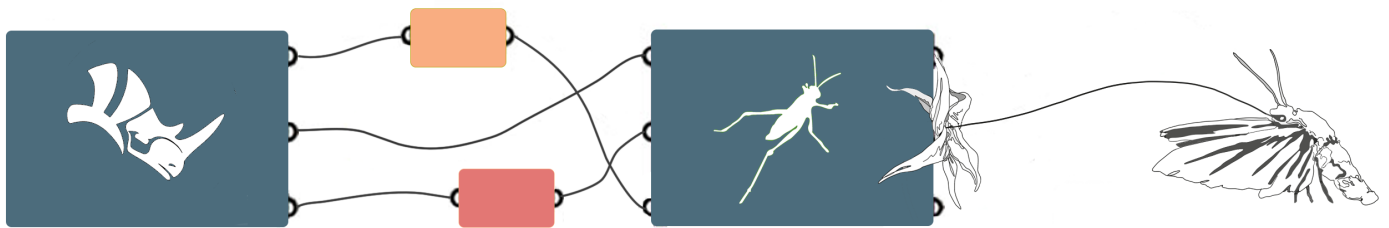


Figura 17. Esquema ilustrativo de criação da Plataforma Mariposa. Para o desenvolvimento e personalização dos componentes base da Mariposa escolheu-se o Rhinoceros® 6 e 7 e para desenvolvimento do algoritmo o Grasshopper®.

Como o foco aqui é a resolução de problemas da paisagem urbana, a escolha da linguagem de programação foi um facilitador e um meio para viabilizar a geração de alternativas. Inicialmente, optou-se pela utilização de VPL para o desenvolvimento da linguagem, pois ela permite a visualização do processo. A exibição visual imediata dos resultados auxilia o programador no entendimento geral das relações explícitas do código, isso o ajuda a encontrar erros ou detectar comportamentos inesperados mais cedo (Burnett, et al. 1995).

Não obstante o Grasshopper seja idealizado em VPL, ele ainda não é plenamente familiar à maioria dos arquitetos e urbanistas, o que dificulta seu acesso e uso. A partir deste questionamento, foram levantadas novas formas e possibilidades de alcançar mais usuários e democratizar o uso da Mariposa para os mais diversos profissionais da área, não só arquitetos e urbanistas. Ao

81 As VPLs permitem que o programador possa demonstrar relações ou transformações de dados e geometrias, em vez de escrevê-las em seqüências de comandos e símbolos abstratos, como acontece nas linguagens textuais (Landim, 2019). A autora traz apontamentos importantes sobre as possibilidades e limitações da VPLs: a antecipação da flexibilidade do modelo paramétrico pode ser difícil; mudanças importantes quebram modelos paramétricos; reutilizar e compartilhar códigos é problemático. Infelizmente, a linguagem de programação visual é relativamente limitada em seu escopo e raramente existem ramificações de código encontradas no Grasshopper suficientemente robustas para competir com a média de TP, em termos de precisão, construtibilidade, racionalização e escalabilidade (Leach, 2014). Para o autor, as VPLs são relativamente limitadas em seu escopo, em termos de precisão, construtibilidade, racionalização e escalabilidade. Sabe-se, entretanto que, como todo processo de investigação científica, há desafios a serem superados com relação à montagem dos modelos, relacionados aos parâmetros empregados e à configuração do protótipo, mas que se bem geridos podem ser minimizados, constituindo ainda fonte de aprendizado para a equipe da Mariposa.

entender que ela é idealizada para compatibilizar conflitos inerentes ao processo de participação de diferentes partes interessadas na co-criação dos projetos e apoio a proposição a partir da construção de diferentes cenários. É uma base comum, intuitiva e dinâmica para que os diversos agentes envolvidos dialoguem e possam interagir.

De forma a promover esta acessibilidade e democratizar seu acesso, a estrutura da Mariposa é baseada em uma plataforma SaaS (*Software as a Service*)<sup>82</sup> e computação em borda, que internamente utiliza ferramentas colaborativas, *softwares* e *plugins* acoplados, para permitir a visualização online das alternativas projetuais e a geração de diferentes dados de desempenho para cada uma delas. A democratização do acesso é um elemento essencial para viabilizar o atendimento dos interesses públicos e legitimar processos de tomada de decisão por parte do Poder Público.

Um dos maiores ganhos aqui propostos é a ampliação do acesso da modelagem algorítmica em projetos da paisagem a uma diversidade de usuários do poder público e privado, independentemente do seu conhecimento em linguagem de programação e da capacidade de resposta de seu computador. Acredita-se que a abertura dos seus códigos e a possibilidade de facilitar o acesso à plataforma possibilitará, de um lado, um maior engajamento de diferentes atores da sociedade, que podem manifestar seus desejos e preferências na operação dos parâmetros e, do outro lado, uma maior contraprestação e controle social sobre as recomendações na medida em que tais projeções podem ser replicadas e testadas por qualquer usuário.

De modo análogo ao Facebook ou outras redes sociais,<sup>83</sup> o usuário não precisa dominar programação e leitura de códigos para utilizar as ferramentas que o site oferece, sendo assim, na aplicação da Mariposa buscou-se *plugins* que pudessem conter toda a informação programada do código fonte dentro de uma plataforma online, na qual o usuário possa intuitivamente usufruir de uma ferramenta de auxílio em projeto da paisagem.

---

82 As plataformas SaaS possuem maturidade tecnológica em diversos setores, especialmente relacionados à produtividade, documentação e gestão. O surgimento de iniciativas de ferramentas online de Suporte à Decisão Espacial (SDSS), aliado às pesquisas e práticas da aplicação de modelagem paramétrica para a concepção da Arquitetura da Paisagem trouxe novas possibilidades de plataformas para o desenvolvimento do processo.

83 Recorre-se a exemplos de sucesso de outras plataformas internacionais, como o InViTo, uma Ferramenta de Visualização Interativa online para Suporte à Decisão Espacial (SDSS), a partir da interação dos usuários com mapas dinâmicos, a fim de permitir que os tomadores de decisão sejam informados antes de fazer suas escolhas; Ladybug Tools LCC, surgida como a startup Mostapha em 2012, em parceria MIT e iniciativa privada, e a empresa Procedural Aps, surgida como startup ODS Engineering em 2017 na Dinamarca, entre outras. Tais plataformas conseguiram alcançar uma situação de estabilidade financeira do negócio por meio de parcerias privadas com empresas já consolidadas nos setores mencionados. Em termos econômicos, é preferível preservar a cooperação e as parcerias técnicas de modo a oferecer um produto inédito no mercado e que possibilite ao mesmo tempo a entrada de novos consumidores com o oferecimento de um produto a um preço competitivo. Com relação a Plataforma SaaS, a aplicação no contexto brasileiro é inédita. No exterior, há grandes empresas e grupos de pesquisa que atuam relacionando a Arquitetura da Paisagem a sua modelagem paramétrica, incluindo Snøhetta, Arup, Gustafson Portes, PARKKIM, Laac and PEG office e GSD da Universidade de Harvard, Landscape Architecture da Universidade de Pensilvânia e de Virginia, Laboratórios Grit Lab da Universidade de Toronto e o Laboratório de Morfologia da Paisagem da Universidade do Sul Califórnia. Várias dessas startups recentes investiram em ferramentas SaaS para o processo de projeto, em suas diversas escalas, de edifícios a cidades.

Inicialmente, foram levantados dois *plugins* dentro do Rhinoceros que podem exercer essa função, o primeiro deles é o ShapeDiver®, uma plataforma na Nuvem que permite o upload de códigos do Grasshopper®, e torna-os disponíveis em uma plataforma amigável, na qual o usuário não precisa ter conhecimentos de programação para utilizar. Esse método demonstrou ser o mais eficaz na tentativa de alcançar o usuário, pois possibilita uma plataforma totalmente virtual e acessível. No entanto, ao colocar os códigos na nuvem, os dados de processamento são reduzidos consideravelmente e algumas ferramentas, como de projeto generativo, não podem ser aplicadas por conta da própria limitação da interação Grasshopper-ShapeDiver.

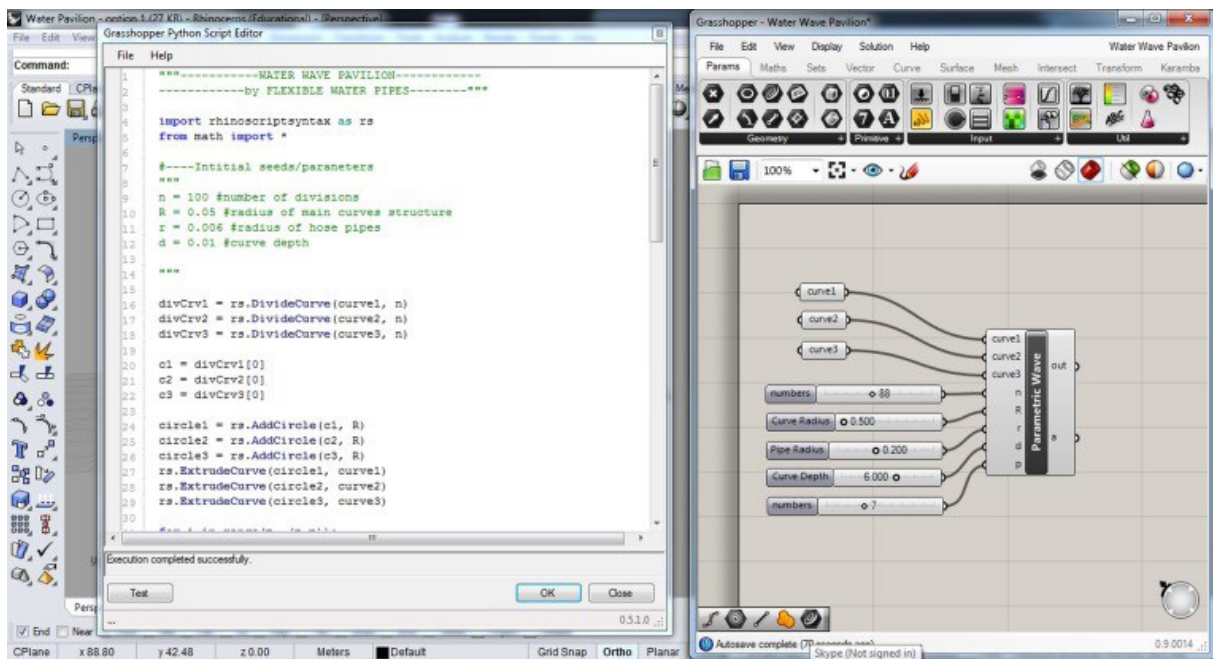


Figura 18. Programação textual e visual dentro da interface do software Rhinoceros e *plugin* Grasshopper.

Fonte: *Design by Coding: Parametric Wave Pavilion using Python Script*

Em um outro viés, o segundo *plugin* levantado é o “Human UI”, que é uma parte integrada dentro do Grasshopper e do Rhinoceros. Este método tem como limitação que o *software* esteja instalado dentro da máquina do usuário, e isso cria uma limitação ao acesso à Plataforma Mariposa. No entanto, a plataforma utilizada dentro do “Human UI” está integrada na máquina e não na nuvem, logo, ela permite as mais diversas análises proporcionadas pela Mariposa e possui uma facilidade de integração mais livre com o Grasshopper, já que pode utilizar todo o potencial da máquina.

Vale salientar que o uso dos dois *plugins*, Shapediver e Human UI, atuaram como um método de protótipo para esta tese, de forma a simular como funcionaria a Plataforma Mariposa dentro

do seu próprio domínio e com todas suas funções. Desta forma, ao utilizar esses *plugins*, torna-se possível prototipar o funcionamento da plataforma e testar como o usuário iria interagir com ela, quais tipos de dados devem ser utilizados como Input e quais dados a ela deverá exportar.

Por fim, de forma a manter a autonomia e transparência do processo de projeto aos usuários, buscou-se permitir que alguns dos parâmetros possam ser modificados, como será explanado nas funcionalidades a seguir. Tal preocupação é legítima quando levanta-se uma crítica referente à autonomia e vivência que o usuário terá do processo de construção do algoritmo da Plataforma.

Nesse sentido, é importante ponderar que a Plataforma foi idealizada para ter como usuário a comunidade interessada no projeto de paisagem urbana e, portanto, sua construção não é pensada exclusivamente para arquitetos e urbanistas. Assim, cabe aqui a discussão de quem é o profissional responsável pelo processo de construção dos algoritmos, base para o funcionamento da Mariposa. Ao entender que esta construção é parte do processo de projeto defende-se que o arquiteto e urbanista seja responsável por sua idealização, o que não desconsidera a possibilidade de participação de outros atores.<sup>84</sup>

Almeja-se que, futuramente, seja possível acoplar funcionalidades que permitam ao usuário interessado, de forma acessível, modificar o algoritmo dentro da Plataforma. Esta funcionalidade já é possível, por exemplo, para a construção de filtros de edição de fotos e vídeos em plataformas de mídia social utilizando VPL.<sup>85</sup>

---

84 Importante destacar que ela é idealizada para ter o potencial de atuar tanto na idealização de alternativas projetuais, a partir de parâmetros pré-estabelecidos pelo usuário, quanto na realização de análise de dados de desempenho de projetos pré-existentis ou realizados em outros meios (em demais softwares).

85 Tal funcionalidade torna-se um desafio quando desconsidera-se que em problemas complexos o tempo gasto desenvolvendo o programa em VPL é consideravelmente maior do que TPL (Landim, 2019). Para a autora, a flexibilidade de um modelo paramétrico descrito em VPL diz respeito a maneira como acomoda mudanças, de forma que o projetista deve estruturar o modelo considerando possíveis mudanças ou futuras solicitações que poderão ser feitas no projeto como, por exemplo, na mudança de escopo pela comunidade, legislação, formas do mercado, entre outros. Aumentar o uso das VPL e acessibilidade das TPL é essencial para que os usuários possam atuar diretamente na construção de um algoritmo que atenda ao desempenho almejado. A escalabilidade, confiabilidade e reaproveitamento de soluções para projetos são essenciais para fornecer exemplos claros em como os arquitetos podem usar todo o potencial da programação como ferramenta de projetos (Landim, 2019).

## Quarta premissa: projeto generativo

A quarta premissa idealiza que a Plataforma incorpore o projeto generativo com algoritmos genéticos para achar uma solução otimizada por meio do uso de várias tecnologias, como da Inteligência Artificial pautada em *Machine Learning*, a partir do reconhecimento das variáveis mensuradas e de plugins pré-existentes para retroalimentar o funcionamento da Mariposa. Esta concepção generativa foi ilustrada a um projeto de paisagem, mas ainda não foi incorporada à Plataforma SaaS, uma vez que a interface do ShapeDiver não permite que o processo generativo se dê online, como explicado no item anterior.

Futuramente, para estruturar a geração de projetos generativos na Plataforma digital será necessária uma interface própria a Mariposa que acople um processamento de dados interno, um servidor e alta capacidade de processamento do computador para geração de alternativas em menor tempo.<sup>86</sup> Um exemplo de que é possível desenvolver um *plugin* inovador em um projeto de pesquisa é o DIVA-for-Rhino®.<sup>87</sup> Trata-se de um *plugin* de modelagem de energia e iluminação natural altamente otimizado para o modelador Rhinoceros – NURBS desenvolvido na Escola de Graduação em Design da Universidade de Harvard em parceria com a Solemma LLC.<sup>88</sup>

Um ponto de inovação dessa integração entre Mariposa e Rhinoceros é a possibilidade de testar o vínculo entre geometria e metadados do domínio específicos da área da paisagem por meio das potencialidades de extração de dados dos métodos de modelagem paramétrica disponíveis

---

86 Para mensurar os dados será realizada uma orquestração de diversos plugins, por meio de uma API (interface de programação entre softwares). Cabe destacar que existem pesquisas recentes do design computacional que investigam métodos de como desenvolver plataformas de domínio específico que se conectem a diversos back-ends (softwares de saída e visualização final). Landim (2019), ao analisar algumas das interfaces de programação textual disponíveis para arquitetura, observou que a ferramenta Rosetta (Lopes, Leitão, 2011) possui um dos modelos mais interessantes para conexão de uma plataforma a diferentes softwares. O Rosetta é um ambiente de programação que permite que os usuários escolham diferentes linguagens de programação (front-ends) e diferentes softwares CAD e BIM para a saída da modelagem tridimensional (back-ends), oferecendo certo grau de liberdade para que o projetista combine as melhores possibilidades de saída do modelo geométrico sem perder a portabilidade do código. Isso significa que o mesmo programa (código) possa criar modelos em softwares diferentes, sem ser necessário que a plataforma seja versionada em linguagens de programação diferentes para cada software que for acoplada (Landim, 2019). Segundo a autora, o estudo desse tipo de conectividade pode proporcionar um modelo real para que a Mariposa seja uma plataforma robusta, que centraliza diversas ferramentas da área de modelagem da informação da paisagem sem se preocupar com o acoplamento de softwares de saída específicos. Assim, viabiliza-se acoplar à plataforma plugins relevantes de análise de dados para o projeto de paisagem.

87 Disponível em: <<http://diva4rhino.com/>> Acesso 18 abr. 2019.

88 As maiores empresas e grupos de pesquisa no Exterior que atuam relacionando a Arquitetura da Paisagem a sua modelagem paramétrica, de acordo com Waliss e Rahmann (2016) incluem Snøhetta, Arup, Gustafson Portes, ASPECT Studios, Grand Associates, Catherine Mosbach, Philippe Rahm, PARKKIM, Laac and PEG office e também a GSD da Universidade de Harvard, Departamento de Landscape Architecture da Universidade de Pensilvânia e da Universidade de Virginia, Mestrado em Estudos Avançados ETH Zurich, Laboratórios Grit Lab da Universidade de Toronto e o Laboratório de Morfologia da Paisagem da Universidade do Sul Califórnia.

no programa.<sup>89</sup> A Mariposa, de forma inovadora, permitirá que metadados atrelados a objetos da arquitetura e construção já existentes no BIM possam ser expandidos para metadados utilizados em paisagem, infraestrutura verde e drenagem urbana. Áreas até então raramente exploradas pela modelagem paramétrica e generativa da informação.

Atualmente, são mais de 300.000 usuários comerciais e de 10.000 escolas utilizando o programa<sup>90</sup> e suas dezenas de *plugins* comerciais para aninhamento, criação de terreno, arquitetura paramétrica, renderização, animação, CAM, modelagem de subdivisão, joias, design de moldes, entre outras funções. Entretanto, mesmo entre os diversos *Plugins* para esse programa, como o Ladybug, Honeybee, Geco, Kangaroo Physics, Karamba, nenhum deles é focado no Projeto da paisagem e infraestrutura verde com o objetivo específico de processar as informações, obter respostas que permitam a visualização e avaliação do desempenho das paisagens projetadas.

Nesse cenário, é importante destacar os quatro *plugins* atuais – LandsDesign, Bison, RoadCreator e Nero – que se debruçam sobre Projeto e Planejamento da paisagem, de forma a conhecer e analisar a lacuna de conhecimento que a Mariposa preencherá.

O LandsDesign<sup>®91</sup> é um *plugin* focado em especificação de projeto de Paisagismo e Plantio e para visualização de imagens realistas de jardins. Este *plugin* não tem como foco projetos de IV e não possui em sua biblioteca nenhum dispositivo associado, a exemplo de reservatórios de retenção, jardins de chuva, canteiros pluviais. Embora ambos possibilitem uma visualização tridimensional do Projeto da Paisagem, a Mariposa permitirá adicionar valor por meio da cocriação, compartilhamento e gerenciamento das propriedades da paisagem durante o processo de modificação do algoritmo. Será possível, por exemplo, modificar os formatos dos dispositivos e verificar quantitativamente, a partir da alteração de sua forma e área, o quanto a mudança impactará no controle pluvial da vazão a jusante de todo o projeto, subsidiando, assim, a escolha de uma solução pela equipe. Já o Bison<sup>®92</sup> é um *plugin* de arquitetura de paisagem para o Grasshopper e Rhino 6 que possui ferramentas para criação, análise, edição e anotação de malhas de terreno. O RoadCreator<sup>®93</sup> permite a geração de modelos 3D para infraestruturas rodoviárias na representação NURBS de acordo com a Norma Checa ČSN 73 6101. Esse modelo tem como foco gerar modelos rodoviários 3D automáticos no terreno e possibilitar a criação de documentação básica de projeto para as estradas. Finalmente, o Nero<sup>®</sup> traduz diferentes condições ambientais em dados, a partir da visualização de valores do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) de cada pixel da imagem.

---

89 Atualmente, os softwares BIM possuem metadados de objetos construtivos referentes apenas à AEC.

90 Segundo o site: <<https://www.lands-design.com>>.

91 Disponível em: <<https://www.lands-design.com/information/why-use-lands/>> Acesso 20 abr. 2019.

92 Disponível em: <<https://www.bison.la/>> Acesso 22 abr. 2019

93 Disponível em: <<https://www.food4rhino.com/app/roadcreator-rhino>> Acesso 22 abr. 2019

## Estrutura e funcionalidades da plataforma mariposa

A Plataforma Mariposa foi idealizada para acoplar diferentes funcionalidades de projeto de paisagem, algumas delas relacionadas à provisão de SEs em áreas urbanas. Foram definidos os inputs e outputs de cada função, dados de importância fundamental para entender o funcionamento do processo e como essas suas partes estão articuladas no algoritmo.

Para estruturar a Plataforma foram definidas: funções primárias e secundárias.

As primárias são responsáveis por importar as informações para dentro da Plataforma Mariposa. A primeira parte do algoritmo funciona como um *input* de informações que o usuário irá alimentar dentro do sistema alocado na nuvem, e uma vez que todas as informações estejam presentes, será possível fazer análises mais robustas e complexas.

Já as funções secundárias funcionam como modificadores de informação ao permitir que o usuário ajuste seu modelo para gerar diversos cenários. Tal função engloba também as simulações complexas de projetos generativos que exigem os dados produzidos pelas outras funções para executar e diagnosticar aspectos de múltiplos SEs, vinculados ao solo, drenagem urbana e vegetação.

Para esta tese foram desenvolvidas as seguintes funcionalidades:

### Funções primárias

Geomorfologia;

Biomassa;

Drenagem urbana;

### Funções secundárias

Análise multicritério do grau de aptidão de Projetos de Paisagem;

Modelo tridimensional de jardim de chuva;

Área de infiltração Saracura

Projeto generativo de reservatórios híbridos.

Enquanto funções primárias, as funcionalidades de Geomorfologia, Biomassa e Drenagem Urbana contribuem com a “Análise multicritério do grau de aptidão de Projetos de Paisagem”, com uma visualização tridimensional dos mapas e funções com análises correlatas.

Essas funcionalidades tiveram seu embasamento subsidiado por trabalhos desenvolvidos pela equipe deste projeto, bem como foram escolhidos levando-se em conta a sua viabilidade dentro do processo paramétrico e limitações e potencialidades impostas pelas funções da linguagem de programação visual.

A seguir as funcionalidades são descritas, suas informações, propriedades e relações.

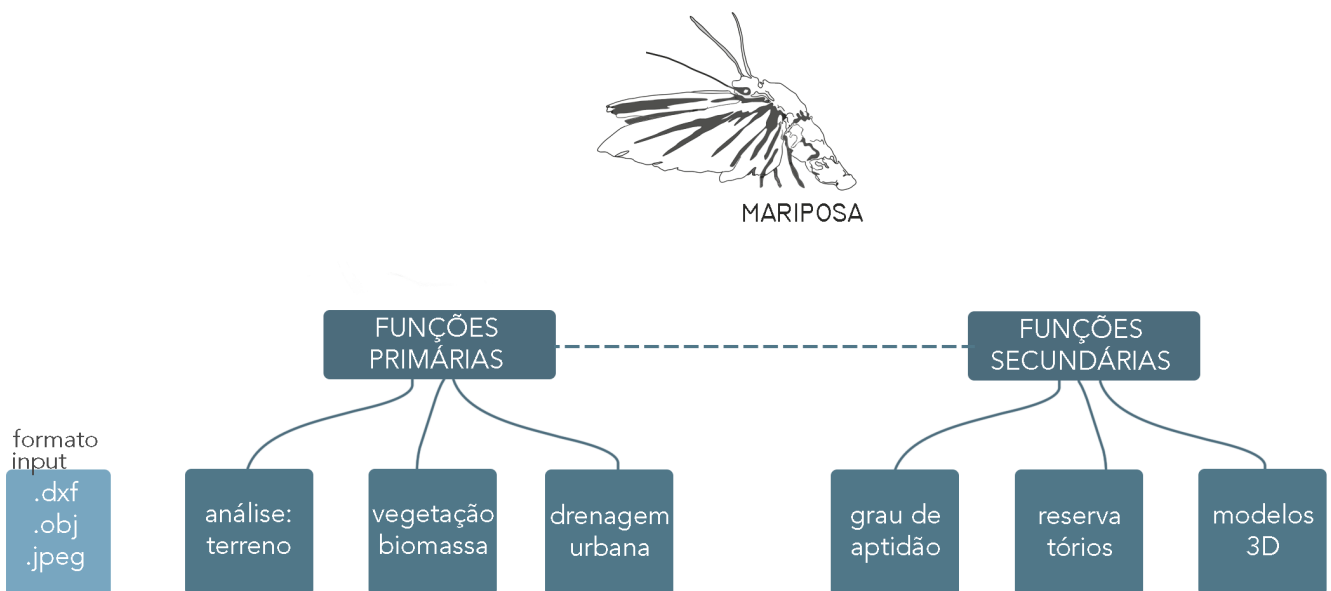


Figura 19. Funções primárias e secundárias vinculadas às seis funcionalidades da Plataforma Mariposa.

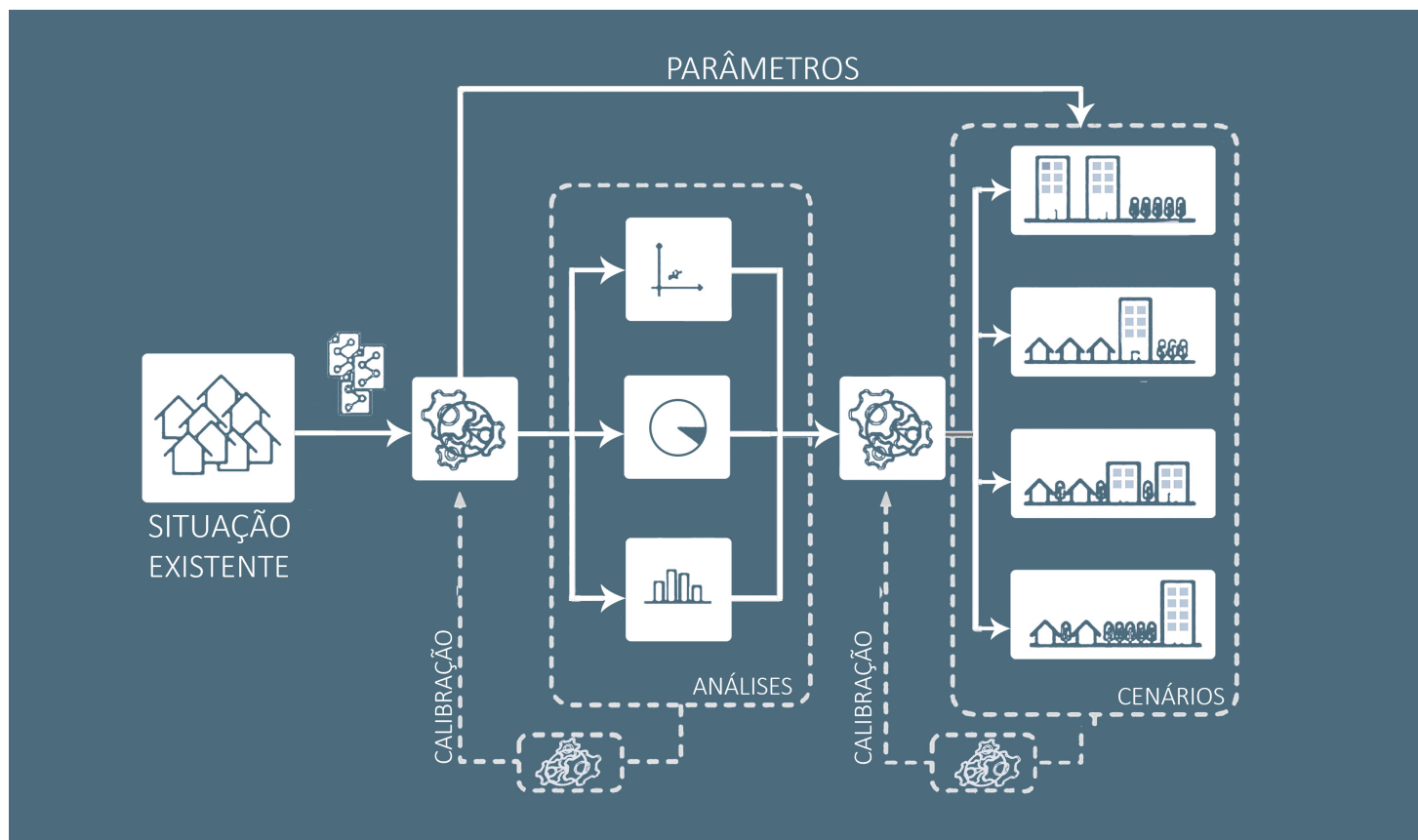


Figura 20. Avaliação do desempenho de cenários gerados pelo usuário ao manipular a Plataforma Mariposa a partir de um processo iterativo. Desta forma, dentro do processo de projeto, define-se o problema e são feitas análises sobre a localidade, para após, iniciar o desenvolvimento do algoritmo que gera, de forma iterativa, diferentes cenários a partir dos parâmetros e desempenho almejado.

Fonte: autora, com estrutura da construção dos cenários baseada nos estudos de Moura et al., 2018.

## Geomorfologia

Esta funcionalidade primária da Plataforma Mariposa permite gerar dados referentes aos eixos de Geomorfologia, necessários à Análise multicritério do grau de aptidão de Projetos de Paisagem, com uma visualização tridimensional dos mapas e funções com análises.

A primeira função é importar o mapa com o terreno, responsável por incorporar todos os dados físicos dos levantamentos topográficos. A importação, ao gerar uma análise hipsométrica e curvas de nível, permite compreender melhor o terreno de projeto. Dentro das funções primárias da Plataforma, pode-se importar os dispositivos de IV e as edificações existentes.

A segunda função da Geomorfologia, em um processo generativo, permite encontrar a posição ideal de um platô, considerando àquela que menos movimentada terra, sendo assim a solução mais econômica do projeto. Essa função generativa é útil quando existe a necessidade de implantar edificações ou gerar terrenos para quadras poliesportivas ou espaços planos no projeto. Desse modo, essa função tem como objetivo ajudar arquitetos paisagistas a encontrar as melhores posições de implantação de equipamentos ou propor intervenções mais adequadas para os terrenos que serão inseridos.

O desenvolvimento da modelagem paramétrica para simulação baseia-se no algoritmo do Grasshopper desenvolvido por João Deodato e a Adriana Sandre.

# DEMONSTRAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DA PLATAFORMA MARIPOSA

## FUNÇÕES PRIMÁRIAS E SECUNDÁRIAS

### 1º: TERRENO

Após importar o terreno de interesse é possível visualizar uma prévia da topografia importada. Para incorporar terreno ao ShapeDiver, os usuários devem colocar arquivos de terreno no formato .DXF ou .OBJ, além disso, eles devem estar formatados, exclusivamente, no tipo “MESH” de modelagem. Essas restrições são relativas ao uso do ShapeDiver que limita os formatos disponíveis que o usuário pode adicionar modelos através de sua plataforma online. Tendo isso em vista, foram feitos diversos teste de importação de modelos a partir de diversos *softwares*, dentre eles os mais utilizados por arquitetos, como o SketchUp, Archicad, Rhinoceros e Revit. Esses testes foram importantes para atingir o maior número de usuários, ampliando assim o público-alvo da Plataforma.

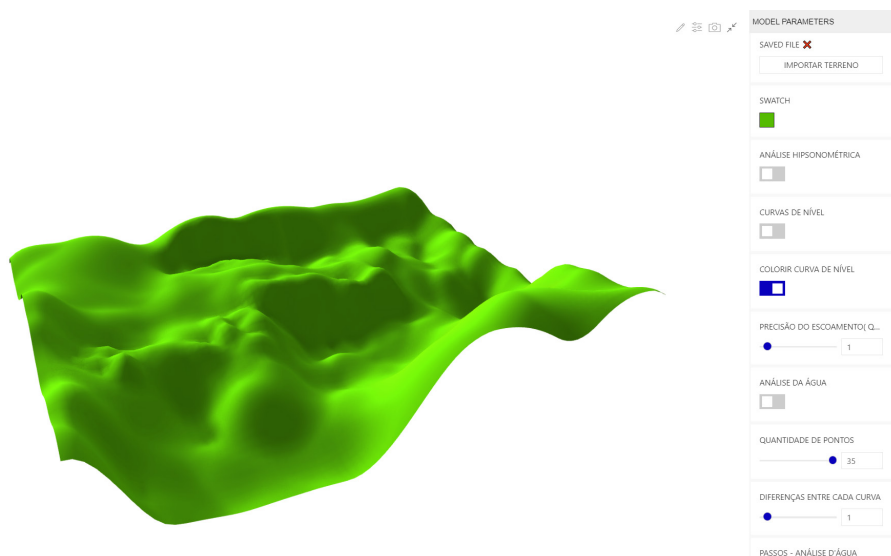


Figura 21. Visualização tridimensional de dois diferentes terrenos dentro da interface da Plataforma Mariposa online.

## 2º: CURVAS DE NÍVEL

Após a inserção do terreno é possível gerar curvas de nível.

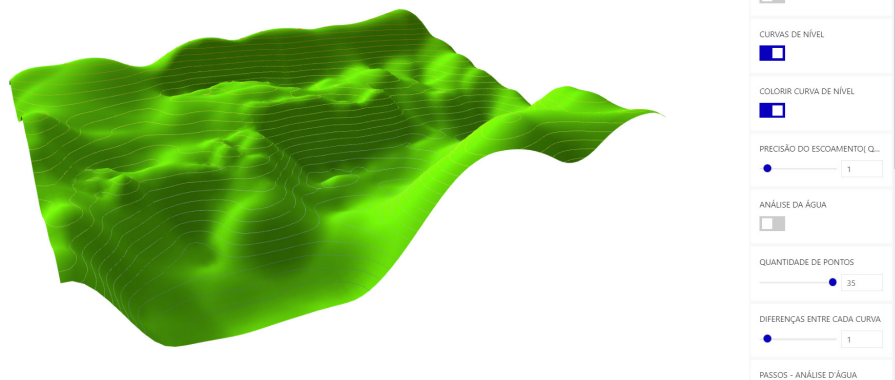


Figura 22. Curvas de nível do terreno.

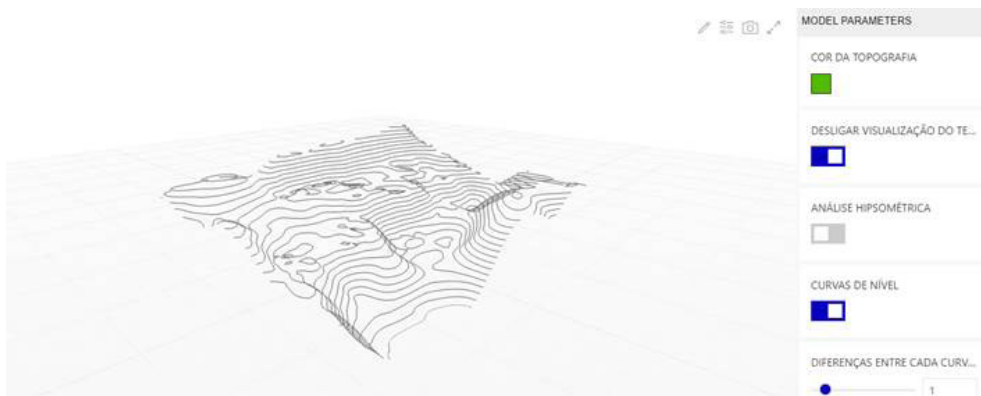


Figura 23. Por meio do uso do slider “Diferença entre cada curva” é possível configurar a altura que cada curva de nível representa.

### 3º: ANÁLISE HIPSOMÉTRICA

Representação da elevação do terreno com variação de cores (quente a fria) que representam maiores/menores altitudes.

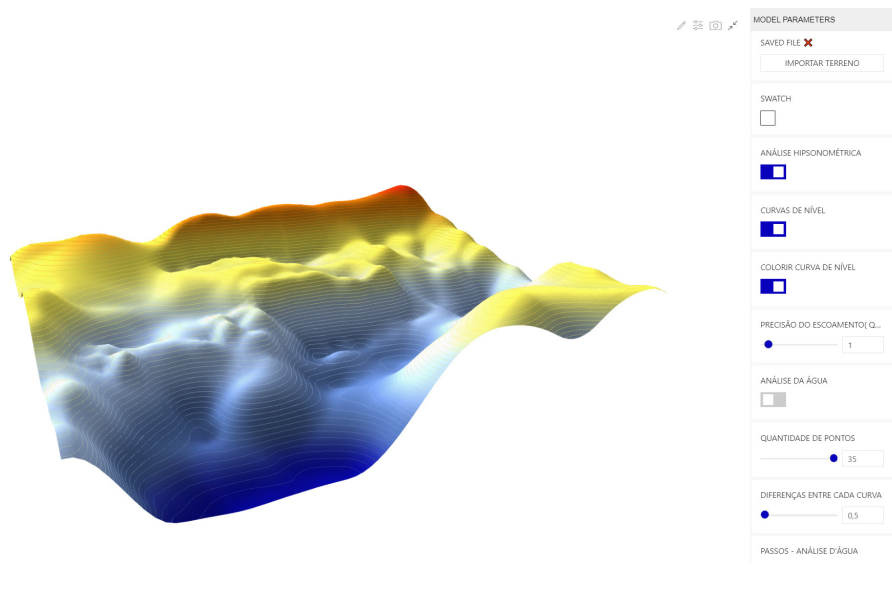


Figura 24. Ilustração tridimensional do terreno com variação de cores.

#### 4º: IMPORTANDO EDIFICAÇÕES E OUTROS DADOS

Pode-se implantar no modelo diferentes locais (terrenos), edificações e outras formas de interesse, modificando suas cores.

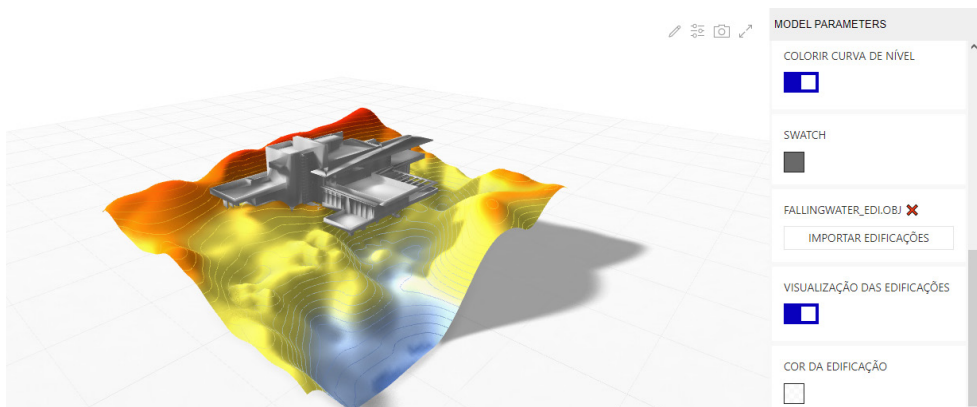


Figura 25. Inserção de outros elementos de projeto a visualização tridimensional da topografia.

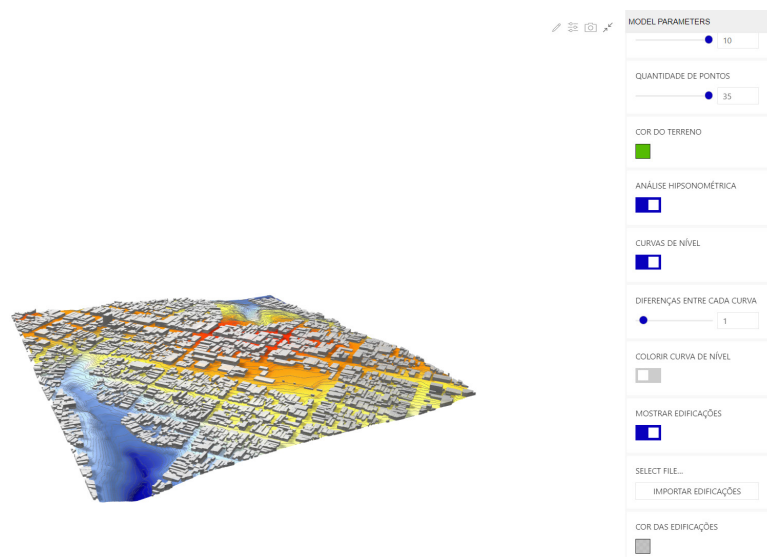
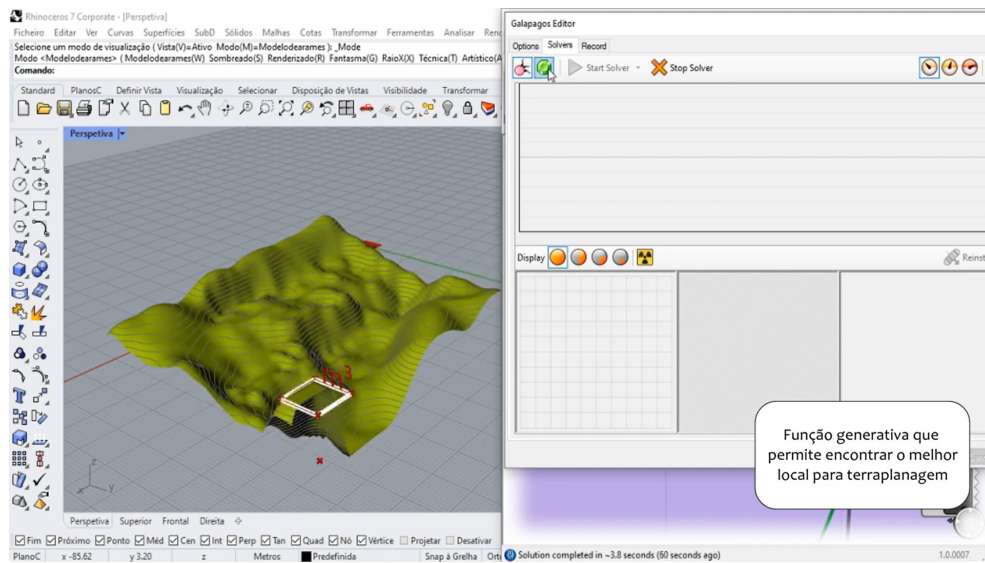
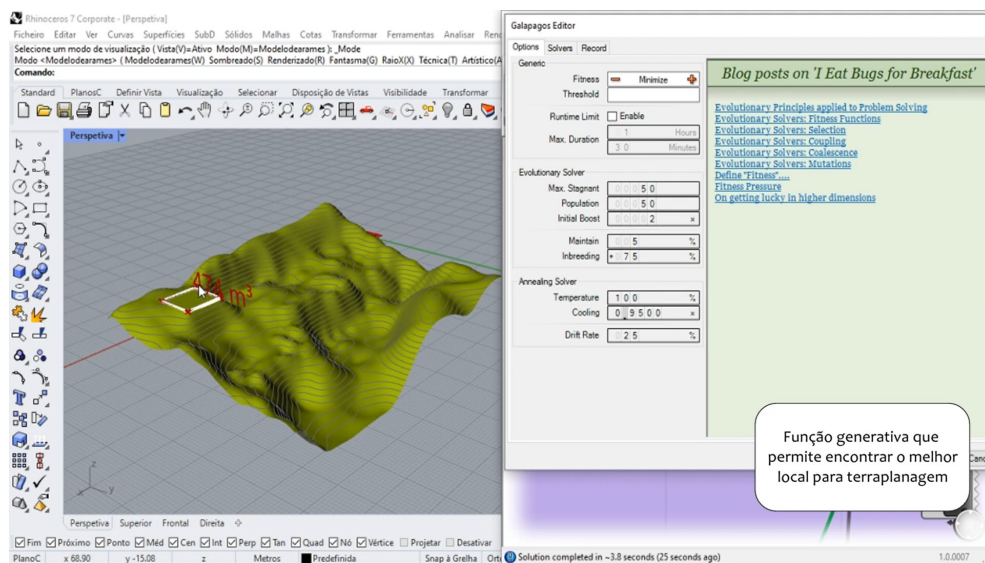


Figura 26. Visualização de elementos de projeto em outra localidade, incluindo as edificações.

## 5º: PROJETO GENERATIVO: PLATÔS

Esta funcionalidade inserida na Geomorfologia auxilia o projetista a posicionar um platô considerando a retirada do menor volume de terra. Assim as populações foram geradas e classificadas considerando o menor volume de terra, em uma função objetiva (*fitness function*), considerando a máxima duração de 1,5 horas e uma população de 50 indivíduos.



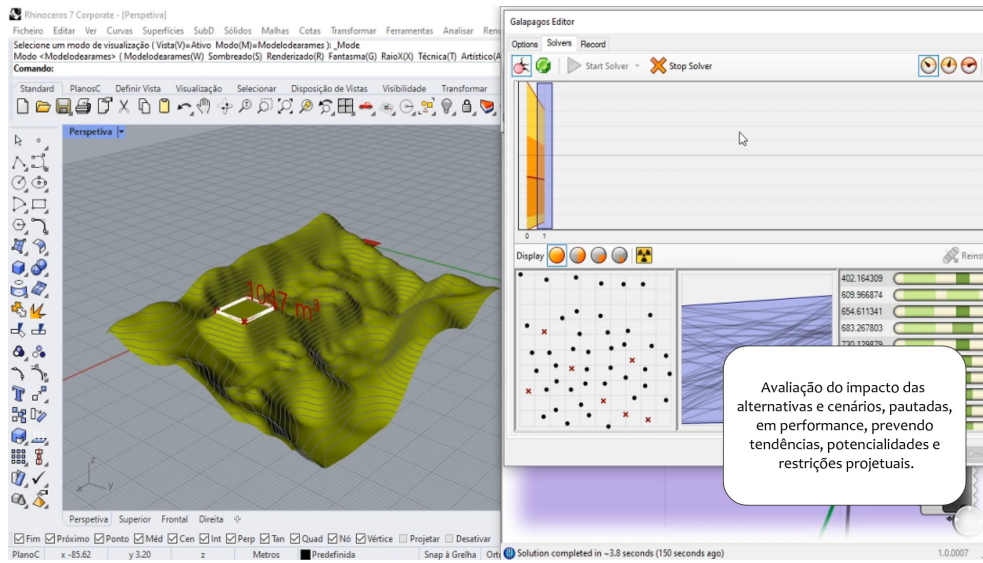


Figura 27. Função generativa de diferentes indivíduos para auxiliar a definição de um platô com área fixa que movimente a menor quantidade de terra. Imagens da interface do *software* Rhinoceros 6 e *plugin* Galapagos.

## Biomassa e drenagem urbana

Esta funcionalidade primária da Plataforma Mariposa permite gerar dados referentes ao eixo de Biomassa, necessários à Análise multicritério do grau de aptidão de Projetos de Paisagem. Para mensurar a biomassa e a drenagem urbana (como descrita no próximo item), enquanto uma funcionalidade da Plataforma, foi selecionado o elemento Canteiro com árvores.

Às árvores foram associados um conjunto de atributos fixos<sup>94</sup> (ex. tamanho, copa, tempo de maturidade) relacionados a sua capacidade de sequestro de carbono e interceptação de água da chuva conforme idade (Tabela 8 e 9). Assim, enquanto função primária, é possível mensurar, conforme a espécie, idade e variação quantitativa do número de árvores, o sequestro de carbono e a interceptação de água de chuva.<sup>95</sup>

Dentro da Mariposa, os SEs relacionados à fixação de carbono provêm uma função linear, em que o aumento do número de árvores é diretamente correlacionado ao aumento da fixação independente do arranjo do plantio. Se eles variam individualmente em sua provisão, a depender principalmente da espécie vegetal e do solo, pode-se pensar então em SPE com variação somente da espécie. Portanto, ao script do algoritmo foi associada uma função linear: uma árvore (n) contribui o aumento em  $n \cdot x$  e  $10n \cdot x$  árvores em  $10n \cdot x$ .

Entretanto, com relação a localidade, esse parâmetro de alta complexidade de informações será contemplado a longo prazo na Plataforma, pois são necessários estudos empíricos e equações matemáticas de arranjo de plantio urbano, efeito de borda e de variabilidade de espécies e espécimes para alimentar o *script* do algoritmo. Assim, uma função terciária pode ser um algoritmo genético que tem o maior potencial de sequestro de carbono por unidade de área frente à localização do fragmento (se há um efeito de borda, variação de configuração e arranjo de diferentes elementos arbóreos, bem como na composição dos outros elementos vegetais, serrapilheira e solo. Para tanto, será necessário entender no que difere o retorno de um conjunto exclusivo de um elemento arbóreo a um conjunto com uma riqueza deles e, ainda, qual os melhores arranjos espaciais para cada um dos dispositivos de infraestrutura verde (por exemplo, jardins de chuva) para a biomassa. Bem

---

94 Os atributos fixos são denominados como controlados e correspondem a forma, materiais, desempenho, custos, entre outros (Eastman et. al, 2008). Já os variáveis ou parâmetros constituem as regras que definem o comportamento geométrico (linhas, superfícies, volumes e suas associações) e não-geométrico (materiais, quantitativos, performance, etc) dos fixos, permitindo que objetos sejam automaticamente ajustados de acordo com o controle do usuário e a mudança de contexto (Ruschwel, 2009).

95 As ferramentas de modelagem úteis para avaliar serviços em escalas regionais e de bacias hidrográficas, nem sempre são eficazes em escala local (Pandeya et al. 2016), principalmente na escala de projeto. Veja, entre outros, ARIES ou InVEST. Embora a reconhecida habilidade em mensurar serviços ecossistêmicos de árvores, optou-se por não usar o software i-Tree dado que o programa foca-se em situações reais e simulação de cenários com base na mudança do uso e ocupação do solo. Na escala projetual, infelizmente, ainda não temos o software i-Tree Design para o Brasil.

como, sabe-se que a modularidade dos elementos deve variar se considerarmos a escala da paisagem ou do habitat – regulação da temperatura e umidade do ar, fluxo de ar, etc. – e a aceleração devido a diferenças de temperatura entre a massa arbórea e edifícios.

Com relação a funcionalidade de drenagem urbana, a Plataforma Mariposa permite demonstrar como se dá o comportamento do escoamento superficial das águas pluviais no terreno, bem como a interceptação de águas pluviais pelas copas das árvores. O plantio de árvores contribui com a interceptação das águas pluviais ao reduzir o escoamento superficial e pelas raízes que crescem e se decompõem, aumentando a capacidade de infiltração de água no solo, como também sua limpeza, bem como reduz a erosão do solo pela amenização do impacto das gotas das chuvas (Xiao et al., 1998). Cabe destacar que a influência da vegetação no recebimento e redistribuição das chuvas é significativa, dentro do contexto do balanço hídrico de uma determinada área, isto é, diferentes coberturas florestais influenciam na recarga hídrica do solo. A cobertura florestal possui estreita relação com o ciclo hidrológico de uma microbacia interferindo nos caminhos da água.

A interceptação consiste na fração da precipitação retida nas folhas e ramos das árvores, retornando à atmosfera como vapor e a transprecipitação (ou precipitação interna) que compreende a porção da chuva que atravessa o dossel, chegando ao solo na forma de gotas; e o escoamento pelo tronco; a precipitação efetiva é a soma desses dois últimos fluxos hídricos (Arcova et al., 2003). A interceptação se dá pela subtração da Precipitação total (medida em terreno aberto) da precipitação interna (chuva que atinge o solo, tanto pelas gotas que passam diretamente pelas aberturas existentes entre as copas, como as que respingam dessas) e do escoamento pelo tronco das árvores.

Uma vez que árvores isoladas têm maior probabilidade de apresentar menor porcentagem de interceptação (devido à velocidade do vento, que diminui a precipitação interna em certos locais abaixo da copa) foi decrescido 15% na sua capacidade dentro da Plataforma. A perda por interceptação pode também ser influenciada pela sua fenologia, diversidade e densidade de espécies num mesmo ambiente. Enquanto para florestas plantadas as perdas por interceptação serão muito mais homogêneas e menores devido ao espaçamento (3X2) sistematizado, considerando a mesma espécie e idade (Lima, 1986).<sup>96</sup>

Assim, em uma aproximação quantitativa dos dados, foram feitas pesquisas científicas de trabalhos coletados *in situ* para alimentar o protótipo e permitir o cálculo dessas funções de regulação.<sup>97</sup> Para alimentar os atributos das árvores, os estudos foram selecionados por serem,

---

96 A evaporação da água interceptada é comandada pelo déficit de saturação do ar e pelo influxo vertical do ar mais quente e mais seco. Desse modo, as árvores isoladas estão condicionadas a terem taxas de evaporação mais altas do que em florestais densas (DAVID, 2002). Para a mesma autora, a perda por interceptação em florestas densas está bem definida, por não ter tanta influência do meio, já para árvores isoladas urbanas é um fator limitante. As maiores taxas de evaporação durante o período chuvoso podem refletir na diferença de condições climáticas (contribui para mais chuva), de energia disponível ou rugosidade aerodinâmica (ventos).

97 Os dados coletados consideram que em escala local a avaliação do SE deve basear-se em dados empíricos e coleta-

preferencialmente, em áreas do Estado de São Paulo, ou em áreas urbanas. Os dados foram sistematizados na Tabela 8 e 9 que consta com parâmetros típicos para cada espécie, por exemplo, com o valor de sua copa realiza-se uma representação tridimensional da geometria. A ela podem ser adicionados quaisquer dados que a equipe achar conveniente, como potencial de fitorremediação associado ao seu posicionamento no projeto para após medir o desempenho da espécie.

O desenvolvimento da modelagem paramétrica para simulação baseia-se no algoritmo do *Grasshopper* desenvolvido por Adriana Sandre e João Deodato.

## Referências de trabalhos para alimentar os dados de biomassa

Para alimentar os atributos das árvores os estudos foram selecionados por realizarem por métodos diretos (destrutivos)<sup>98</sup> preferencialmente em áreas do Estado de São Paulo, ou em áreas urbanas.<sup>99</sup> Foi aplicado um fator de redução de 15% considerando área urbana nos cálculos, visando uma maior precisão no contexto dos projetos. De acordo com Nowak (1994), as árvores de rua apresentam aproximadamente 80% da biomassa daquelas localizadas em florestas naturais.<sup>100</sup>

---

dos in situ (Salizzoni, 2020). Embora os SEs e os desserviços prestados por árvores urbanas sejam bem estudados, o papel potencial das espécies na prestação de serviços e desserviços é pouco documentado (Morgenroth et al. 2016). São poucos os estudos que consideram múltiplos serviços em potencial e a redução dos desserviços no processo de seleção de espécies arbóreas, a maioria dos estudos considera apenas um ou poucos serviços e desserviços nessa seleção (Pauleit 2003; Li et al. 2011; Miller et al. 2015; Wei et al. 2017). Uma solução poderia ser fornecer as espécies de árvores recomendadas com base nos serviços ambientais e na área geográfica em potencial da espécie por meio de pesquisa sistemática (Nowak 2008).

98 O método destrutivo se dá pela derrubada da árvore e pesagem de seu tronco, galhos, raiz e folhas para quantificação de sua biomassa, gerando modelos alométricos de predição. Já no método indireto são realizadas estimativas de biomassa, obtidas por meio de equações alométricas, em função de variáveis como o Diâmetro à Altura do Peito (DAP), altura da planta, idade, densidade básica da madeira, regime pluviométrico local etc.

99 Especificamente para as áreas urbanas são escassos os métodos diretos, essa falta de modelos matemáticos padronizados para estimativas de biomassa é um dos principais problemas quanto às predições de estoque de carbono, nas regiões tropicais (Chave et al., 2005). Além disso, alguns dos locais selecionados para esse estudo apresentam baixa cobertura arbórea, dessa forma, não justificaria a construção de modelos próprios para este estudo. Dada a escala mais refinada e local deste estudo, optou-se por não utilizar modelos preditivos que avaliam a capacidade e o padrão espacial do armazenamento de carbono, usando estimativas baseadas na cobertura do solo da biomassa de carbono em diferentes tipos de vegetação.

100 Não foram levantados dados de sequestro de carbono em todo o ecossistema, visto a raridade de estudos em áreas urbanas no sub-bosque. Portanto, no protótipo, os arbustos não terão quantidade de carbono associada em seus atributos. Além disso, a maior parte dos projetos de avaliação de carbono levam em consideração apenas a estocagem na parte arbórea, que representa a maior porcentagem da biomassa total (Lugo e Brown, 1992), e é a menos onerosa de se quantificar. Entretanto, o sequestro de carbono ocorre tanto na biomassa acima quanto abaixo do solo. O solo é considerado o maior reservatório de carbono nos ecossistemas terrestres (Post et al., 1982), porém essa concentração é altamente variável no espaço e lentamente variável no tempo (Smith, 2004), o que faz com que a metodologia de quantificação desse compartimento não seja levada em consideração em projetos de avaliação de carbono. Nesse sentido, o trabalho questiona se é possível mensurar algum valor para o

Seguem a descrição dos trabalhos selecionados de quantificação da biomassa<sup>101</sup> e do teor de carbono:

» **Brun (2012) – 24 Sibipirunas (*Poincianella pluviosa* (Benth.) L. P. Queiróz), com idade variável e altura até 13 m, plantadas no sistema viário da cidade de Maringá, PR.**

O estudo apresentou técnicas de manejo destinadas a órgãos públicos gestores da arborização, desde a implantação até o destino de resíduos gerados pela supressão de árvores viárias de Sibipiruna<sup>102</sup> para maximizar seu potencial de fixação de carbono atmosférico. Além disso, propôs uma metodologia de quantificação de Carbono orgânico (C) adequada para as peculiaridades apresentadas por árvores implantadas no meio urbano. Apresentou um aumento do erro padrão da estimativa percentual para a quantificação de carbono na fração galhos dado em virtude do procedimento metodológico adotado, que considerou como ponto de caracterização da fração madeira do tronco até o ponto de inversão morfológica (bifurcação) e a realização prematura de podas, principalmente drásticas ou de correção de injúrias sofridas pelos indivíduos, que resultam na grande profusão de galhos e redução do crescimento do tronco.

Para a construção de protocolos de sequestro de carbono em árvores urbanas, é crucial o estudo da sequência de evolução do crescimento da espécie no meio urbano, para que se observem todas as respostas da árvore em função de sua maturidade fisiológica, efeitos do manejo e fatores bióticos e abióticos do meio urbano sobre o comportamento de acúmulo de biomassa e carbono nos indivíduos.

» **Zanini (2018) – 36 árvores (14 espécies) com 5 anos de idade, em áreas em processo de restauração florestal das fazendas Jequitibá, Capoava e Ingazinho localizadas no município de Itu, SP**

O estudo gerou recomendação de um modelo alométrico adequado para áreas jovens de restauração florestal. Segundo a classificação de Köppen (1948) o clima da região de estudo

---

solo. Nutto (2002) estimou que a parte correspondente à árvore isolada contribui com 47% da quantidade total de carbono armazenado, sendo que os 53% restantes estão no sub-bosque, serrapilheira e húmus, dessa forma, pode-se estimar grosseiramente a partir do total obtido.

101 Biomassa é definida como a massa orgânica produzida por unidade de área, podendo ser expressa em peso de matéria seca, peso de matéria úmida e peso de carbono (Odum, 1986).

102 A sibipiruna é uma espécie ornamental encontrada, principalmente, na região de Mata Atlântica do Rio de Janeiro, sul da Bahia e no Pantanal Mato-Grossense. A árvore é semidecídua e heliófita, produzindo, anualmente, grande quantidade de sementes. A folhagem cai parcialmente nos meses de inverno e é composta bi-pinadas com pequenos folíolos (Da Silva et al., 2009).

é do tipo Cwa, tropical de altitude com chuvas no verão e seca no inverno. A temperatura média anual é de 21,3°C com precipitação anual de 1299.6 mm (CAP, 2017). As áreas foram implantadas usando a metodologia de restauração ativa, que consiste no plantio total escalonado de mudas de acordo com o método utilizado por Rodrigues et al. (2009). As espécies de recobrimento – com rápido crescimento, boa cobertura do solo e ciclo de vida curto, criando condições adequadas para as outras espécies – apresentam biomassa média 5 vezes maior do que o segundo grupo de diversidade e enriquecimento funcional – com função de restaurar a dinâmica da floresta madura. Isto pode ser atribuído ao fato de que as espécies de recobrimento são implantadas 1,5 anos antes e que nos primeiros anos de implantação, apresentam maior crescimento vegetativo e dominância da área. Porém com o passar dos anos, essas espécies tendem à senescência, deixando espaço para as mais tardias se estabelecerem (Luken, 1990).

Caso seja necessário utilizar outras espécies, para mensurar a fixação de carbono recomenda-se a utilização no Modelo preditivo de Zanini, 2018 que apresentou valores de  $R^2 = 89,72$ .<sup>103</sup>

Segue a equação alométricas para estimativa de biomassa e carbono em árvores de reflorestamento:

$$B = 29,126 - 4,519 \text{ DAP} + 0,054 \text{ DAP}^2 + 0,569 \text{ DAP Ht} - 0,005 \text{ DAP}^2 \text{ Ht}$$

Em que:

- » B: Biomassa viva acima do solo, em kg.
- » DAP: Diâmetro à altura do peito, em cm,
- » Ht: Altura total, em m.
- » Com  $R^2 = 89,72$  e  $S_{xy} = 18,10$

---

<sup>103</sup> A aplicação de modelos retirados da literatura deve ser feita com ressalvas, pois podem gerar erros de predição bastante expressivos, como diagnosticado por Gusson (2013) em Avaliação de métodos para a quantificação de biomassa e carbono em florestas nativas e restauradas da Mata Atlântica. O autor encontrou superestimação em mais de 265% com relação ao valor obtido pela equação empírica de melhor ajuste e desempenho.



---

Figura 28. Perfil de uma área em processo de restauração florestal, com 5 anos de idade, a partir de restauração ativa, na Fazenda Jequitibá, no município de Itu, São Paulo, Brasil (Fonte: Zanini, 2018).

» **Barbosa (2015) – 106 árvores (16 espécies), com idade variável, em trecho da borda da Serra da Cantareira, especificamente onde passará o Rodoanel Mário Covas trecho norte, São Paulo, SP**

O estudo comparou, para o cálculo de estimativa de biomassa da parte aérea, 17 modelos alométricos, submetidos a comparações com os dados reais de biomassa. A biomassa da parte aérea obtida, via método destrutivo, foi de 188,3 Mg ha<sup>-1</sup> e o carbono, 85,1 Mg ha<sup>-1</sup>. Modelos da literatura subestimaram a quantidade de biomassa e carbono. As menores classes de DAP apresentaram as maiores densidades básicas. A porcentagem de carbono contida nos troncos e galhos não diferiu entre as classes de DAP. Espécies pioneiras acumularam maior quantidade de biomassa e carbono nos galhos e apresentaram maior densidade básica que as não pioneiras.

» **Rasera (2019) – 100 árvores (20 espécies), em área restaurada com 12 anos, localizada na Estação Experimental de Ciências Florestais de Anhembi, pertencente à ESALQ/USP, Piracicaba, SP**

A aplicação das equações aos dados do inventário realizado em 2016 na área levou a estimativas de fixação de biomassa e carbono do estrato arbóreo bem variáveis entre os tratamentos, indo de 27,7 a 157,7 Mg.ha<sup>-1</sup> para biomassa e de 13,0 a 74,1 Mg.C.ha<sup>-1</sup> para carbono. O arranjo de espécies e sua quantidade mostraram-se como um fator não significativo no acúmulo de biomassa. Dentre os fatores estudados (Arranjo de espécies, Espaçamento e Manejo), o “Manejo” foi aquele em que dentro dos dois níveis dos dois fatores apresentou maior diferença na fixação de carbono. Conclui-se que, sendo realizado o manejo intensivo na área, o maior acúmulo de biomassa é dado quando o espaçamento é de 3x2m, independentemente do arranjo de espécies e visando longevidade dos indivíduos arbóreos, arranjo de espécies com proporção de 50% pioneiras e 50% não pioneiras é mais interessante do que proporção 66:33. Ou seja, quando utilizado o manejo usual, é indiferente o espaçamento ser 3x1 ou 3x2, o maior acúmulo médio de biomassa arbórea é obtido com o maior manejo e quando o arranjo de espécies é de 50% pioneiras e 50% não-pioneiras. Para arranjo 66:33, entretanto, além do manejo intensivo é necessário espaçamento 3x2m para haver maior acúmulo de biomassa. Definido o espaçamento de 3x1m, há maior alocação de biomassa arbórea quando a proporção é de 50% pioneiras e 50% não pioneiras e há manejo intensivo. Já para espaçamento de 3 x 2, apenas o manejo interfere, sendo a média superior no máximo.

## Referências de trabalhos para alimentar os dados de drenagem urbana

Tabela 8. Síntese das SEs de regulação mensuradas para o canteiro com árvores.

Fonte: Baseado nos estudos de Zanini, 2018; Rasera, 2019; Nowak et al., 2013.

ÁREAS	DADOS DE ENTRADA	DADOS DE SAÍDA
Sequestro de carbono	Estocagem de carbono tC ha <sup>-1</sup> Dados de árvores quanto a quantidade de carbono (CO <sub>2</sub> ) acima do solo que absorvida e armazenada Biomassa, teor de carbono (kg/espécie) e Sequestro de carbono (kg.ano <sup>-1</sup> )	Quantidade de carbono acima do solo que absorvida e armazenado Biomassa, teor de carbono (kg) por projeto
Drenagem urbana	Intercepção de águas pluviais para uma chuva de intensidade fraca (0-2,5mm) para diferentes espécies de árvore.	Intercepção de águas pluviais por projeto

Seguem a descrição dos trabalhos selecionados para alimentar as árvores na interceptação de água da chuva<sup>104</sup>:

» **Da Silva (2008 e 2009) – Sibipiruna (Poincianella pluviosa (Benth.) L. P. Queiróz), capacidade de interceptação medida no período de janeiro a fevereiro de 2007, na ESALQ, Piracicaba, SP.**

A sibipiruna apresenta grande benefício ambiental no ciclo hidrológico urbano, pois se verifica um potencial médio de interceptação de 60,6% da precipitação pluviométrica, com chuvas variando de 0,2 a 30,8 mm, o que representa uma importante forma de contenção de enchentes no meio urbano. De tal forma que o tempo de duração da chuva influi na interceptação, assim como, também, a quantidade de precipitação total. Nas chuvas pesadas, de duas horas de duração, a interceptação da chuva é menor, pois aumentam o gotejamento da folha, a precipitação interna e escoamento pelo tronco. A proporção

<sup>104</sup> Para áreas urbanas foram escassos os trabalhos em São Paulo, com isso, gestores de águas urbanas não possuem informações precisas e, muitas vezes, apropriadas sobre tal variável-chave, que é fundamental para a seleção das espécies arbóreas mais adequadas para potencialização da interceptação e redução do escoamento superficial urbano (Alves, 2015).

da chuva interceptada pelas copas é limitada pela superfície de armazenamento, que é fortemente controlada pela arquitetura das copas e pela quantidade de galhos e folhas.

Os dados de interceptação de água da chuva da Plataforma Mariposa referem-se à porcentagem interceptada de uma chuva de intensidade baixa (0-2,5 mm) a partir de uma inferência da espécie Sibipiruna, uma vez que algumas das espécies não possuíam dados empíricos. Destaca-se que este dado deve ser ponderado diante das limitações para qualquer generalização, servindo apenas como projeção para posteriores atualizações uma vez que cada árvore possui uma arquitetura distinta de copa, apresentando formato de galhos que podem favorecer a interceptação. Além da rugosidade do tronco que, se apresentar fissuras e aspecto mais áspero também favorece o armazenamento de água.

» **Giglio & Kobiyama (2013) – revisão bibliográfica sobre estudos de interceptação no Brasil.**

Na Mata Atlântica, 8,4—20,6% da chuva é interceptada; 47,6—97,4% da chuva atravessa a copa como chuva interna; e 0,2—3,3% da chuva escoia pelos troncos

Tabela 9. Espécies arbóreas utilizadas na Plataforma Mariposa em indivíduos jovens (i) e em adultos. Os dados de interceptação de água da chuva referem-se à porcentagem interceptada de uma chuva de intensidade baixa (0-2,5 mm) a partir de uma inferência da espécie Sibipiruna, uma vez que algumas das espécies não possuíam dados empíricos. (dados das espécies: Lorenzi et al., 2016; dados de biomassa e carbono, Barbosa, 2015; para sibipiruna dado Brun, 2012; Zanini, 2018; Rasera, 2019; dados de interceptação de água da chuva Da Silva 2008 e 2009, Giglio & Kobiyama, 2013).

NOME POPULAR	NOME ESPÉCIE	SIGLA	TEMPO MATUREI	COPA i	VAR_COPA i	TRONCO i	VAR_TRONCO i	ALTURA i	VAR_ALTURA i	RAIZ i	VAR_RAIZ i
ARVORE TIPO		TIPO	10	250	20	15	20	500	20	300	60
TAPIA	<i>Alchornea sidifolia</i>	ALSI	5	300	30	50	10	350	40	300	60
CANERANA	<i>Cabralea canjerana</i>	CACA	10	300	30	40	10	350	40	300	60
GUACATONGA	<i>Casearia sylvestris</i>	CASY	15	200	30	20	10	300	40	200	60
PAINEIRA-ROSA	<i>Ceiba speciosa</i>	CESP	10	500	30	10	10	750	40	500	60
SIBIPIRUNA	<i>Cenostigma pluviosum</i>	CEPL	10	500	30	10	10	600	40	500	60
CAPIXINGUI	<i>Croton floribundus</i>	CRFL	5	250	30	10	10	350	40	250	60
CAMBOATÁ	<i>Cupania oblongifolia</i>	CUOB	10	500	30	10	10	450	40	500	60
CAROBINHA	<i>Jacaranda puberula</i>	JAPU	5	150	30	10	10	200	40	150	60
JACARANDÁ-PAULISTANA	<i>Machaerium villosum</i>	MAVI	15	1000	30	20	10	300	40	1000	60
GUAMIRIM	<i>Myrcia splendens</i>	MYSB	5	100	30	10	10	200	40	100	60
CANELA-FERRUGEM	<i>Nectandra oppositifolia</i>	NEOP	5	400	30	20	10	700	40	400	60
CANAFÍSTULA	<i>Peitophorum dubium</i>	PEDU	10	800	30	20	10	850	40	800	60
CABELUDA-DO-MATO	<i>Pera glabrata</i>	PEGL	10	400	30	20	10	550	40	400	60
PAU-JACARÉ	<i>Piptadenia gonoacantha</i>	PIGO	5	300	30	20	10	300	40	300	60
PEROBA D'ÁGUA	<i>Sesaea brasiliensis</i>	SEBR	15	500	30	10	10	600	40	500	60
AROEIRA-VERMELHA	<i>Schinus terebinthifolius</i>	SCTE	10	400	30	10	10	500	40	400	60
CANEMAÇU	<i>Tetrorchidium rubrivenium</i>	TERU	10	400	30	20	10	550	40	400	60
PAU-DE-TUCANO	<i>Vochysia tucanorum</i>	VOTU	10	300	30	20	10	500	40	300	60

NOME POPULAR	COPA (Diam)	VAR_COPA	TRONCO	VAR_TRONCO	ALTURA	VAR_ALTURA	RAIZ	VAR_RAIZ	BIOMASSA (KG)	ESTOQUE C. (kg/Arv.)	INTERC. ÁGUA DA CHUVA (%)
ARVORE TIPO	400	20	30	20	600	10	400	60	170	850	61
TAPIA	1200	30	150	20	2000	30	1200	60	416,5	187,85	49
CANERANA	1200	30	150	20	1200	30	1200	60	22,1	10,2	69
GUACATONGA	1000	30	40	20	1500	30	1000	60	114,75	51	67
PAINEIRA-ROSA	1200	30	150	20	3000	30	1200	60	323	137,7	69
SIBIPIRUNA	1000	30	100	20	1800	30	1000	60	1477,3	700,4	67
CAPIXINGUI	800	30	40	20	1000	30	800	60	312,8	141,1	66
CAMBOATÁ	1000	30	100	20	1500	30	1000	60	382,5	170	67
CAROBINHA	800	30	40	20	900	30	800	60	73,1	35,7	66
JACARANDÁ-PAULISTANA	1200	30	150	20	4000	30	1200	60	226,95	102	69
GUAMIRIM	800	30	30	20	800	30	800	60	58,65	26,35	66
CANELA-FERRUGEM	1500	30	40	20	1300	30	1500	60	181,9	87,55	71
CANAFÍSTULA	1200	30	150	20	1650	30	1200	60	219,3	54,4	69
CABELUDA-DO-MATO	1500	30	100	20	2000	30	1500	60	943,5	419,9	71
PAU-JACARÉ	2000	30	50	20	3000	30	2000	60	421,6	192,1	72
PEROBA D'ÁGUA	1200	30	50	20	1600	30	1200	60	79,9	37,4	69
AROEIRA-VERMELHA	800	30	40	20	1000	30	800	60	110,5	28,05	66
CANEMAÇU	2000	30	70	20	2200	30	2000	60	702,1	328,1	72
PAU-DE-TUCANO	1300	30	150	20	1700	30	1300	60	84,15	38,25	69,5

# DEMONSTRAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DA PLATAFORMA MARIPOSA

## 1º: ESCOAMENTO SUPERFICIAL DO TERRENO

Pode-se visualizar o escoamento superficial do terreno e áreas com maior retenção do escoamento superficial a partir de condições do relevo.

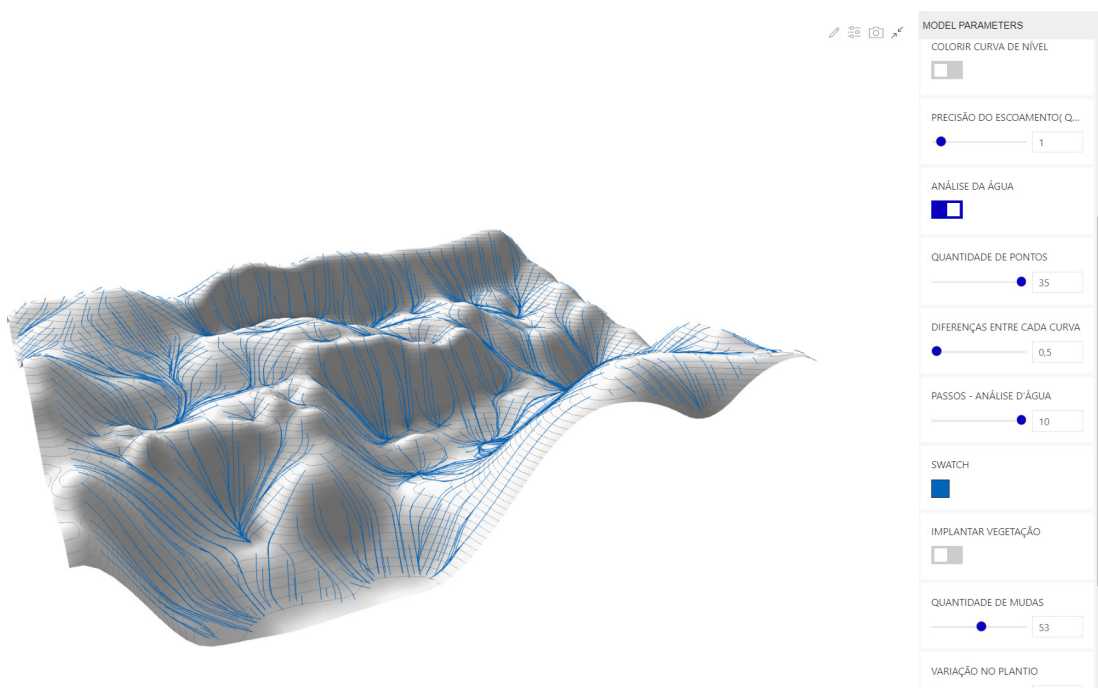


Figura 29. Visualização do escoamento superficial dentro do terreno importado. A partir de uma análise geométrica e de tipo de solo, o componente traça os fluxos percorridos pela água no terreno, indicando quais são os pontos de acúmulo e diferenças de vazão. Esse cálculo permite que o projetista faça análises iniciais da modelagem do formato e tamanho dos dispositivos de IV de acordo com dados de desempenho quanto à captação e retenção das águas pluviais e sua velocidade de escoamento. Destaca-se que este cálculo é somente uma aproximação para auxiliar no processo decisório e demonstrar o funcionamento da Plataforma online, uma vez que os *plugins* utilizados dentro do Rhino não permitem incorporar alguns dos dados hidráulicos necessários ao cálculo exato de escoamento superficial, tais dados de precipitação local, capacidade do solo de infiltrar e armazenar água, como CN (número de escoamento), entre outros.

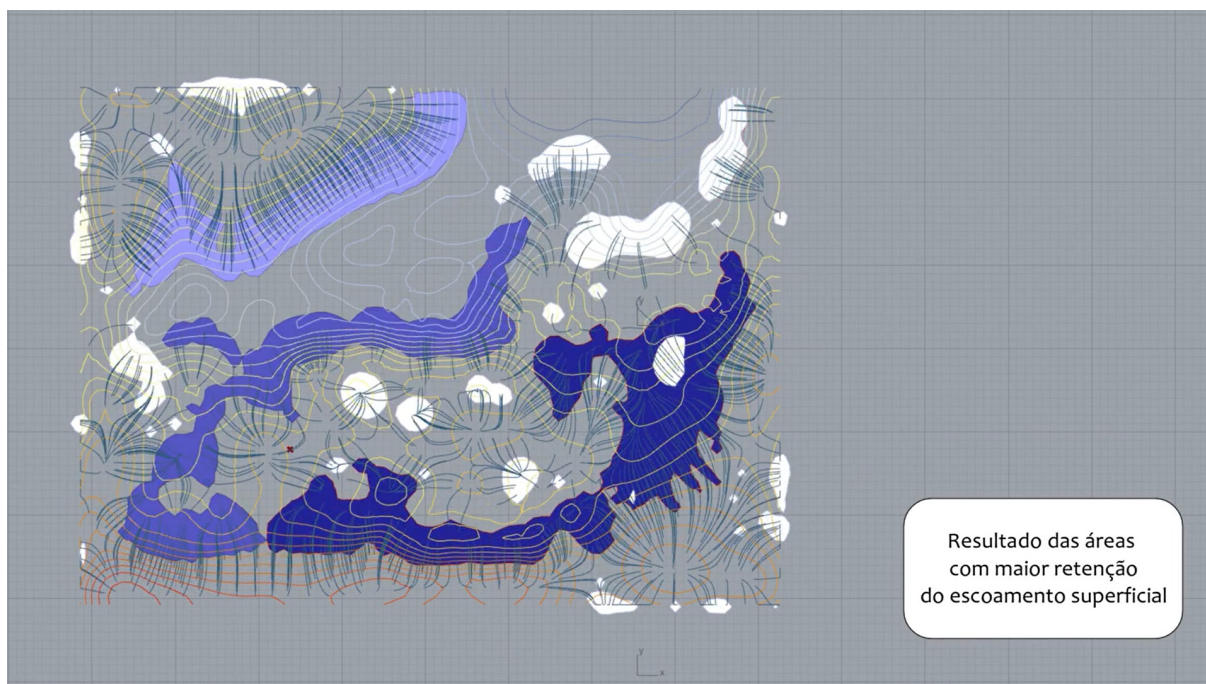
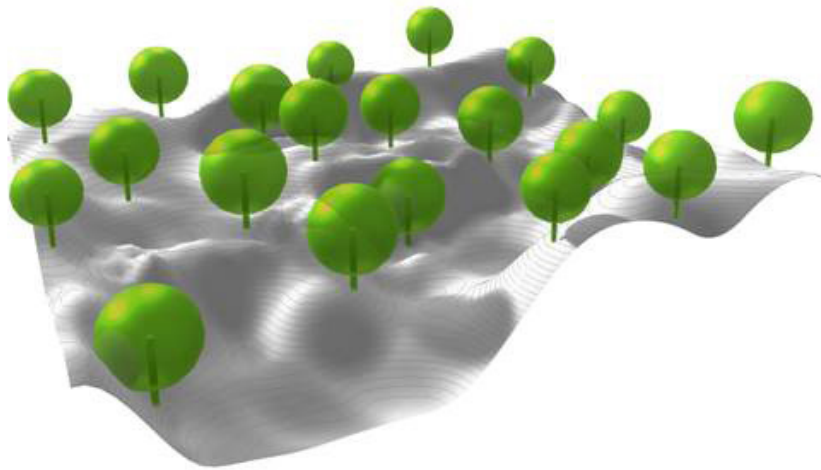


Figura 30. A sub-bacia hidrográfica, a partir da nuvens de pontos, com coordenadas X, Y, Z, foi modelada para gerar dados do seu comportamento hídrico: tributos de dinâmica de fluidos. A partir da modificação dos atributos fixos e variáveis pode-se diagnosticar quais regiões atuais das bacias concentram as maiores vazões e, portanto, detectar os locais mais estratégicos para disposição de elementos de drenagem a partir dos dispositivos de IV, como será descrito no item “Análise multicritério do grau de aptidão de Projetos de Paisagem”.

## 2º: INSERINDO ÁRVORES NO TERRENO

Pode-se inserir árvores em diferentes localidades (terrenos), modificar a quantidade, variação no plantio, tipo de espécie e gerar dados de desempenho com relação a biomassa e a interceptação de água da chuva. A variação da configuração de plantio se dá conforme a espécie e tamanho da copa ou de forma aleatória. Não obstante, o usuário pode realizar uma distribuição complexa variando conforme parâmetros de interesse, por exemplo, com objetivo de: interceptar água da chuva em certo ponto do terreno concentra-se árvores com maiores copas; promover uma barreira de espécies à dispersão de poluentes atmosféricos; criar de corredores no sistema viário; aumentar o conforto ambiental em áreas com maior temperatura de superfície utilizando espécies com maior índice de área foliar e mais eficazes na absorção de radiação solar, etc. Uma vez que se tem a correção entre o dado e sua localização geográfica pode-se propor um plantio parametrizável.



MODEL PARAMETERS

QUANTIDADE DE PONTOS: 35

DIFERENÇAS ENTRE CADA CURVA: 0.5

PASSOS - ANÁLISE D'ÁGUA: 5

SWATCH: [Blue Swatch]

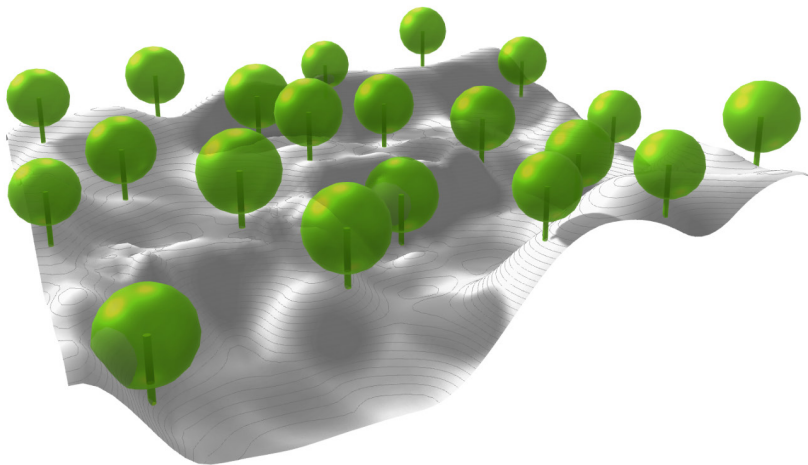
IMPLANTAR VEGETAÇÃO: [Checked]

QUANTIDADE DE MUDAS: 20

VARIAÇÃO NO PLANTIO: 0

TIPO DE VEGETAÇÃO: Espécie 01

ESTÁGIO: Estágio Maduro



MODEL PARAMETERS

QUANTIDADE DE PONTOS: 35

DIFERENÇAS ENTRE CADA CURVA: 0.5

PASSOS - ANÁLISE D'ÁGUA: 5

SWATCH: [Blue Swatch]

IMPLANTAR VEGETAÇÃO: [Checked]

QUANTIDADE DE MUDAS: 20

VARIAÇÃO NO PLANTIO: 0

TIPO DE VEGETAÇÃO: Espécie 01

ESTÁGIO: Estágio Maduro

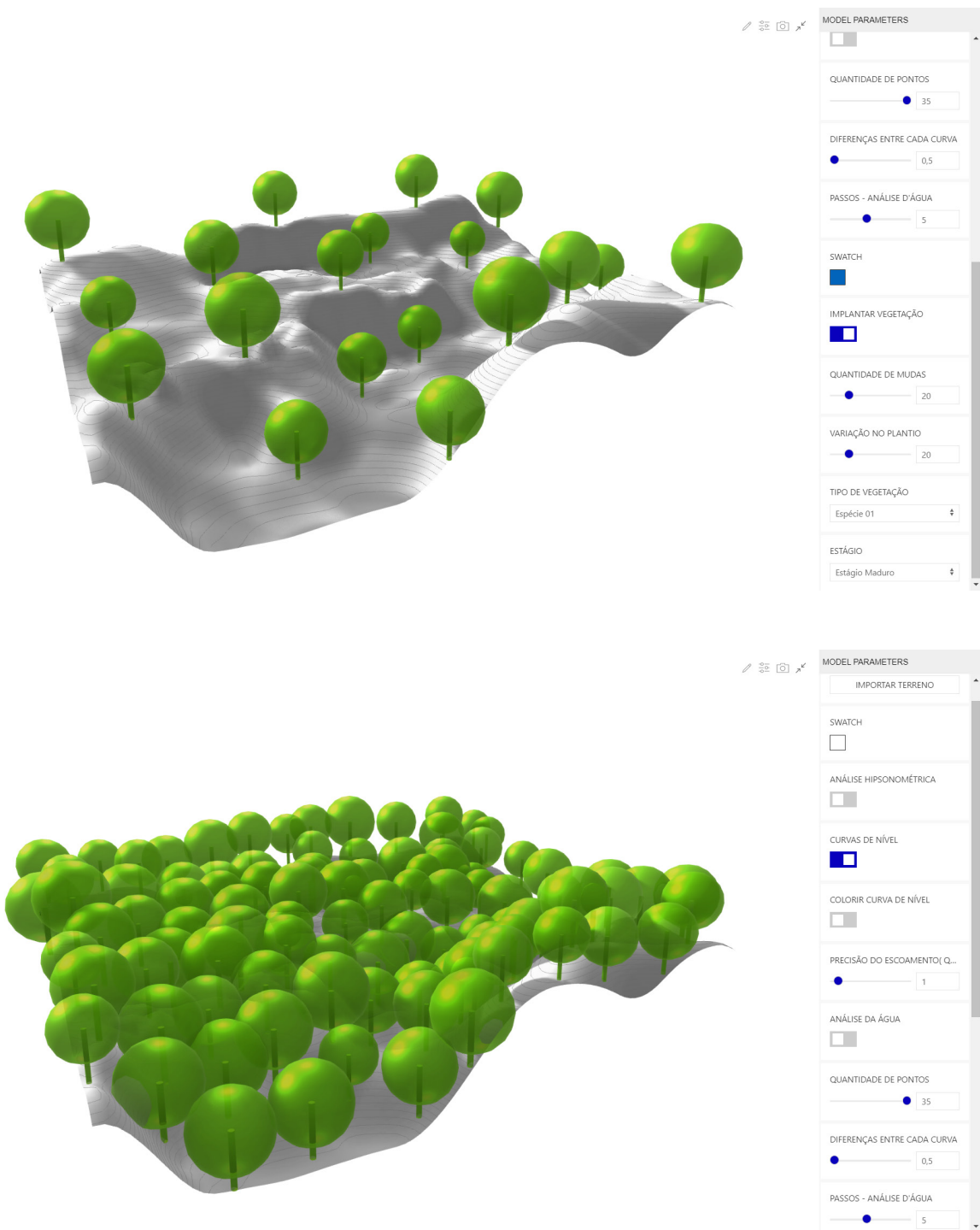


Figura 31. Inserção de vegetação no terreno e variação na quantidade de mudas e configuração do plantio.

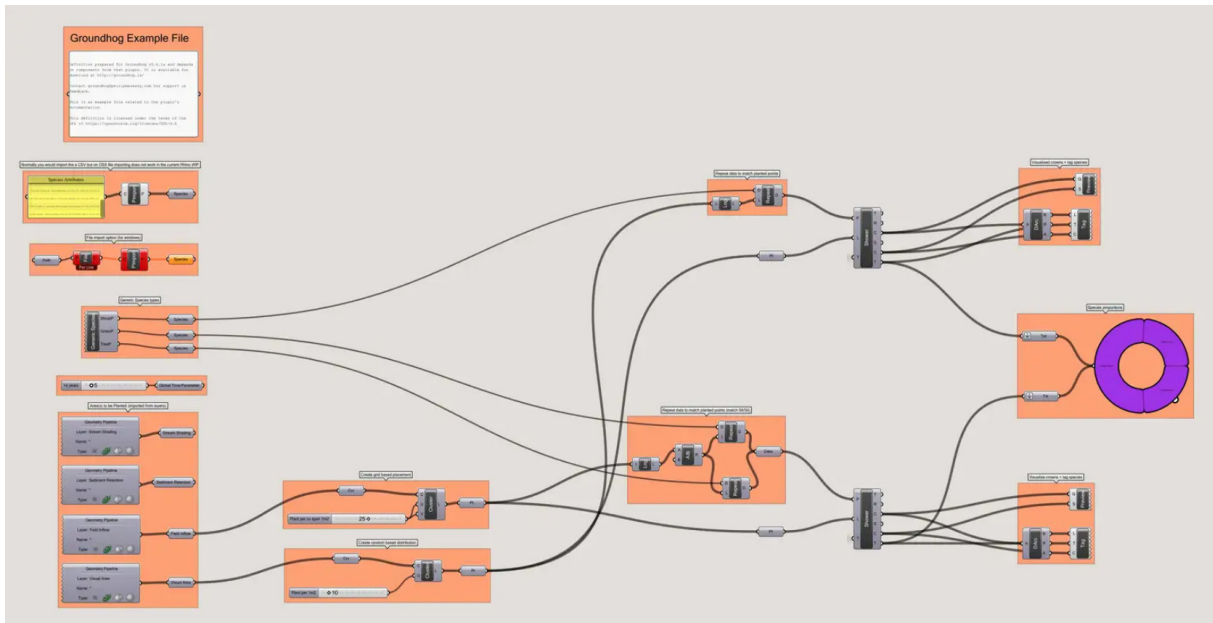


Figura 32. Representação do algoritmo no Grasshopper demonstrando como seleccionar espécies de árvores e simular características básicas de crescimento.

Fonte: Belesky, 2021.

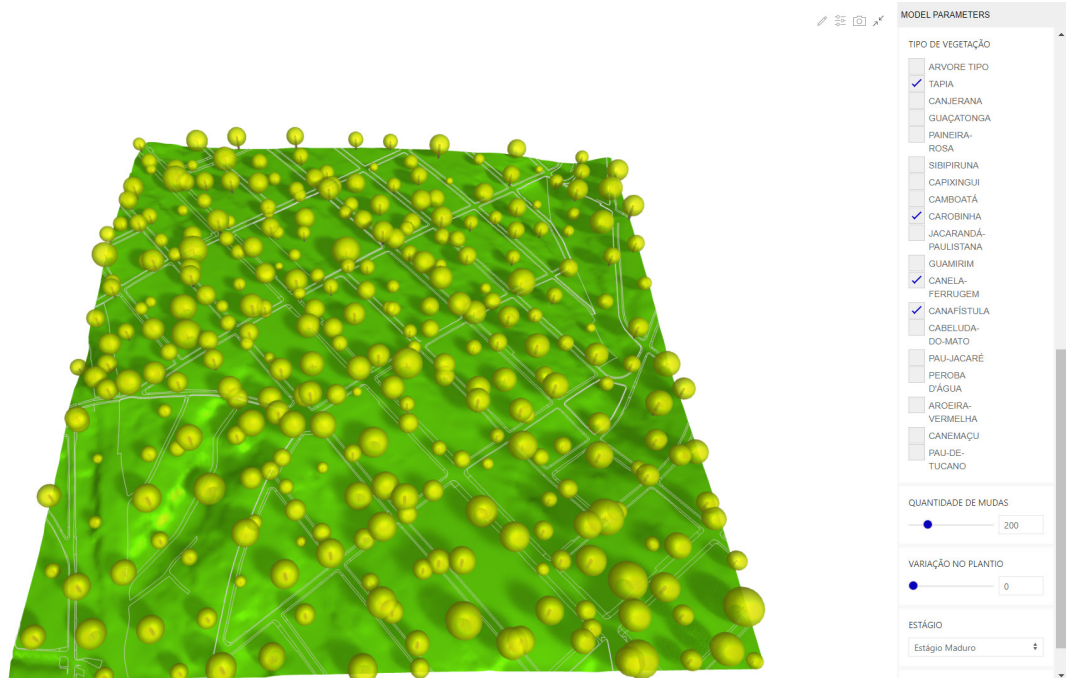


Figura 33. A Plataforma permite também realizar o plantio de espécies de árvores (Tabela 9) somente alocadas nos espaços livres intralote e sistema viário. Esta funcionalidade permite calcular o quanto é possível aumentar o número de espécies arbóreas em espaços livres intersticiais.

### 3º: INTERCEPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA E BIOMASSA

É possível gerar dados de desempenho, como biomassa e interceptação das águas da chuva, com base nos dados internos da Plataforma Mariposa.

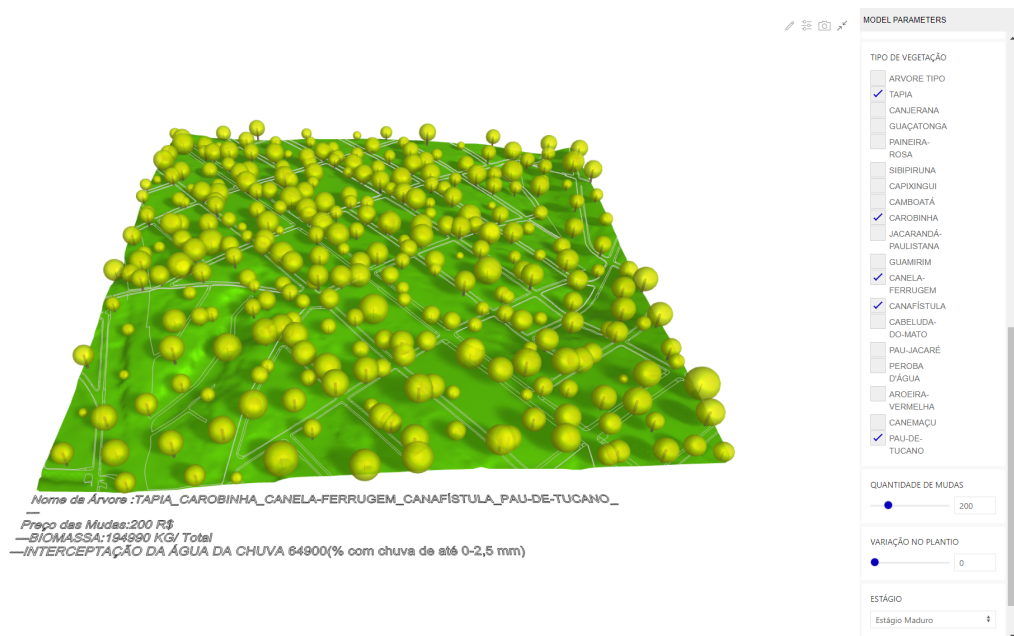


Figura 34. Pode-se calcular a interceptação de água da chuva, bem como a biomassa do projeto, conforme a seleção de espécies arbóreas na interface, sua quantidade, variação no plantio e tempo de maturidade.

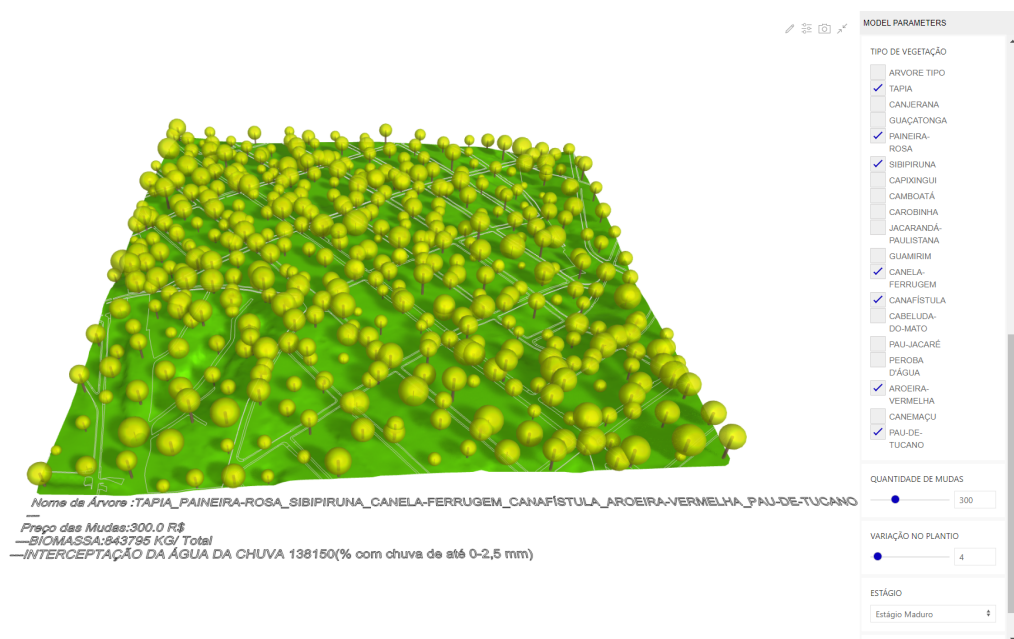


Figura 35. Conforme o usuário varia as espécies de árvores e sua quantidade nos espaços livres, a Plataforma calcula os novos valores de interceptação de água da chuva pelas copas e biomassa do projeto.

## Análise multicritério do grau de aptidão de projetos de paisagem

O protótipo da Plataforma Mariposa apresentado nesta tese permite ao usuário gerar mapas de grau de aptidão para diferentes situações de projeto. Trata-se de uma Plataforma que baseia-se em Análise Multicritério para achar uma solução otimizada de planejamento e projeto de paisagem paramétrico, a partir do reconhecimento das variáveis mensuradas para alimentar seu funcionamento.

A Análise Multicritério é um modelo clássico em estudos urbanos e ambientais quando a intenção é entender as componentes principais que interferem em um sistema, e separá-las em camadas, seguida da sua integração avaliando o impacto de ampliação ou redução da importância de cada uma no processo da síntese (Motta et al., 2019).<sup>105</sup> A realidade é vista como a justaposição e interposição de variáveis interdependentes compondo um sistema em que qualquer modificação resulta em alterações de todo o conjunto (Moura & Jankowski, 2016). Semelhanças emergem a metodologia de Ian MacHarg no livro seminal “*Design with nature*” sobre a influência antrópica no suporte natural (biofísico) e a realização de mapas temáticos sobrepostos.<sup>106</sup>

Neste tópico, ilustramos a aplicação da Plataforma a projetos de Infraestrutura verde, em que o usuário poderá gerar mapas com o grau de aptidão de cada um dos dispositivos (ex. jardim de chuva, biovaleta e lagoa pluvial) segundo uma análise multicritério de parâmetros inseridos no algoritmo.

Na escolha dos parâmetros, sabe-se que são inúmeras as vertentes que influenciam na geração de alternativas projetuais de infraestrutura verde, desde as relacionadas às estéticas, econômicas até aos serviços ecossistêmicos, além é claro de dimensões sociais relacionadas às finalidades e do uso dos espaços. Nesse sentido, o algoritmo foi estruturado de forma a realizar inúmeras simulações que variam conforme a entrada de diferentes dados e parâmetros de drenagem urbana, ecologia, uso dos espaços livres, entre outros critérios passíveis de serem reproduzidos em mapas.

Assim, na plataforma, ao invés de especificar, por exemplo, a forma fixa de um jardim de chuva com linhas, os usuários definirão como as variáveis influenciam na sua distribuição. A

---

<sup>105</sup> A Análise Multicritério começou com a abordagem sistêmica, a partir dos anos 1950, com o biólogo Ludwig Von Bertalanffy (1975). A aplicação à geografia foi na década de 1960 com os estudos de Chorley & Hagget (1967) contribuindo para a compreensão dos modelos de análise espacial. (Moura & Jankowski, 2016). A Análises de Multicritérios é um modelo clássico em estudos urbanos e ambientais quando a intenção é entender as componentes principais que interferem em um sistema, e separá-las em camadas, seguida da promoção da integração dessas componentes avaliando o impacto de ampliação ou redução da importância de cada uma no processo da síntese (Motta et al., 2017). Para os autores ela é especialmente útil para dar apoio a mecanismos de suporte a decisão que necessitem responder onde há a maior combinação de condições que interessam a determinada questão.

<sup>106</sup> Muito embora o método apresentado por MacHarg seja uma referência no Brasil, muitas vezes é desconsiderado pelos planejadores, urbanistas e arquitetos, que acabam por utilizar apenas critérios socioeconômicos, desconsiderando a base natural e as relações ecológicas (Pellegrino et al., 2006).

partir da combinação de variáveis é possível explorar diversas configurações e arranjos espaciais dos dispositivos de IV, obtendo-se a classificação de desempenho para cada uma das alternativas segundo o parâmetro de interesse. Assim, ao escolher uma alternativa, será possível acessar uma série de informações, propriedades e relações que permaneceriam ocultas ou se perderiam em processos tradicionais de projeto, reunidas em um banco de dados integrado de projeto da paisagem. Com isso, pode-se propor inúmeras simulações para cada plano de paisagem com a alteração dos elementos, de forma a objetivar a solução mais eficiente para cada contexto.

A integração entre os parâmetros e os elementos de projeto possibilitará a avaliação do grau de resposta e adaptação das tecnologias de projeto da paisagem e, portanto, da sua inteligência e capacidade de adaptação aos diversos cenários previstos. Em outras palavras, a plataforma produzirá uma visualização simultânea dos resultados tanto de dados como de geometria, com todo o fluxo de operações recalculado e atualizado a cada nova variação de parâmetros (Celani & Vaz, 2012). Nesse nível, além da manipulação de entrada e saída de dados, do nível paramétrico, codifica-se a função que executa os comandos, permitindo uma maior liberdade de concepção.

Entretanto, além da análise multicritério focada em IV, há inúmeras outras possibilidades de uso desta funcionalidade da Plataforma para gerar grau de aptidão para assuntos de interesse em Arquitetura da Paisagem. Seguem algumas possibilidades abertas a pesquisa que podem atuar ou no tratamento dedutivo de uma operação ou no indutivo:

- » Mapas de demanda potencial de serviços ecossistêmicos versus sua capacidade de oferta com relação ao uso do solo, considerando que, no local onde os serviços são prestados eles seriam usufruídos;
- » Análise de capacidade dos espaços livres atuarem como espaços de lazer versus a demanda por tal serviço com relação à densidade populacional;
- » Localização das melhores regiões para proposição de espaços livres verdes, tanto de uso urbano quanto de conservação;
- » Localização de áreas de transição e amortecimento de fragmentos florestais.

Tais exemplos tratam de diferentes associações entre a Análise Multicritério e o LIM.

Outro exemplo da associação entre SIG (Sistema de Informação Geográfica), BIM e modelagem paramétrica são os estudos promovidos pela docente Ana Clara Mourão Moura para produção de cartografia dinâmica no que a autora denominou de “Modelagem Paramétrica de Ocupação

Territorial” (MPOT) (Moura, 2012).<sup>107</sup> Uma metodologia de cartografia dinâmica incorpora as funcionalidades de, segundo a autora, ampla interoperabilidade, condição de comunicabilidade expressiva e excelente interface gráfica para o envolvimento de diferentes utilizadores. Outro exemplo de integração nesta linha de pesquisa, é a identificação de lugares adequados ao crescimento e expansão urbana ou onde é necessária uma proteção ambiental; locais com propensões para mudança de uso da terra (Moura & Jankowski, 2016).

O desenvolvimento da modelagem paramétrica para simulação baseia-se no algoritmo do *Grasshopper* desenvolvido por Motta et al. (2019) para obter a distribuição dos elementos da Mariposa, em termos de localização, área e quantidade, gerando diferentes níveis de adequação a partir de um conjunto de valores normalizados e pesos definido pelos usuários, conforme descrito a seguir.

## Processo metodológico:

1. Definição de objetivos de projeto e planejamento da paisagem;
2. Sistematização dos dados quanti e qualitativos e cartográfica;
3. Tratamento dos mapas para análise do Grau de aptidão;
4. Definição de pesos das variáveis e comportamento da camada;
5. Integração das variáveis na Análise de Multicritério;
6. Análise dos resultados do mapa de aptidão;
7. Calibração do Sistema e retorno a fase de integração das variáveis;
8. Construção de cenários (if/then); e elaboração de propostas de intervenção.

---

<sup>107</sup> Os estudos, realizados pelo grupo de pesquisa do Laboratório de Geoprocessamento da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) objetivam melhor visualizar e compreender as diferentes legislações urbanísticas brasileiras, todas elas morfométricas em sua essência, uma vez que se apoiam em uma combinação de diferentes parâmetros urbanísticos para estabelecer o máximo potencial construtivo por unidade territorial (Moura, 2012).

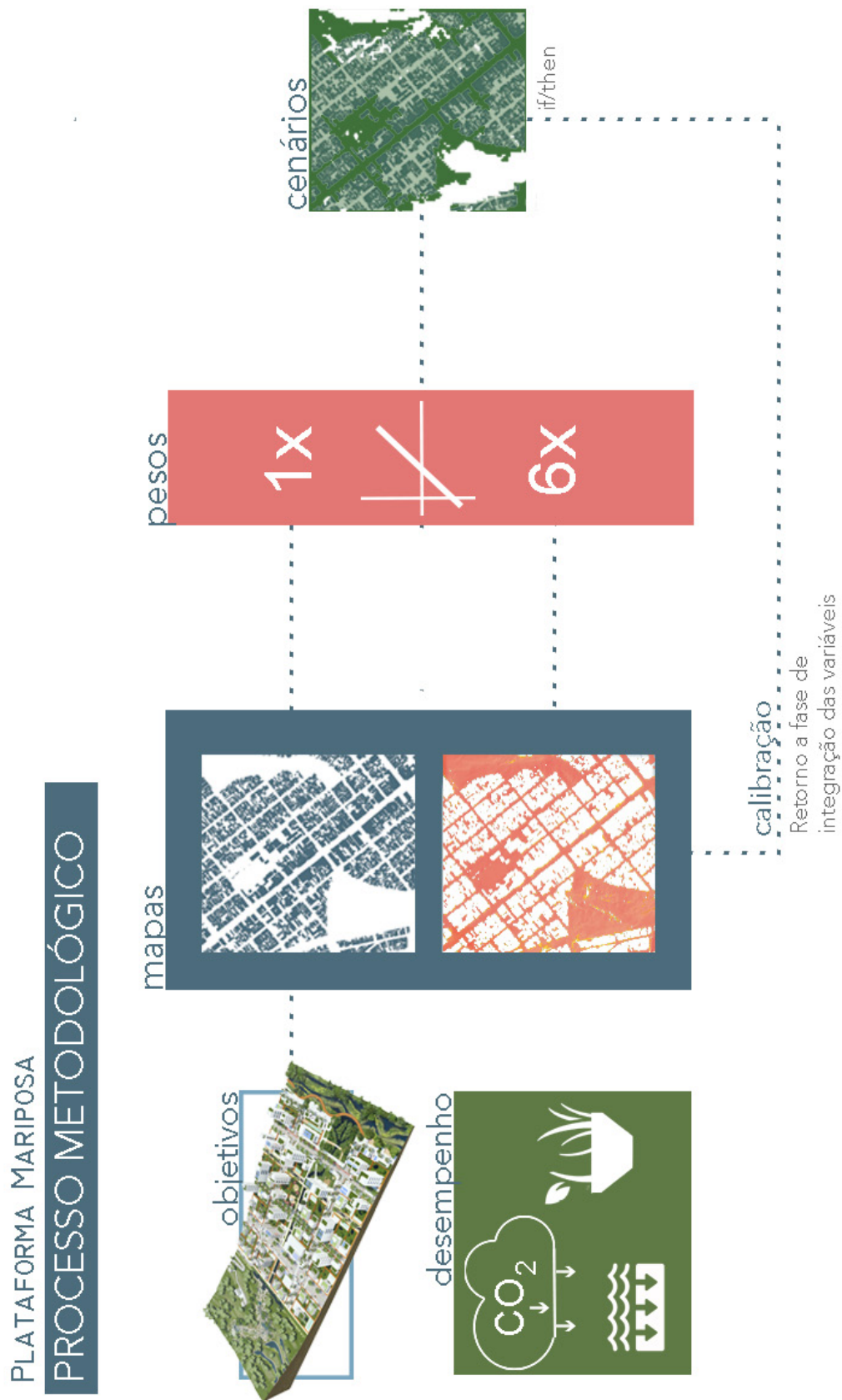


Figura 36. Síntese das etapas do processo metodológico para construção do algoritmo a partir da Análise Multicritério do Grau de Aptidão de Projetos de Paisagem da Plataforma Mariposa.

Fonte: a partir dos estudos de Moura (2003, 2012, 2016) e Motta et al. (2017, 2019).

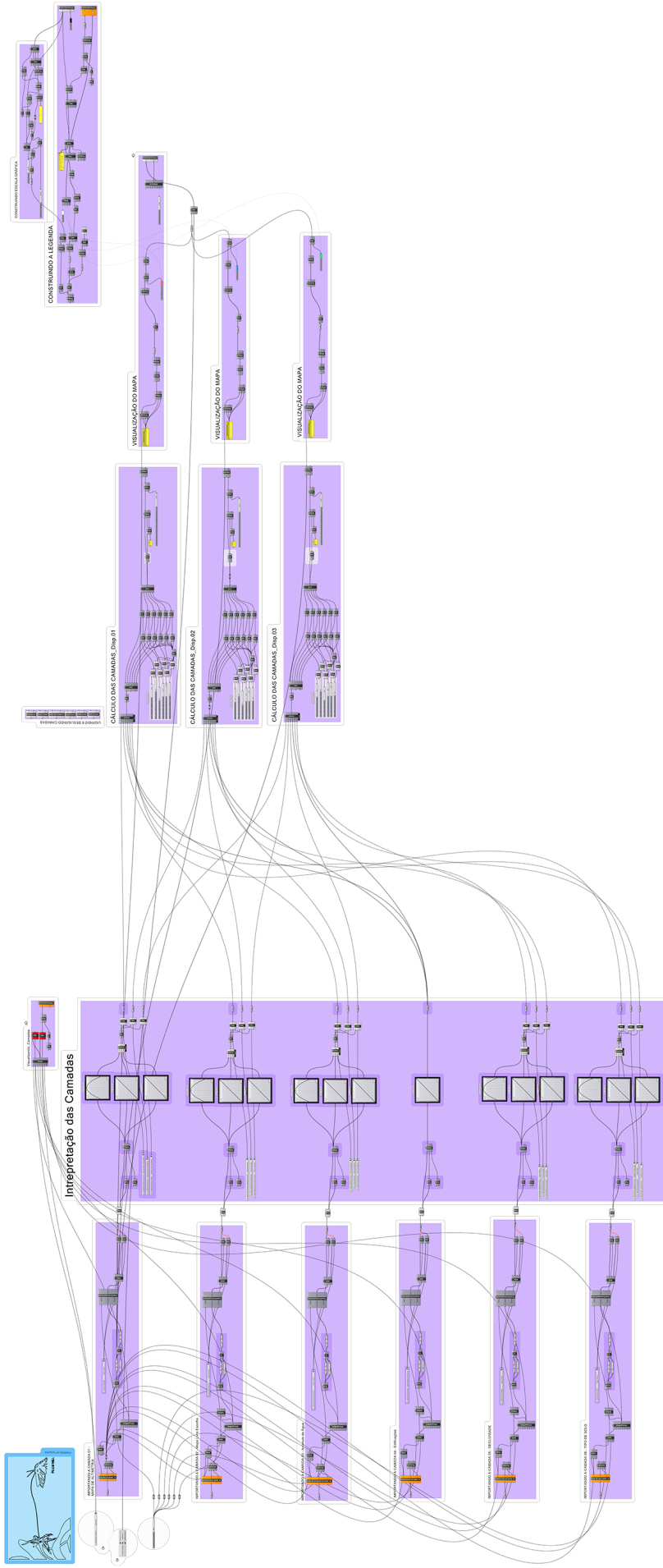


Figura 37. *Framework* do algoritmo desenvolvido pela equipe para gerar o grau de aptidão de cada um dos dispositivos de infraestrutura verde. A base do algoritmo foi desenvolvida a partir dos estudos seminais dos Professores Silvío Motta, Ana Clara Mourão Moura e Suellen Roquete Ribeiro (2017; 2019).

*Primeira coluna:* refere-se à importação dos mapas (em formato .png) e divisão dos pixels;

*Segunda coluna:* é referente a interpretação do comportamento das camadas com a leitura do mapa em uma escala de cor, por exemplo nas faixas de valores: (baixa) azul->verde->amarela->vermelho (alta), sendo que pode-se escolher um comportamento linear em relação a curva de distribuição original dos valores ou suavizar valores extremos;

*Terceira coluna:* a inserção de pesos dos mapas em escala decimal (1-10) relacionados a cada um dos dispositivos de IV e conversão do peso em proporção para cálculo do resultado da análise multicritério. O algoritmo recebe o valor em escala de importância decimal e converte para se obter a proporção em relação ao conjunto (exemplo, se 'a' recebeu 10, 'b' recebeu 10 e 'c' recebeu 10, o resultado é 33,33% para cada; mas se 'a' recebeu 8, 'b' recebeu 10 e 'c' recebeu 5, o resultado é 34,78%, 43,48% e 21,74%).

*Quarta coluna:* uma vez definido os pesos e comportamento das camadas, há a geração do mapa de aptidão a partir da análise de multicritério.

Para o desenvolvimento do algoritmo foi utilizado o *software* Rhinoceros® e o *plugin* Grasshopper®.

# DEMONSTRAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DA PLATAFORMA MARIPOSA

## MARIPOSA

### 1º. DEFINIÇÃO DO LOCAL E INSERÇÃO DOS MAPAS

Para ilustrar o funcionamento da Plataforma Mariposa foi selecionado um local no entorno da Av. Mateo Bei, Zona Leste da cidade de São Paulo (Figura 38) bacia hidrográfica do Rio Aricanduva.

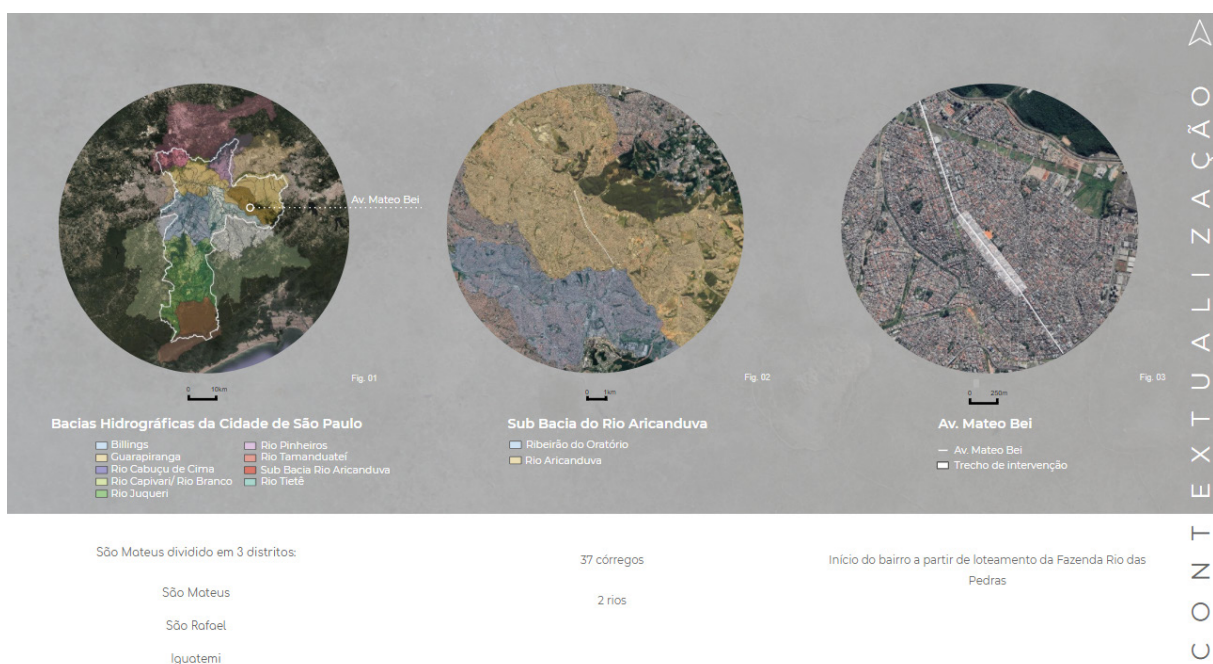


Figura 38. Contextualização da Av. Mateo Bei, Zona Leste da Cidade de São Paulo (Fonte: Ayres et al. no prelo).

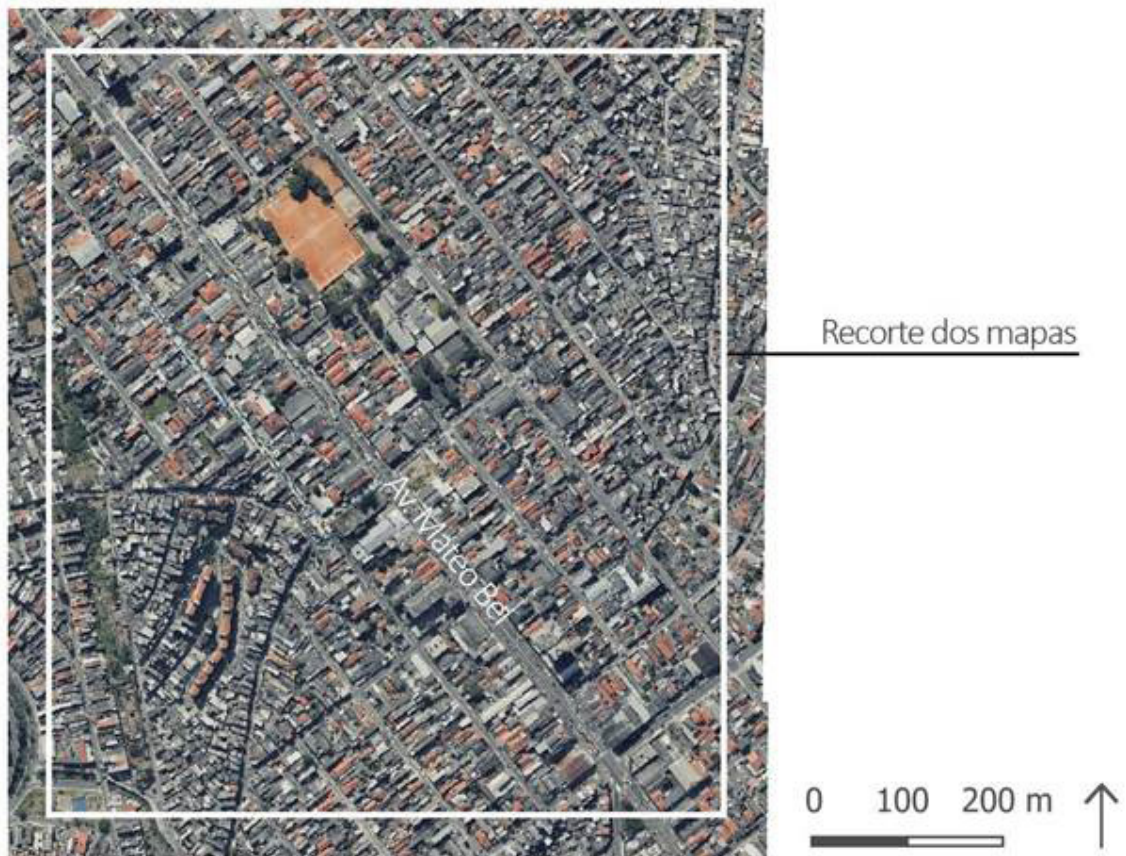


Figura 39. Localização do recorte dos mapas da Plataforma Mariposa, localizado a Av. Mateo Bei, Zona Leste da cidade de São Paulo.

Dado o caráter exploratório e inovador de que esse tese se reveste, foram contemplados, para gerar a aptidão dos dispositivos de IV, os mapas com parâmetros de eixos referentes à:

- » Geomorfologia;
- » Drenagem urbana;
- » Uso do solo.

A seleção destes três eixos de funcionalidades e seus respectivos mapas (tipo de solo, altimetria e declividade) é essencial para a definição automatizada de aptidão de qual local é recomendado para inserção de diferentes dispositivos de IV. Além destes mapas inseridos pelo usuário na Plataforma, pode-se acrescentar

um “Mapa de livre escolha” em que pode-se configurar seu peso do mapa e a escala de valores para cálculo do algoritmo. Este “Mapa de livre escolha” permite que o usuário acrescente quaisquer informações que achar pertinente ao seu projeto, no caso da Av. Mateo Bei foi gerado um mapa de radiação solar.

Os mapas devem ser inseridos em formato .bmp ou .png (compatíveis com a Plataforma online selecionada), após sua inserção eles são lidos pelo algoritmo em uma escala de cor. Por exemplo nas faixas de cores que representam os pesos e valores numéricos normatizados (1-10):

(baixa) azul > verde > amarela > vermelho (alta).

Desta forma, cada pixel do mapa recebe um valor em uma distribuição de ocorrência segundo seu eixo de forma a possibilidade comparar as variáveis para gerar um mapa de grau de aptidão. Sendo que pode-se escolher um comportamento linear em relação a curva de distribuição original dos valores ou suavizar valores extremos.

Todos os dados ou camadas devem ser padronizados. Isso significa que eles devem ser organizados na mesma escala de representação espacial (tamanho da célula ou pixel que estabelece a unidade territorial de integração) e na mesma escala de valores (com os valores na mesma razão da escala numérica) (Moura & Jankowski, 2016).

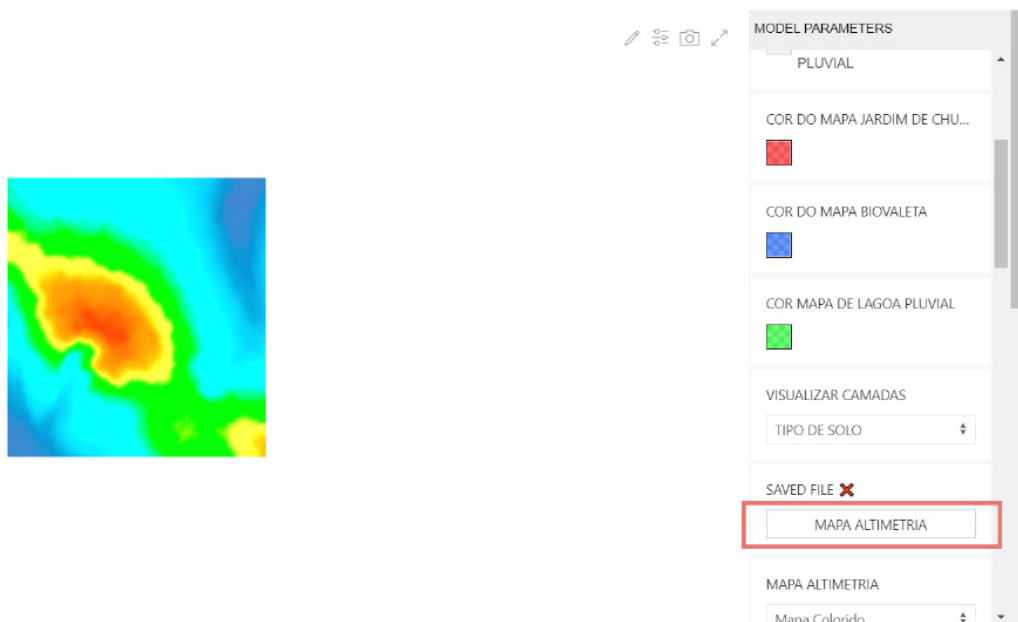


Figura 40. A Plataforma Mariposa permite importar diferentes escalas e resolução de mapas. Para tanto o usuário deverá produzir os MAPAS (em formato .bmp, .jpeg ou .png) de altimetria, escoamento superficial: acúmulo de água e inundação, edificações, declividade, tipo de solo e “Mapas de Livre escolha”. Em “Select file” poderá carregar os MAPAS e selecioná-lo na pasta do seu computador (exemplo: para selecionar um novo MAPA ALTIMETRIA e selecione o arquivo “ALTIMETRIA” na pasta do seu computador).

ESCALA GRÁFICA

100

DIMENSÃO DA IMAGEM X

800

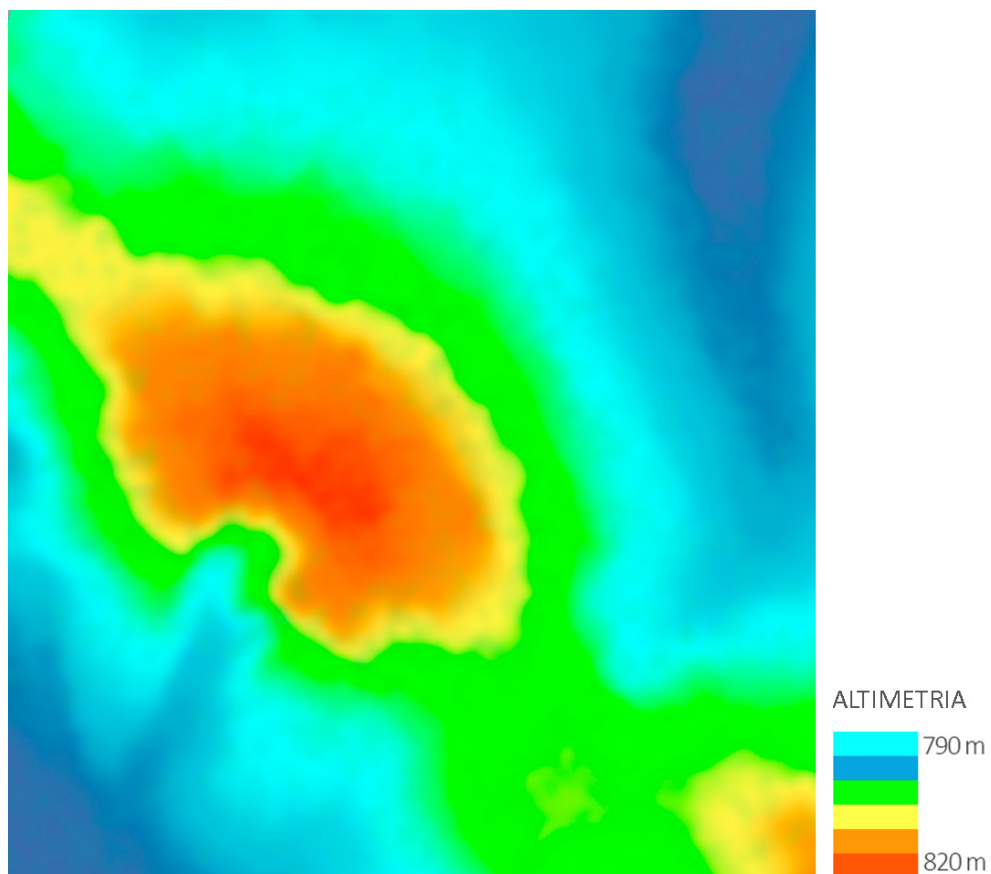
RESOLUÇÃO DA IMAGEM

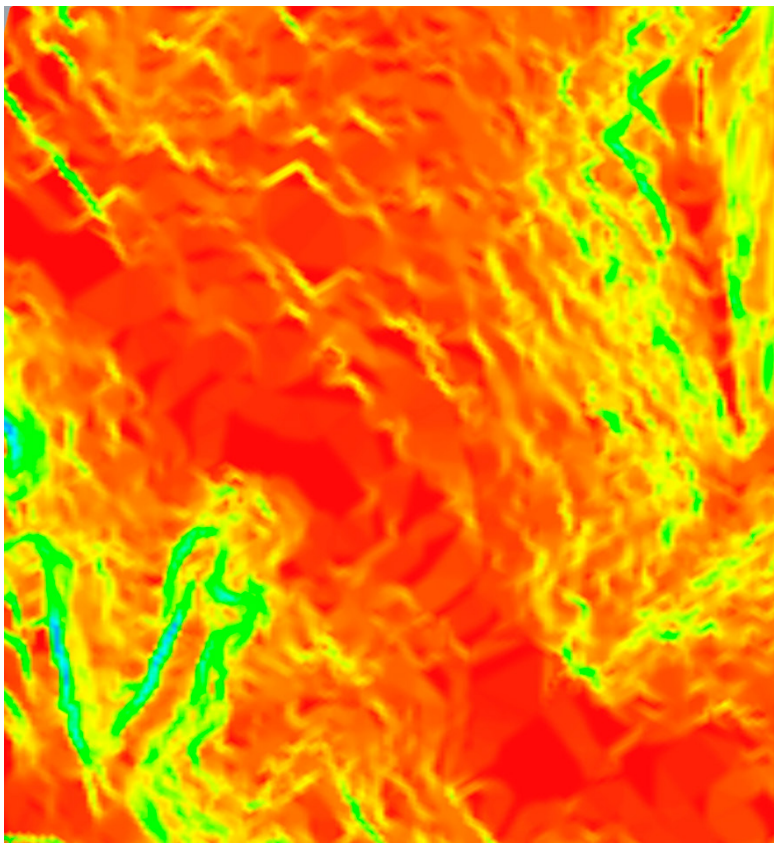
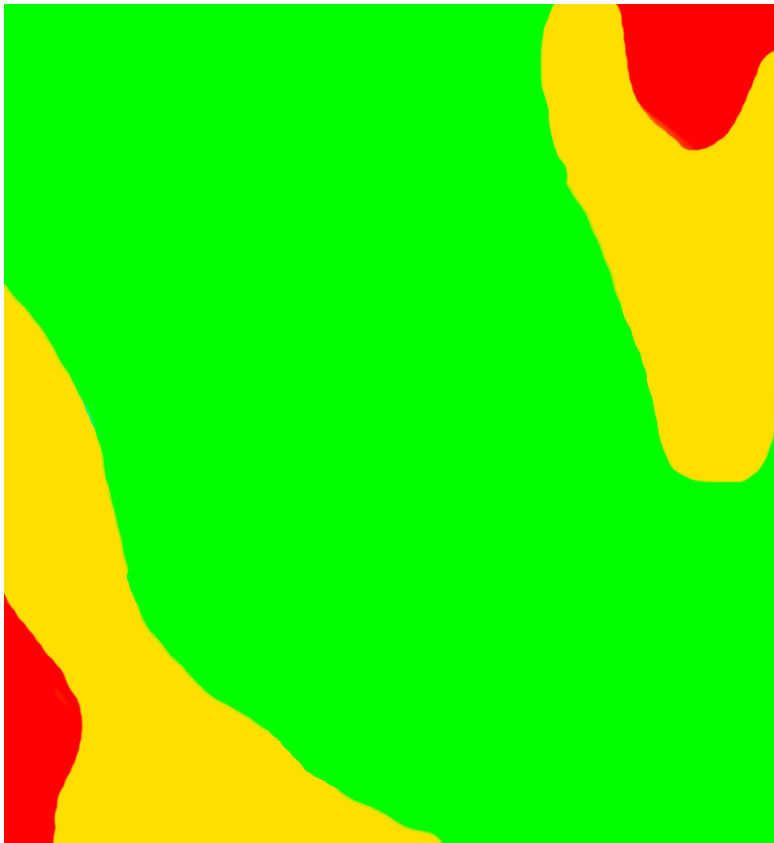
0,1

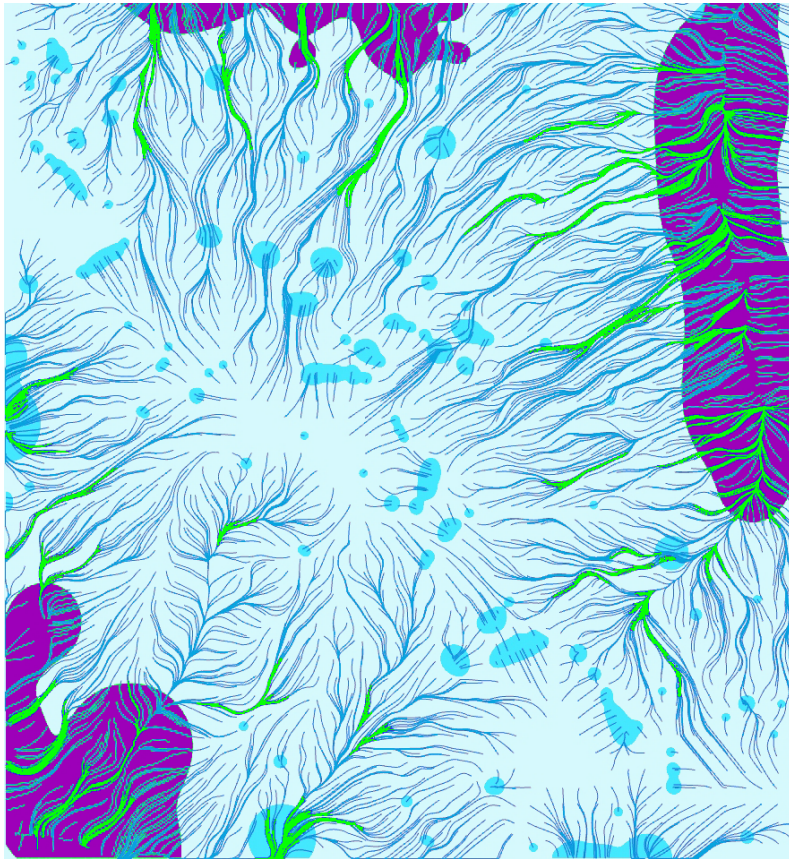
OPACIDADE DOS MAPAS

0,5

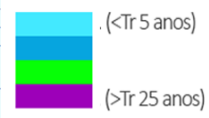
Figura 41. Pode-se carregar qualquer tamanho de mapa, contanto que todos tenham o mesmo tamanho e resolução. Sendo que, conforme o tamanho do mapa pode-se modificar a definição da imagem (resolução) e sua escala gráfica.







ESCOAMENTO SUPERFICIAL



ELEMENTOS CONSTRUÍDOS



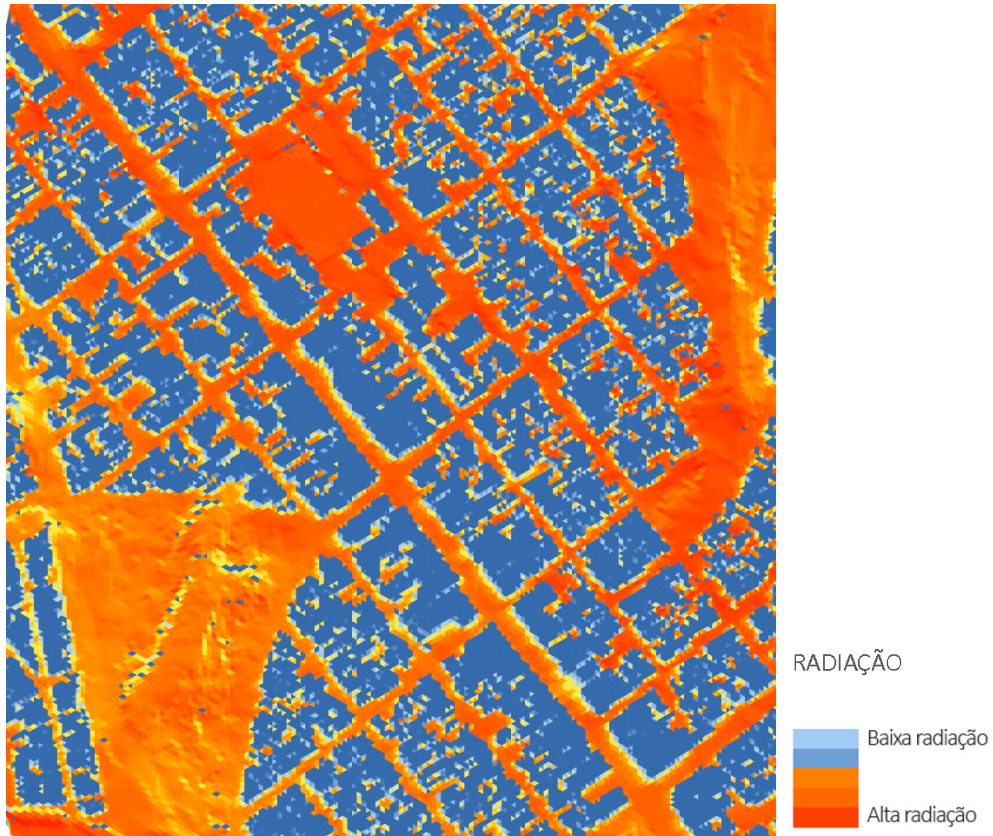


Figura 42. Mapas de altimetria, tipo de solo, declividade, escoamento superficial, edificações e radiação solar da região da Av. Mateo Bei.

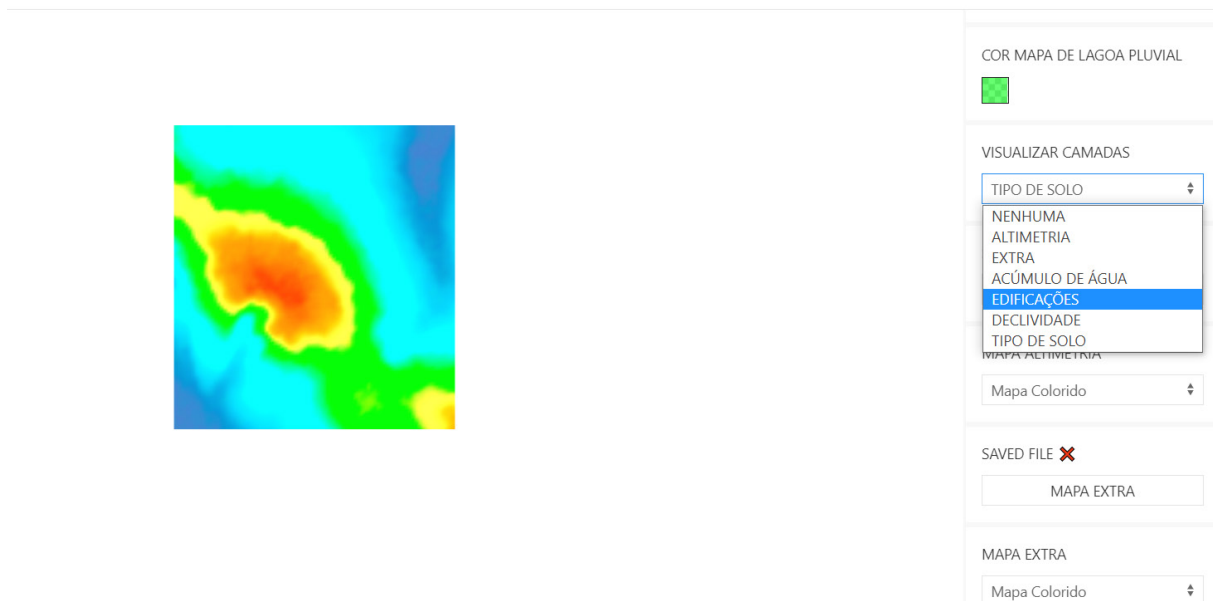


Figura 43. Mapas da região da Av. Mateo Bei na interface da Plataforma Mariposa.

Tabela 10. Para alimentar o algoritmo da Plataforma Mariposa devem ser gerados e carregados mapas de altimetria, escoamento superficial (acúmulo de água e inundação), edificações, declividade e tipo de solo, referentes aos eixos Geomorfologia, Hidrologia e drenagem urbana e Uso do solo, com valores normalizados de 0-1. A seleção destes três eixos e seus respectivos mapas (tipo de solo, altimetria e declividade) é essencial para a definição automatizada de aptidão de qual local é recomendado para inserção de diferentes dispositivos de IV. Além destes cinco mapas inseridos pelo usuário na Plataforma, pode-se acrescentar um “Mapa livre escolha” em que pode-se configurar seu peso do mapa e a escala de valores para cálculo do algoritmo.

Eixo	Mapas	Detalhes
Geomorfologia	Altimetria	A análise da altimetria do terreno contribui para determinar quais dos dispositivos são eficazes para cada cota em uma rede sistêmica. Dentro da altimetria, em cotas intermediárias, dispositivos de infiltração, como jardins de chuva, são mais eficazes que em fundos de vale, em vista do tipo de solo e permeabilidade do terreno.
	Tipo de solo	Para permitir a infiltração de águas pluviais, é necessário estudar a condutividade hidráulica à saturação no local do projeto. Por exemplo, solos com alta capacidade de percolação são ideais para dispositivos que atuam principalmente na infiltração de água. Já em solos com baixa taxa de infiltração podem ser usados dispositivos estanques e com o objetivo de fitorremediação da água. Neste tipo de solução, pensada de forma estanque, a função de amortecimento fica restrita, principalmente, a camada drenante mineral. Portanto, não obstante todos os dispositivos podem ser utilizados, independente da permeabilidade do solo, deve ser considerada a sua estanqueidade no sistema e a função de amortecimento.
	Declividade	Em alta declividade, onde existe risco de erosão e deslizamento de encostas, é necessário utilizar soluções, como biovaletas, que trabalham com contenção e tratamento do solo, de forma a proteger os taludes. Tais soluções podem ser utilizadas em variadas escalas, levando-se em conta a altura das barragens e dissipação de energia, bem como os custos para sua implantação. Ainda, a declividade influencia na escolha do dispositivo, uma vez que vias com inclinação maior que 8% não permitem o tempo necessário para a infiltração de jardins de chuva.
Drenagem urbana	Escoamento superficial	No que tange à infraestrutura das cidades para o controle de pequenas vazões, usualmente referentes a chuvas de baixo tempo de recorrência (por exemplo, Tr. 5 anos), os dispositivos de IV (jardins de chuva e biovaletas) difundidas no âmbito da bacia são eficientes, e ainda tem o potencial de proporcionar simultaneamente benefícios ecossistêmicos e paisagísticos. Para chuvas com tempos de recorrência maiores (TR 50 ou 100 anos), conhecidas por produzirem maiores volumes de água, bacias vegetadas e/ou reservatórios com usos múltiplos são ideias interessantes para soluções de macrodrenagem das cidades. Neste eixo deve-se considerar o efeito de borda entre as ocorrências, pois é possível que haja redução gradual por influência da vizinhança. Se a vizinhança de um pixel é predominantemente a informação “ausência” do elemento, a fronteira será mais abrupta, mas se a vizinhança é composta também por outros pixels com “presença” do elemento, a fronteira será mais suavizada em função da composição da vizinhança (Moura & Jankowski, 2016).
Uso do solo	Edificações	Esta camada trata da definição de locais de restrição para implantação de dispositivos de IV, considerando a disponibilidade de espaço para implantação dos dispositivos.

## 2º Configuração da plataforma: peso dos mapas e comportamento das camadas

Tanto o peso aritmético dos mapas, quanto o comportamento da camada vem pré-configurado no algoritmo interno à Plataforma Mariposa, mas ambos podem ser modificados conforme os objetivos do projeto. Assim, o algoritmo foi construído de tal forma que permite atribuir diferentes pesos para os mapas e comportamento da camada, gerando diversas soluções para cada dispositivo (jardim de chuva, biovaleta e lagoa pluvial).

Do mesmo modo, o tomador de decisão pode manifestar seu juízo de valor, ao longo do processo de projeto, sobre os pesos relativos à análise multicritério. Para tanto, o usuário poderá estruturar um modelo de análise, atribuindo diferentes pesos a cada eixo, analisando-os separadamente e em níveis agregados de acordo com a particularidade e objetivo de cada projeto. Segundo Bonham-Carter (1994) pode-se definir duas formas para estabelecer os pesos das variáveis:

» **Data-driven evaluation:** a decisão é tomada por processos de avaliação dos comportamentos dos dados. Conforme exemplifica Motta et al. (2017) são exemplos os processos de mineração de dados, nos quais são definidos alvos no território onde aconteceu a conformação de um potencial, e a partir deles são investigados os comportamentos das variáveis para identificar quais delas de fato interferiram na composição e hierarquizar as mais significativas (Castro & Moura, 2010). Para sua validação, segundo os autores, pode-se comparar uma amostra de registros de ocorrência do fenômeno investigado com as áreas indicadas no mapa com a tendência de eles acontecerem.

» **Knowledge-driven evaluation:** a decisão é baseada em conhecimento de diferentes especialistas sobre o fenômeno e local do projeto. Existem diferentes métodos de consultas a especialistas que favorecem a construção de uma maximização de consenso sobre a importância das variáveis (Motta et al. 2019, destacam-se o método de Saaty denominado de “Análise Hierárquica de Pesos” (Saaty, 1980) – cujo processo visa à definição do peso de cada plano de informação segundo a sua contribuição relativa para o conjunto de planos (Moura & Jankowski, 2016) – e o método Delphi (Linstone & Turoff, 2002) – com o objetivo obter a melhor solução a partir de um consenso entre os envolvidos. A justificativa é que as decisões dos grupos estão mais próximas da realidade, sendo mais precisas que simples estudos individuais. O método é composto por questionários aplicados a um conjunto de especialistas em rodadas intercaladas com feedbacks, que visam à convergência das opiniões expressas pelos participantes (Moura & Jankowski, 2016).

Uma forma de validação e calibração desta análise seria o *visual-driven evaluation*, a partir da percepção que o usuário tem da realidade investigada ao testar diferentes possibilidades de composição e sua visualização cartográfica (Motta et al., 2019). A ampliação da visualização tanto no tratamento gráfico da informação como nas simulações de possibilidades de pesos das variáveis na Análise de Multicritérios favorece que, por *visual-driven*, o usuário calibre a composição que represente a realidade percebida, ou mesmo investigue quais seriam as consequências de se dar maior importância a uma variável (Motta et al., 2017). Para os autores, esta última simulação, em essência, é base para a escolha de políticas e estratégias de planejamento territorial.

No caso da Plataforma Mariposa, pode-se usar ambas as formas, *Data-driven evaluation* e *Knowledge-driven evaluation*, uma vez que os pesos são previamente estabelecidos por estudos prévios de comportamento de drenagem urbana, mas ainda, abre-se a possibilidade para mudança dos pesos conforme opinião e conhecimento de especialista e comunidade interessada no projeto. Abrindo a possibilidade de que a equipe teste e visualize diferentes combinações de pesos e visualize os mapas por cartografia dinâmica.

Em síntese, dentro da cartografia dinâmica, em uma lógica de visualização *if-then* é permitido ao usuário entender, pelo processo apresentado, o que significa escolher um conjunto de variáveis, e o que significa dar prioridade a uma em relação à outra, em uma política de escolha de priorização de ações urbanas (Motta et al., 2017). Trata-se de um conhecimento baseado na experiência do usuário com a Plataforma, uma vez que, se ele altera um parâmetro, automaticamente vê o resultado da modificação.

Desta forma, o usuário poderá estabelecer novos parâmetros dentro dos seus mapas dentro da interface da Plataforma, ampliando a sua eficiência, atendendo às necessidades de um termo de compensação ambiental, de interesses de uso de áreas para diversos fins. Em inúmeros eixos que poderão estimar o efeito positivo no projeto, por exemplo, de regulação de gases do efeito estufa, em termos de fixação de carbono, redução da poluição do ar e da água, a depender de quais mapas forem adicionados ao projeto, tornando-o dinâmico.

Na Plataforma Mariposa os pesos dos mapas (normalizados em uma escala de 1-10, em termos de relevância para cada um dos dispositivos) se referem à relação entre os mapas, de forma que sua combinação irá gerar o grau de aptidão entre os dispositivos de IV. O processo de integração das camadas é feito por álgebra de mapa para cada um dos dispositivos de IV (jardim de chuva, biovaleta, lagoa pluvial):

**Peso x“altimetria”**

+

**Peso x“tipo de solo”**

+

Peso x“declividade”

+

Peso x“Escoamento superficial”

Por exemplo, pode-se configurar pesos maiores para o mapa de declividade e menores para o de altimetria, se entender que este dado é mais relevante para gerar a aptidão de jardins de chuva em sua bacia hidrográfica. A possibilidade de variação de pesos das variáveis na Análise de Multicritérios favorece que, por *visual-driven*, o usuário calibre a composição que represente a realidade percebida, ou mesmo investigue quais seriam as consequências de se dar maior importância para uma variável (Motta et al., 2019).

## PESOS: RELAÇÃO ENTRE MAPAS

- » O usuário pode escolher o peso de cada mapa para a simulação e sua combinação gera o grau de aptidão entre os dispositivos. O algoritmo recebe o valor em escala de importância decimal e converte para se obter a proporção em relação ao conjunto (exemplo, se ‘a’ recebeu 10, ‘b’ recebeu 10 e ‘c’ recebeu 10, o resultado é 33,33% para cada; mas se ‘a’ recebeu 12, ‘b’ recebeu 10 e ‘c’ recebeu 5, o resultado é 44,5%, 37% e 18,5%, respectivamente);
- » O peso aritmético de cada um dos mapas (em termos de relevância para cada um dos dispositivos) vem pré-configurado no algoritmo interno à Plataforma Mariposa, conforme detalhado na Tabela 10.
- » O algoritmo foi estruturado para permitir que os pesos sejam modificados.
- » Na Plataforma online está aberta a possibilidade de modificar os pesos do “Mapa de livre escolha (extra)”. Por exemplo, pode-se configurar pesos maiores para este Mapa, se entender que este dado é mais relevante para gerar a aptidão de lagoas pluviais em sua bacia hidrográfica.

## COMPORTAMENTO DA CAMADA PARA GRAU DE APTIDÃO

- » CAMADA: o algoritmo define os valores de cada pixel na camada, considerando o gradiente de cores ou luminância. A leitura do mapa ocorre em uma escala de cor. Por exemplo nas faixas de valores: (baixa) azul > verde > amarela > vermelho (alta);
- » O usuário pode escolher se a simulação dos dispositivos vai priorizar valores baixos, médios ou altos. Desta forma, ele pode optar pelo padrão já previsto no algoritmo e disponível online ou ainda definir um comportamento para cada camada. Por exemplo: na simulação de jardins de chuva, no mapa de declividade são priorizados os pixels da cor verde referente a valores de declividade suave ondulado (até 8%) ou em biovaletas são priorizados os azuis e roxos (acima de 8%).

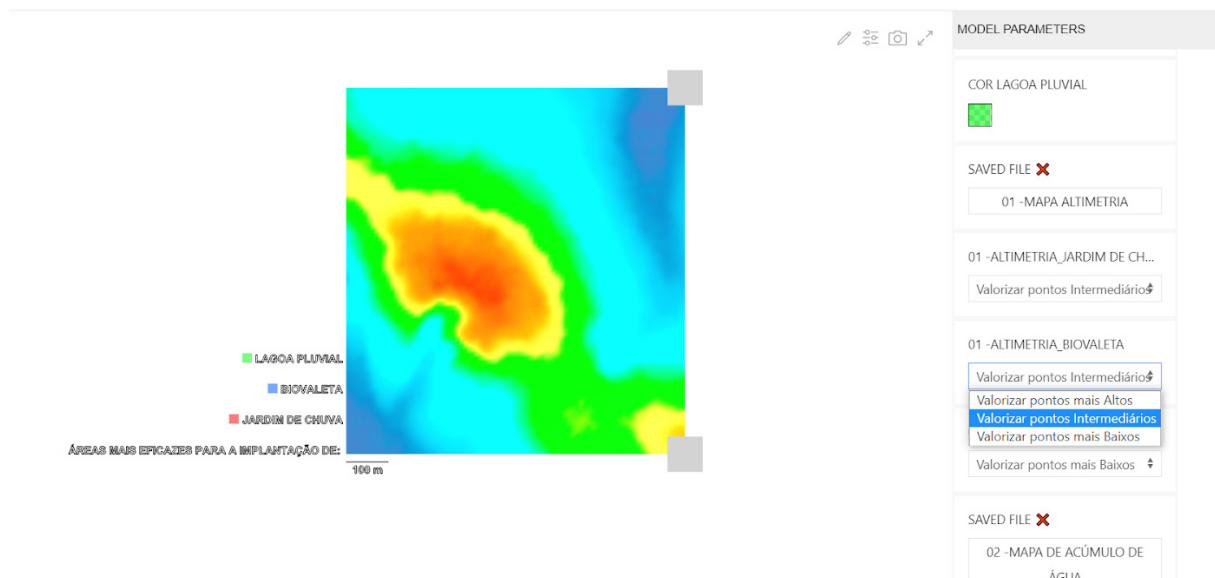


Figura 44. É possível modificar o comportamento das camadas da Plataforma Mariposa. Por exemplo: na simulação de biovaleta, no mapa de altimetria pode-se priorizar diferentes pixels referentes a valores baixos, intermediários e altos das cotas de nível.



Figura 45. É possível modificar o comportamento das camadas da Plataforma Mariposa. Por exemplo: na simulação de jardins de chuva, no mapa de declividade são priorizados os pixels da cor verde referente a valores de declividade suave ondulado (até 8%) ou em biovaletas são priorizados os azuis e roxos (acima de 8%). Entretanto, o usuário poderá modificar os valores para o cálculo do grau de aptidão de dispositivos de infraestrutura verde.

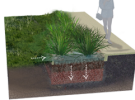
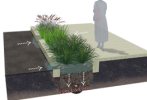

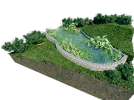
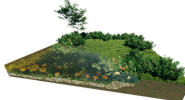
Tabela II. Pesos dos mapas (normalizados de 0-10) e comportamento das suas camadas para definição do grau de aptidão para cada dispositivos de IV: Jardim de chuva, Biovaleta e lagoa Pluvial. O Comportamento da Camada (CM) refere-se a faixa de valor preferencial para cada dispositivo.<sup>108</sup> Os pesos foram pré-definidos com base no método Delphi em duas rodadas de decisão com pesquisadores da área de infraestrutura verde, não obstante possam ser modificados pelo usuário.

MAPA/Dispositivo de IV	Jardim de chuva	Biovaleta	Lagoa Pluvial
<b>ALTIMETRIA</b> 	Peso do mapa: 8 CM: cotas intermediárias (cor verde e amarela)	Peso do mapa: 2 CM: cotas intermediárias e elevadas (cor laranja e vermelho)	Peso do mapa: 5 CM: cotas baixas (cor ciano e azul)
<b>ESCOAMENTO SUPERFICIAL DE ÁGUAS PLUVIAIS E INUNDAÇÃO</b> 	Peso do mapa: 1 CM: região de acúmulo em Tr <5 anos (cor azul claro)	Peso do mapa: 1 CM: região de acúmulo em Tr <5 anos (cor azul claro, ciano e verde)	Peso do mapa: 8 CM: região de acúmulo em Tr >5 anos (cor roxo)
<b>EDIFICAÇÕES (em preto)</b>	Peso do mapa: 5 CM de Restrição: não possível é alocar dispositivos em áreas edificadas		
<b>DECLIVIDADE</b> 	Peso do mapa: 10 CM: maior para áreas planas com até 8% de declividade (cor verde)	Peso do mapa: 8 CM: maior para áreas suave ondulado a escarpado (cor azul, ciano e roxa)	Peso do mapa: 8 CM: maior para áreas planas com até 8% de declividade (cor verde)
<b>TIPO DE SOLO</b> 	Peso do mapa: 1 CM: maior para sedimento terciário (verde) permeab. do solo e capacidade de infiltração de água no solo (mm)	Peso do mapa: 2 CM: maior para sedimento terciário e granitoides (cor amarela e verde)	Peso do mapa: 2 CM: maior para planície aluvial (cor vermelha)
<b>MAPA DE LIVRE ESCOLHA</b> Sugestão: mapa de radiação 	Peso do mapa: a ser definido pelo usuário CM: faixas de valores: (baixa) azul->verde->amarela->vermelho (alta).		

<sup>108</sup> Esses parâmetros tiveram seu embasamento subsidiado por trabalhos desenvolvidos pela equipe deste projeto.

Tabela 12. Sugestões de comportamentos para as camadas de diferentes mapas de livre escolha (exemplo: capacidade de infiltração, declividade, carga de sedimentos, sistema viário, controle de vazão/capacidade de interceptação de águas pluviais) com relação a diferentes dispositivos de IV. Verde: maior potencial; Amarelo: neutro; Laranja: inadequado. Os comportamentos foram pré-definidos com base no método Delphi em duas rodadas de decisão com pesquisadores da área de infraestrutura verde, chegando a um consenso.

(Fonte: Sandre et al., no prelo).

DISPOSITIVOS DE INFRAESTRUTURA VERDE			Jardim de chuva	Canteiro pluvial	Biovaleta	Terraço de chuva	Lagoa pluvial	Reservatório anfibio
CAMADA DE INFORMAÇÃO								
G E O M O R F O L O G I A	Capacidade de infiltração segundo tipo de solo	solo infiltrante (10 <sup>-3</sup> e 10 <sup>-6</sup> m/s)	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
		solo não infiltrante (10 <sup>-1</sup> )	Amarelo	Amarelo	Verde	Verde	Amarelo	Verde
	Declividade	0 a 8%	Verde	Verde	Verde	Laranja	Verde	Verde
		> 8%	Laranja	Laranja	Verde	Verde	Laranja	Amarelo
	Carga de sedimentos	aporte de sólidos baixo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
		aporte de sólidos elevado	Laranja	Amarelo	Laranja	Amarelo	Verde	Verde
L O C A L I Z A Ç Ã O	Uso do solo e Sistema viário	Calçada	Laranja	Verde	Verde	Verde	Laranja	Laranja
		Rotatórias	Laranja	Amarelo	Verde	Laranja	Verde	Laranja
		Esquinas	Laranja	Verde	Laranja	Laranja	Laranja	Laranja
		Canteiro central	Laranja	Verde	Verde	Verde	Laranja	Laranja
H I D R O L O G I A	Controle de vazão / capacidade interceptação escoamento superficial	Micro drenagem Tr 10-20 anos	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Laranja
		Macro drenagem Tr 100 anos	Laranja	Laranja	Laranja	Laranja	Verde	Verde

### 3º VISUALIZAÇÃO DO RESULTADO

Após a configuração dos pesos dos mapas e comportamentos das camadas, o algoritmo faz a simulação para gerar mapas com graus de aptidão para cada um dos dispositivos de infraestrutura verde: jardim de chuva, biovaleta e lago pluvial. Neste momento é definida a localização dos dispositivos a partir da integração entre as diferentes camadas do passo anterior.

Desta forma, torna-se possível prototipar o funcionamento da plataforma e testar como o usuário iria interagir com ela, quais tipos de dados devem ser utilizados como Input e quais dados a ela deverá exportar.

Em síntese, segundo Motta et al. (2017), o resultado da integração de variáveis é um mapa que indica a distribuição espacial de valores, em função do motivo de investigação.

Uma vez obtido o resultado da Análise de Multicritérios, segundo Motta et al. (2017), há estudos para avaliar o nível de incerteza contido nos resultados, como os modelos baseados em análise de sensibilidade, conhecidos como SASE – *Sensitivity Analysis to Suitability Evaluation*, (Moura & Jankowsky, 2016). Para os autores, a avaliação das incertezas é etapa fundamental na aceitação de um resultado de integração de variáveis, pois ela demonstra espacialmente as combinações de onde foi indicado como alto potencial e há certeza do resultado, mas demonstra também onde foi registrado como de alto potencial mas há incerteza no resultado, o que exige maior aprofundamento nas investigações.

Um dos processos que ajudam nessa avaliação é o Monte Carlo, que consiste em simular diferentes possíveis pesos para as variáveis, dentro de limites de máximo e mínimo em uma faixa de valores (Moura & Jankowsky, 2016). As autoras trazem importantes considerações para validação do resultado:

- » Que os valores mínimo e máximo sejam obtidos a partir da avaliação do conjunto de pesos indicados por especialistas;
- » Que seja utilizado o desvio padrão dos pesos sugeridos pelos especialistas;
- » E no caso de se optar por uma forma mais robusta de indicação de limites de pesos, empregar a lógica da função de densidade de probabilidade.

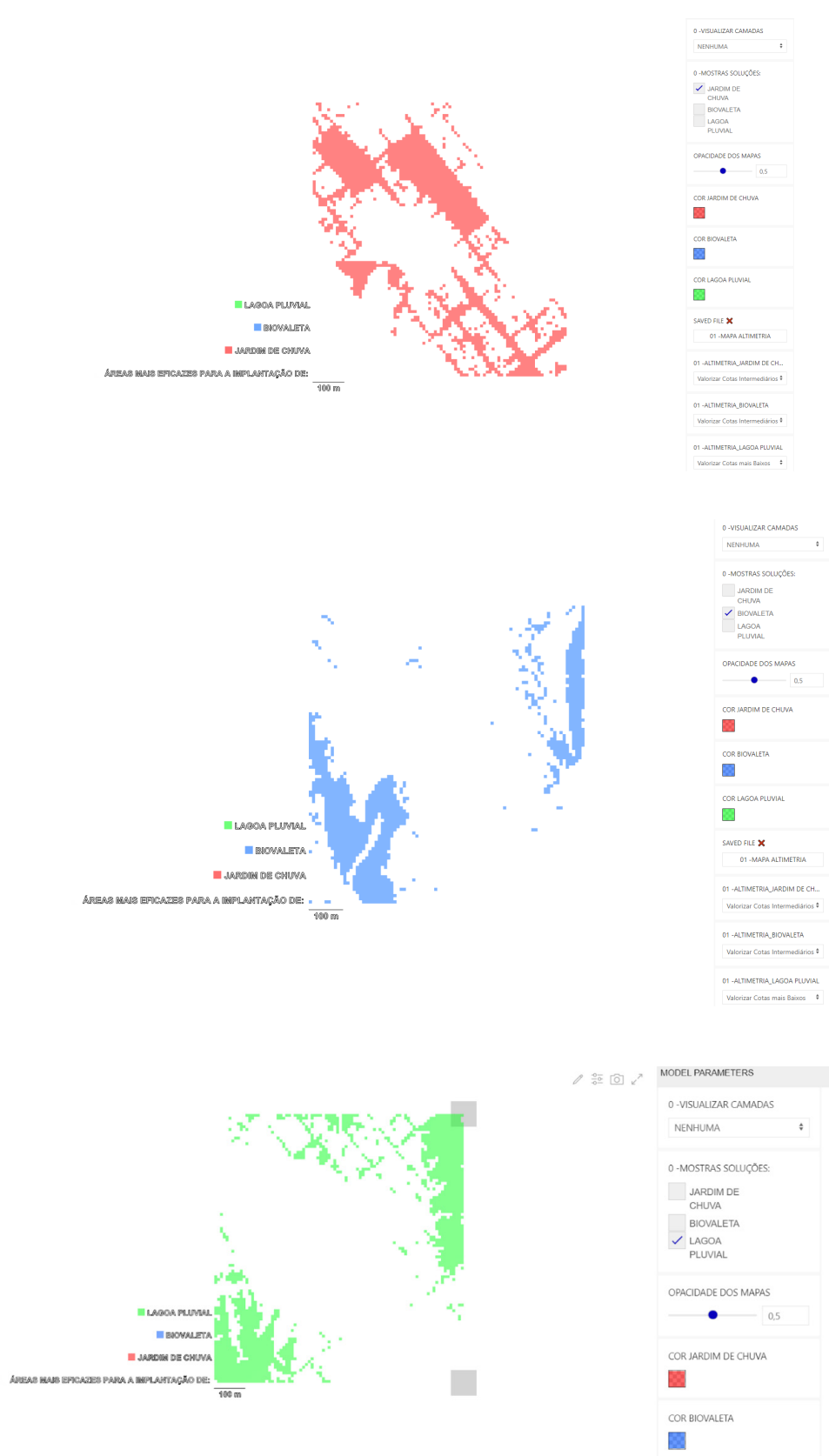


Figura 46. Após a definição do comportamento de todas as camadas (altimetria, escoamento superficial e acúmulo de água, edificações, declividade, tipo de solo e mapa livre escolha) gera-se o grau de aptidão para as diferentes soluções e dispositivos de infraestrutura verde (jardins de chuva, biovaleta, lagoa pluvial).

Em vista destas considerações, futuramente, vislumbra-se utilizar a Plataforma Mariposa em processos participativos de projeto. Pois, a partir dessa possibilidade de modificação online dos dados e pesos, pode-se inferir que, além do suporte à proposição projetual, a Plataforma Mariposa contribui, também, no suporte à opinião, uma vez que alguns dos parâmetros da ferramenta podem ser modificados em tempo real contribuindo aos processos participativos e a democratização na fase propositiva. Esta abordagem atua em uma primeira aproximação da Plataforma ao conceito de Geodesign<sup>109</sup>, enquanto um *planning support system*, ao envolver pessoas num processo decisório facilitado pela geovisualização. Acredita-se que este processo deve se basear num processo deliberativo, pautado na troca de argumentos técnicos e que representem os desejos e preferências das comunidades envolvidas – é condição de validade do processo que o Poder Público zele por essas dinâmicas deliberativas e consultivas em face da sociedade civil.

Por exemplo, o uso pode-se dar em oficinas qualitativas para captação da relação dos administradores, especialistas, políticos e líderes comunitários com o projeto, em questionários semiestruturados dentro da Plataforma. Cabe destacar que os atores sociais fornecem opiniões que contribuem a definição do grau de aptidão que, não tem necessariamente uma base empírica, não obstante sejam fruto da experiência subjetiva.

Outra forma de se obter os resultados confiáveis para a análise multicritério é o estabelecimento de uma função objetiva para maximizar ou minimizar uma determinada solução, dependendo do objetivo do problema. Assim, não são os usuários quem definem o peso das variáveis, mas sim, qual a partir do valor desejado. São simuladas diferentes condições de pesos dos parâmetros até que um valor mínimo estabelecido para a variável final seja atingido. Este processo guarda semelhanças com o projeto generativo, explanado no capítulo 3.

---

109 Segundo Moura (2019), o Geodesign é um método baseado nas potencialidades dos Sistemas de Informações Geográficas, que permite realizar um processo colaborativo de decisões na forma de codesign, ou seja, na construção coletiva de um plano de ideias para um território. Para conceituação de Geodesign ver Moura (2019) e Steinitz (2012).

## Modelo tridimensional de jardim de chuva

Esta funcionalidade da Plataforma Mariposa permite ao usuário parametrizar variáveis do jardim de chuva e visualizar o resultado tridimensionalmente. De forma que pode-se inferir, por exemplo, a partir da modelagem do formato e tamanho dos jardins de chuva em calçadas seus dados de desempenho quanto à captação e retenção das águas pluviais. De tal maneira que, conforme mudam-se as variáveis da Plataforma, o sistema calcula o volume de água retido nas camadas do dispositivo.

O modelo permite modificar:

- » Tamanho: largura e comprimento;
- » Alvenaria: espessura;
- » Lâmina d'água retida acima do solo: altura
- » Substrato para plantio, areia, britas e macadame hidráulico: espessura
- » Manta geotêxtil: espessura
- » Rochas: quantidade e posição;
- » Arbustos 01 e 02: quantidade e distribuição.

# DEMONSTRAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DA PLATAFORMA MARIPOSA

## 1º: VISUALIZAÇÃO TRIDIMENSIONAL DO JARDIM DE CHUVA



Figura 47. Visualização tridimensional de um jardim de chuva com dados de desempenho associados ao tamanho do dispositivo e das suas camadas: substrato para plantio, manta geotêxtil (facultativa), brita graduada e macadame hidráulico.

Tabela 13. Cálculo do volume armazenado nas camadas do jardim de chuva.

	Profundidade (m)	Área unitária (m <sup>2</sup> )	Porosidade da camada	Volume de armazenamento de água no sistema (m <sup>3</sup> )
Jardim de chuva	1,5	1	0,52	0,78
Lagoa pluvial	3	100	0,9	270

O cálculo do volume armazenado baseou-se no seguinte método:

$$V_{arm} = \sum A_{dispositivo} \cdot h_{camada} \cdot \Phi_{camada} \quad (4)$$

onde  $A_{dispositivo}$  é a área superficial da LID,  $h_{camada}$  e  $\Phi_{camada}$  são a altura e a porosidade de cada uma das camadas.

---

Fonte: Gonçalves et al., 2021.

## 2º: MODIFICAÇÃO DO TAMANHO DO JARDIM DE CHUVA

Com a mudança do tamanho, o sistema calcula o novo volume de água retido nas suas camadas.



---

Figura 48. A plataforma permite modificar o tamanho do jardim de chuva e espessura das suas camadas, bem como o número de espécies arbustivas.

### 3º: MODIFICAÇÃO DA CAMADAS DO JARDIM DE CHUVA

Com a mudança das camadas (ex. terra adubada + areia), o sistema calcula o novo volume de água retido.

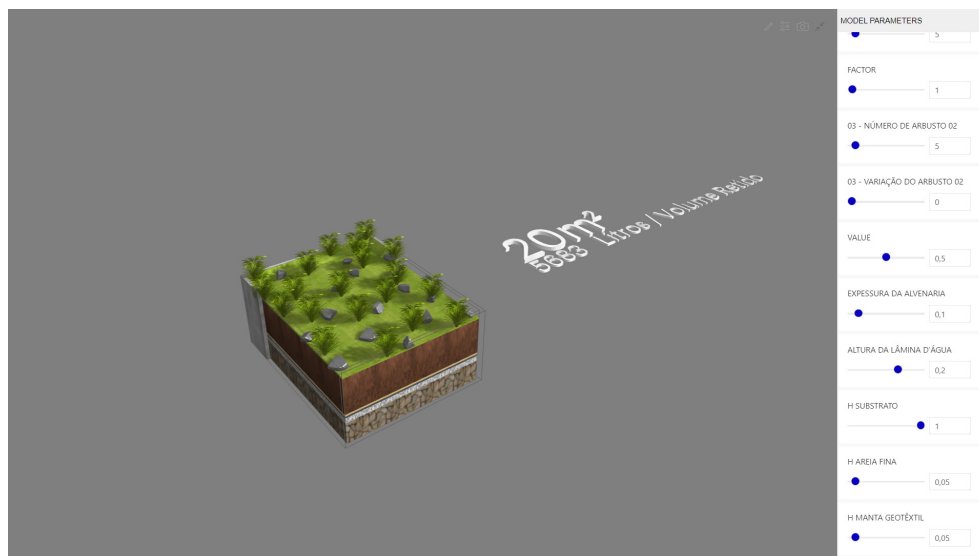


Figura 49. Cálculo do volume retido no jardim de chuva variando conforme seu tamanho e espessura das camadas.

## Aplicação do conceito lim a situações reais de projeto

### ÁREA DE INFILTRAÇÃO DO SARACURA

Este item tem como objetivo ilustrar a aplicação do conceito LIM a um projeto de Arquitetura da Paisagem e drenagem urbana da área de Infiltração do Saracura. Este projeto foi desenvolvido pela autora em parceria com a arquiteta e urbanista Riciane Pombo para o Caderno de Bacia hidrográfica do Anhangabaú sob a coordenação da Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH) e Prefeitura Municipal de São Paulo.

A área de Infiltração Saracura, a ser implantada nas imediações do Museu de Arte de São Paulo (MASP), localiza-se na Av. Nove de Julho, Bacia hidrográfica do córrego Anhangabaú.

Esta bacia hidrográfica sofre constantemente com inundações próximas à foz do Saracura. São vários os fatores que contribuem para a recorrência destes eventos: a alta impermeabilização do solo – que não pode ser diretamente associada à densidade de ocupação – a canalização massiva dos córregos; idade e capacidade de escoamento da infraestrutura de drenagem, com risco de ruína. De forma a solucionar esta situação, medidas estruturais de utilização de reservatórios, embora necessários na bacia do Anhangabaú em função da gravidade do problema, têm apresentado entraves à sua construção devido ao grande impacto que confeririam, por exemplo, no sistema de transportes da região durante a etapa de construção das estruturas (Gonçalves et al., 2021).

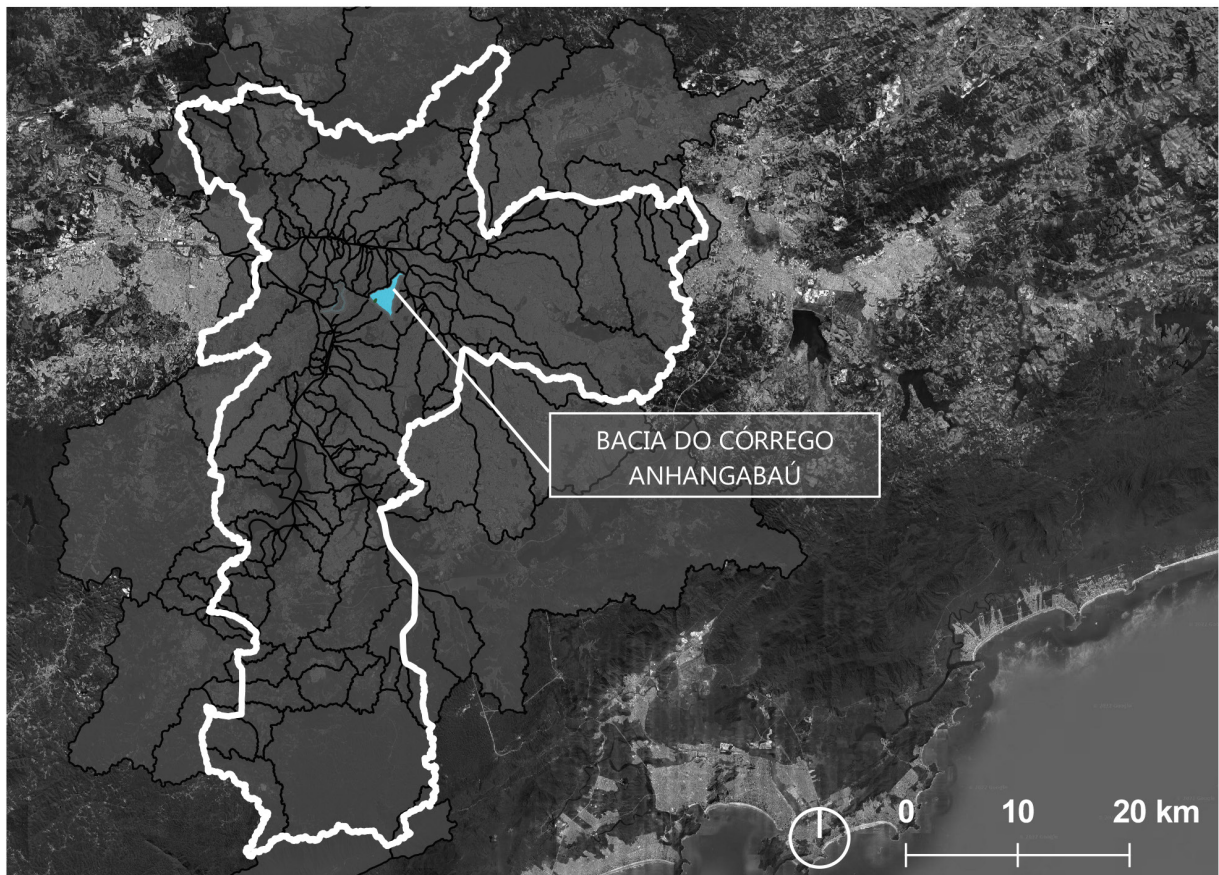
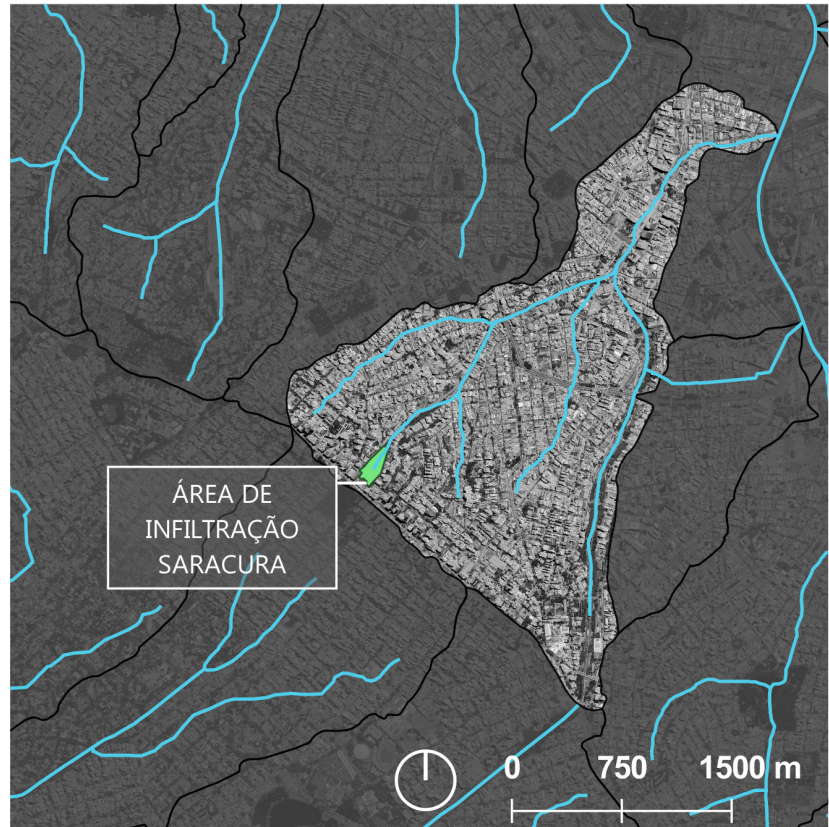


Figura 50. Localização do projeto da área de Infiltração Saracura dentro da Bacia hidrográfica do córrego Anhangabaú.

Nesse âmbito, o projeto, com área de 3800 m<sup>2</sup>, atua como um sistema de reservação e infiltração descentralizada que retarda e diminui o escoamento superficial, contribuindo para minimizar inundações a jusante e apresentando ainda o benefício de ser mais simples de ser construída quando comparada a medidas estruturais convencionais. Trata-se de um serviço ecossistêmico de regulação prestado pelos dispositivos extremamente relevante às cidades.

Para tanto, foi realizado um diagnóstico que primou por selecionar o dispositivo de infraestrutura verde ideal a cada trecho do projeto considerando sua adequação frente a declividade da rua e do talude, bem como do tipo de solo e permeabilidade (Figura 51 e 52).<sup>110</sup>

O projeto adota uma série de dispositivos de infraestrutura verde pensados a partir da sua funcionalidade e redundância – biovaletas, terraços de chuva, poços de infiltração, canteiro pluvial e reservatório subterrâneo. Destaca-se, a criação de uma nova tipologia, chamada terraços de chuva, projetada para uso em terrenos com grandes declives. A área de contribuição ao projeto, estimada em 0,12 km<sup>2</sup>, escoar pelos dispositivos segundo os diferentes eventos de chuva, contemplando 4 mil m<sup>3</sup> de armazenamento *in-line*. Sendo que, para a análise da eficácia do projeto foi utilizada uma chuva de projeto de TR 2. A descrição da modelagem hidráulico-hidrológica deste projeto e a base para o cálculo do volume de água retido dos dispositivos pode ser encontrada em detalhes no artigo Gonçalves et al. (2021).

Iniciado um evento de chuva, as águas pluviais percorrerão as biovaletas, localizadas às ruas Eng. Monlevade e Prof. Picarolo, com seu escoamento superficial retardado em vista de pequenas barreiras inseridas neste dispositivo. Uma vez na Nove de Julho, as águas são destinadas à galeria de águas pluviais sob o leito carroçável.

Em momentos de chuva extremos, o escoamento superficial das biovaletas será direcionado a poços de infiltração localizados sob as calçadas das ruas supracitadas. Para permitir que a água infiltre no solo, tais poços são perfurados em suas paredes laterais e abertos no fundo. Ainda, são previstas pedras no entorno das paredes do poço para otimizar a infiltração da água. Caso ocorra um evento de chuva em dias subsequentes, o que ocasionará um aumento do grau de saturação do solo, um extravasor permitirá escoar a água por entre os poços e depois para a galeria de águas pluviais da Av. Nove de Julho.

Simultaneamente, os terraços de chuva, enquanto dispositivos de infraestrutura verde localizados em ambos os taludes, atuam de forma a retardar o escoamento superficial das águas pluviais para o fundo de vale. Para conter a água, aproveita-se a declividade do terreno junto a uma contenção de pedras que acompanha as curvas de nível. Quando a água atinge o nível máximo do terraço é encaminhada para biovaletas que a levam para o terraço de chuva seguinte.

---

<sup>110</sup> A área de contribuição ao projeto, estimada em 0,12 km<sup>2</sup>, escoar pelos dispositivos segundo os diferentes eventos de chuva, contemplando 4 mil m<sup>3</sup> de armazenamento *in-line*. Sendo que, para a análise da eficácia do projeto foi utilizada uma chuva de projeto de TR 2.



Figura 51. Planta da Área de infiltração Saracura localizando os dispositivos de infraestrutura verde: biovaletas, terraços de chuva, poços de infiltração, canteiro pluvial e reservatório subterrâneo.



Figura 52. Detalhamento da localização dos dispositivos de infraestrutura verde e escoamento superficial.

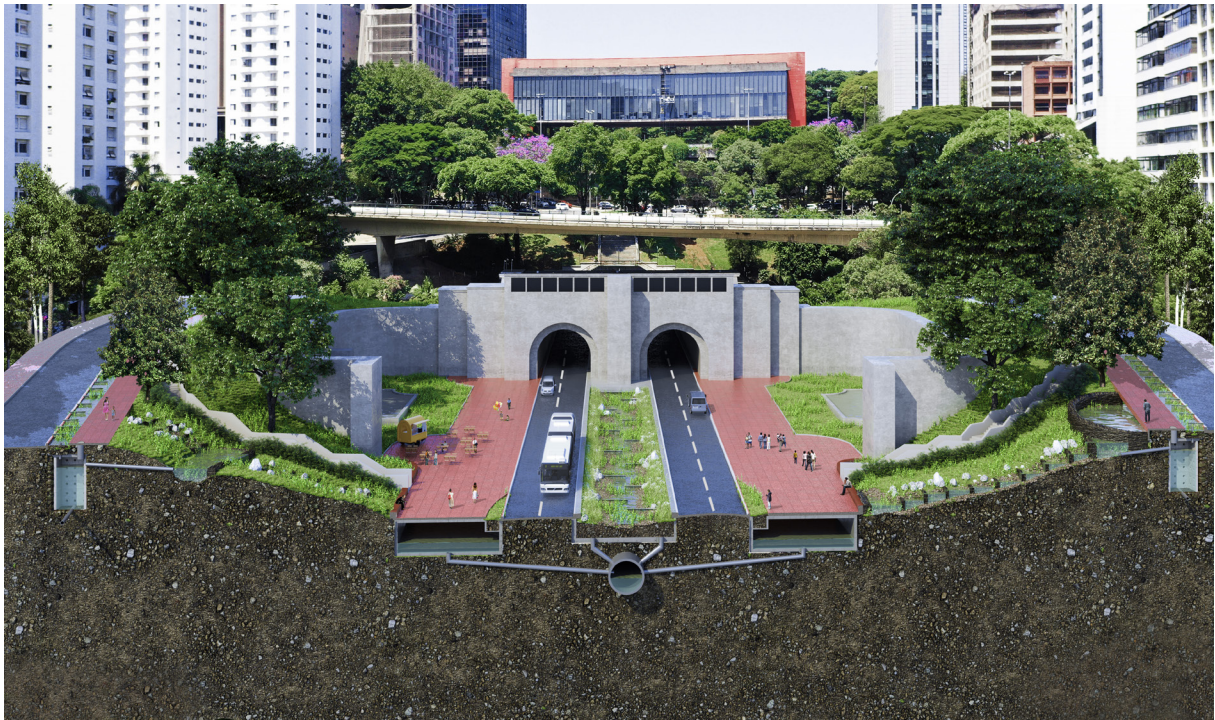


Figura 53. Corte do projeto, destaque para o novo dispositivo de infraestrutura verde: terraço de chuva.

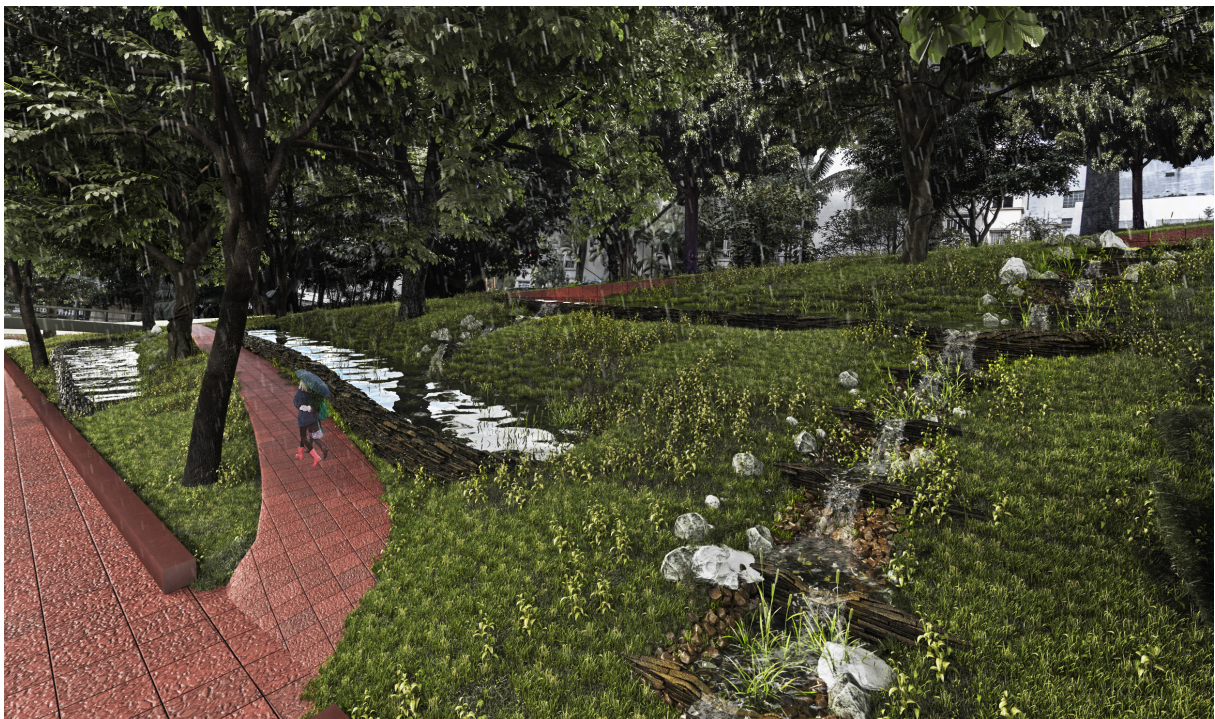


Figura 54. Perspectiva dos dispositivos de infraestrutura verde, com foco no terraço de chuva e nas biovaletas.

Uma vez na Av. Nove de Julho, as águas pluviais encaminham-se para um reservatório estanque sob as calçadas de ambos os lados da avenida. Após, passam por um filtro de areia grossa e brita e são direcionadas ao sistema de águas pluviais. Destaca-se que tal reservatório é vedado pois o solo

do fundo de vale não é ideal para infiltração das águas pluviais. Por fim, ao centro da Av. Nove de Julho é inserido um canteiro pluvial com barreiras para direcionar e diminuir a velocidade do escoamento superficial das águas de chuva (Tabela 14).

Gonçalves et al (2021), estimaram que é possível conter o volume de 4 mil m<sup>3</sup> de águas pluviais a partir da construção de 7 mil m<sup>3</sup> de dispositivos de IV. Os autores concluíram que o projeto é eficaz em reduzir o volume do escoamento excedente para TR 2, com melhorias previstas tanto na mancha de inundação à montante da Praça Quatorze Bis, quanto nos resultados verificados nos hidrogramas.

Tabela 14. Precipitação total acumulada nos dispositivos de infraestrutura verde com chuva de TR 2. Para mais detalhes dos cálculos hidráulicos ver Gonçalves.

Fonte: Gonçalves et al. (2021)

Dispositivo	Local	Quantidade	Profundidade (m)	Área unitária (m <sup>2</sup> )	Área total (m <sup>2</sup> )	Tipologia PCSWMM - Método I	Volume de vazios (m <sup>3</sup> ) - Método II
Reservatórios sob a calçada	Av. Nove de Julho	2	2	600	1200	Cisterna (dispositivo impermeável)	1650
Poços de infiltração	R. Prof. Picarolo e Eng. Monlevada	23	5	12 25	282	Trincheira de infiltração	1400
Terraços de chuva	R. Prof. Picarolo e Eng. Monlevada	9	1	80	720	Trincheira de infiltração	520
Canteiro pluvial	Av. Nove de Julho	1	1,3	510	510	Trincheira de infiltração	270
Jardim de chuva	Rotatória da R. Carlos Comenale	1	3	170	170	Jardim de chuva	230
Biovaletas	R. Prof. Picarolo e Eng. Monlevada	4	0,4	230	920	Biovaleta	-
<b>Total</b>		<b>40</b>		<b>1602</b>	<b>3802</b>		<b>4070</b>

De forma a promover uma dimensão didática para o projeto, foram inseridos caminhos no talude para que a população possa visualizar o funcionamento do modelo. Ainda, este local é um importante marco turístico de São Paulo que tem nas suas imediações o Museu de Arte de São Paulo Assis Chateaubriand (MASP), projetado pela arquiteta Lina Bo Bardi. Sob o museu, onde aos domingos ocorre uma feira de antiguidades, será possível contemplar o modelo de infiltração proposto. Outro ponto de destaque é o Mirante Nove de Julho onde, atualmente, é localizado um café que atrai inúmeros turistas em busca de um local para avistar o vale.

## Projeto generativo de reservatórios híbridos

Esta funcionalidade da Plataforma incorpora o projeto generativo com algoritmos genéticos para achar uma solução otimizada para as seções dos canais de reservatórios híbridos *inline*. Tal função não pode ser incorporada à Plataforma SaaS, uma vez que a interface do ShapeDiver não permite que o processo generativo se dê online, como explicado no item anterior.

Desta forma, este item tem como objetivo ilustrar a aplicação do LIM a um projeto generativo e, para tanto, escolheu-se como foco o projeto de paisagem de reservatórios, tendo a Abegoária como modelo.

Assim, ao invés da solução convencional de reservatórios de detenção em volumes geométricos conformados por superfícies planas – os conhecidos piscinões – pode-se propor um partido de projeto que aproveita as formas que são naturalmente dadas. As diferentes formas de canais anastomosados que essas seções do córrego dentro do reservatório podem assumir, com as sucessivas ramificações ou múltiplos canais que se separam e se reencontram, podem ser dadas por esta entrada de parâmetros de modelagem, como da restrição de vazão à jusante.

Em um breve levantamento histórico, no Brasil, apesar de conquistar progressivamente credibilidade entre planejadores e projetistas, o *mainstream* das práticas de IV ainda segue uma abordagem corretiva para as infraestruturas “engenheirizadas” do século passado. Trata-se de um conceito valioso, mas não original, em vista de práticas anteriores, algumas seculares, de tratamento das áreas verdes urbanas (Moura et al., 2018). Independente da consciência de sua importância, ou de ser utilizada enquanto parte de um dispositivo projetado, a paisagem sempre foi e funcionou como uma infraestrutura.

Entretanto, o papel dos elementos naturais enquanto parte do sistema tecnológico ainda não era visto, principalmente durante o século XX, diante da operação da engenharia monofuncional. Pelo contrário, os esforços para a eficiência no controle da natureza urbana muitas vezes significaram redução do desempenho dos serviços ecossistêmicos e cidades insalubres a seres humanos e demais animais – reforço e sinônimo de desperdício, aumento de escassez e resíduos no processo projetual.

A maneira pela qual olhamos e praticamos o planejamento urbano é fruto de uma época e de um paradigma vigente, incluindo aí questões sobre como produzir e consumir e, portanto, necessariamente o que está em jogo é uma construção social sobre como fazer a gestão da escassez (e o uso do excedente) mais amplamente.

A história das águas pluviais não foge desse modelo de pensamento.

No enfoque monofuncionalista, que ainda caracteriza alguns dos projetos de infraestrutura da urbanização, a água tornou-se alvo de uma das transformações mais impactantes. No século passado, cada paradigma de águas pluviais resolvia o problema imediato do paradigma anterior e criava um problema ainda mais insidioso (Reese, 2001).<sup>111</sup>

É somente na crise,<sup>112</sup> marcada por problemas de difícil solução, que as bases epistemológicas desse paradigma são afetadas e novas soluções surgem. De forma ilustrativa, o corpo técnico e os

---

111 Andy Reese, em 2001, no artigo chamado “Stormwater Paradigms” relatou as diversas maneiras pelas quais olhamos e praticamos o gerenciamento de águas pluviais e porque assim foi feito.

112 Crise, aqui, se aproxima como uma forma que se diferencia da estabilização ambiental, relaciona-se também com

gestores defendiam (e, talvez, acreditassem) na efetividade da tubulação massiva das águas pluviais afastadas rapidamente aos rios (retificados e canalizados), independente do seu tratamento na fonte. A consequência mais nefasta desse processo, associado a grandes porções de território impermeabilizadas, foi a transferência das inundações a jusante e o aumento da poluição das águas, por fontes difusas, que geram impactos ecológicos, como a morte de comunidades de macroinvertebrados bentônicos,<sup>113</sup> alimento para peixes e crustáceos.

Como solução foram – e ainda são – projetadas bacias de retenção do volume do escoamento no próprio local. Nenhuma delas funciona muito bem, haja vista as recorrentes falhas nas bombas dos piscinões paulistanos.<sup>114</sup> Lagoas de retenção são uma promessa com condições – dado que o volume e pico, avaliação a jusante, análise dos hidrogramas, certificação após a construção, contratos de manutenção de longo prazo – raramente são atendidos adequadamente (Reese, 2001). Como explica Pellegrino (2018) sobre o impacto das bacias de retenção estadunidenses, várias bacias em um mesmo canal tinham de ser esvaziadas ao mesmo tempo, e apesar do controle da enchente ocorrer no ponto logo abaixo de cada uma delas, a somatória do volume em um ponto mais abaixo da bacia resulta como se não houvesse havido a retenção a montante.<sup>115</sup> Em São Paulo, essa é uma das problemáticas que reforça soluções de construção de piscinões cada vez maiores, alguns chegando a mais de 25 m de profundidade, associados a massiva impermeabilização do solo e a eventos de chuva extremos cada vez mais frequentes.

Com o paradigma de retenção do escoamento local posto em cheque e as novas tecnologias de modelagem computadorizadas, que permitiram a execução de modelos hidrológicos para regiões inteiras, o novo mantra passou a ser o de tratamento integral de bacias (Pellegrino, 2018). Com o entendimento de que tudo o que acontece na bacia afeta as suas águas, desde o manejo das nascentes, passando pelos corredores ripários até as planícies de inundação. Sob esse paradigma, há várias tentativas de mudar a maneira como as coisas acontecem nas bacias hidrográficas: padrões de desenvolvimento; transporte; lavagem de carros; jardinagem; troca de óleo; coleta de lixo; paisagismo; uso de terras particulares; acesso a espaços abertos; uso de planícies de inundação; potencial de zoneamento; ordenamentos de subdivisão; currículos escolares e assim por diante

---

a ideia de evolução, pois pressupõem variação e estruturas que possibilitam transformação. No entanto, crise não é algo latente, é presente e dependente de uma sucessão de acontecimentos ambientais que contribuem para uma mudança.

113 Utilizados como bioindicadores da qualidade das águas dos rios, córregos e lagoas em vista da sua sensibilidade a poluentes no meio.

114 Alguns exemplos noticiados. “Com falha em bombas, piscinão exala mau cheiro” (disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/fsp/cotidian/ff1802200631.htm>>); Piscinão transbordou por falha em bomba, diz subprefeitura (disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/fsp/cotidian/ff2412200813.htm>);

115 O problema é o do volume total de escoamento da bacia, não apenas um problema de controle do pico de vazão em seus diversos pontos (Reese, 2001).

(Reese, 2001). Dado que as consequências do tratamento das águas afetam diretamente as demais estruturas urbanas, além de trazerem riscos à segurança pública, além é claro a saúde pública.<sup>116</sup>

Nessa escala, níveis mais exigentes de manejo e regulação das águas urbanas passaram a ser empregados para se evitar as causas das inundações, que se não foram resolvidos na escala de toda uma bacia, ao menos o passam a ser na escala de uma vizinhança (Pellegrino, 2018). Por exemplo, iniciam-se as propostas de soluções que variam desde os reservatórios de detenção já utilizados a estratégias descentralizadas, até as tipologias de IV (jardins de chuva, biovaletas) baseadas na natureza que diminuem o escoamento para a jusante e aumenta a retenção, tratamento e infiltração de águas pluviais.

Todavia, é preciso muito esforço político e econômico para que um modelo sofisticado de um Plano de Macrodrenagem de Bacias Hidrográficas seja implantado do Brasil.<sup>117</sup> Nesse ciclo, tomando a cidade de São Paulo como caso emblemático, as gestões passam das inundações ao pânico, do planejamento à procrastinação até a próxima inundação. É um processo de esquecimento anual das consequências da má gestão das águas, disfarçada pelas ‘fortes chuvas inéditas’.<sup>118</sup>

Como Reese (2001) acertadamente pontua, muitas coisas conspiram para causar inundações crônicas, mas apenas cinco delas são físicas: mais água do que antes, um sistema entupido ou quebrado, um sistema inicialmente projetado aquém da demanda e muito pequeno, casas localizadas no lugar errado e um ato de Deus – ou alguém mais diabólico. Todas as demais razões são de natureza institucional.

Esta tese adota este diagnóstico e sustenta uma possibilidade de transição para a compreensão da imprescindibilidade da implantação de infraestruturas verdes (IV), não somente aprisionada a linhas teórico conceituais, ou na mão de poucos entusiastas do assunto. Ainda, a IV não pode ser reduzida a um acessório secundário, e não parte primeira da solução, em projetos de infraestrutura de drenagem tradicional. Veja, em um sistema redundante, a IV deve ser associada à atualização da infraestrutura urbana.

---

116 No caso brasileiro, a própria tragédia da barragem na Mina Córrego do Feijão, em Brumadinho, Minas Gerais, evidencia a importância da temática em relação ao controle, por exemplo, das barragens e da importância da fiscalização da atividade empreendedora, qualquer que seja a natureza. O debate sempre se concentra em relação à responsabilidade do controle sobre os riscos, que, por vezes, são ser delegados da empresa aos técnicos.

117 Nessa escala entramos em uma competição pela atenção e pelos recursos, em um mundo onde nossas prioridades talvez nunca cheguem ao topo (Reese, 2001). Como o autor exemplifica, apesar dos inúmeros planos feitos com resolução do problema, apenas um ou dois foram executados como planejados nos Estados Unidos.

118 As enchentes são um fenômeno hidrológico natural, mas assumem o status de desastre pela ocupação indevida de áreas suscetíveis a cheias e/ou por falhas nos sistemas construídos de condução dos escoamentos (Watson & Adams, 2011). Quando elas assumem esse status se vinculadas aos corpos hídricos são chamadas de inundação, se por problemas de infraestrutura de alagamentos. Durante o verão, a cidade de São Paulo vive este problema, considerando o grande volume de chuvas que acomete a área urbana e resulta em destruição de moradias, interdição de vias e diversos pontos de inundação e alagamento que impossibilitam qualquer tipo de circulação e coloca em risco a vida humana. Basta tomar como exemplo a recente chuva de 114mm, do dia 10 de fevereiro de 2020, que, a princípio, foi a oitava maior precipitação no município medida pelo Inmet, mas que não trouxe nenhuma novidade em relação aos problemas de gestão das águas.

*A água será o grande desafio urbano deste século, seja para assegurar um abastecimento de água confiável, seja para se proteger de inundações. As cidades cada vez mais se defrontarão com difíceis decisões: devem continuar a investir em áreas onde inundações estão se tornando um fato da vida, concentrando as águas com canais, diques e piscinões? Ou deverão também investir numa infraestrutura dispersa de espaços abertos capazes de adaptar as cidades às pulsões das águas, minimizando os conflitos e aproveitando melhor esse recurso? (Pellegrino, 2018, p.148)*

Acredita-se que a ruptura desse paradigma vigente não se dá de forma imediata, em especial considerando o diálogo entre os modelos antigos e ao novo conhecimento de infraestrutura verde produzido. A forma ‘antiga’ de tratar as águas pluviais não desapareceu, algumas estão vivas e ‘bem’ em várias partes secas do país.

Vale lembrar que o próprio processo de desenvolvimento é algo extremamente questionado do ponto de vista social. O fortalecimento de muitas instituições resultou em um processo desigual de distribuição de recursos e gerou inúmeros desequilíbrios ambientais.<sup>119</sup> A questão exige compreender que defender formas alternativas de projetar – como discutido por essa pesquisa – implica também em modelos alternativos de se relacionar com a natureza, além é claro de conduzir a vida social.

Trata-se de compreender uma discussão de fundo para esta pesquisa sobre como pensar sociedade, economia e meio ambiente. Para alguns autores, como Giorgos Kallis ou David Harvey, o desafio é perceber e implementar um modo de vida em uma economia sem crescimento (com decrescimento estável) e, ao mesmo tempo, capaz de reduzir desigualdades.<sup>120</sup> Criar um desenvolvimento próspero que não pense em soluções apenas por meio do crescimento, mas em modelos que lidam com a diminuição do excedente e de novas formas de valorização da atividade humana como o caso do compartilhamento do trabalho, o deslocamento do consumo de bens de alta pegada de carbono para bens de baixa, aprimoramento do espaço público rural e urbano, subsídios de transporte público e desenvolvimento de projetos de energia renovável descentralizados e de pequena escala. Tais exemplos implicam para este projeto em repensar como projetar a paisagem – o que, de alguma forma, reflete a orientação da pesquisa ao considerar a complexidade como elemento central no debate.

---

<sup>119</sup> O embate se refere, aqui, na fixação de valores e orientação para o avanço das sociedades capitalistas, que, no caso da ordem econômica brasileira, por opção do Constituinte, deve se atentar para defesa do meio ambiente, inclusive mediante tratamento diferenciado conforme o impacto ambiental dos produtos e serviços e de seus processos de elaboração e prestação (artigo 170, VI, da Constituição Federal de 1988). O que isso representa para a discussão do planejamento da paisagem?

<sup>120</sup> Diz Kallis: “Na realidade, a economia está mais amíúde em desequilíbrio. O ajuste de preços que se segue a uma crise é repleto de sofrimento e abundante em conflitos distributivos. As contratações estão longe da estabilidade. São a dinâmica e as consequências distributivas de um “ajuste” contracionário que devemos compreender a partir de uma perspectiva de decrescimento. No modelo tradicional, ao contrário, a distribuição é tratada como uma questão separada da questão da riqueza e como adendo da eficiência” (2019, p. 48).

A insatisfação ‘coletiva’ (ou talvez restrita só a poucos de nós mesmo) reside no saber da existência de um conhecimento em infraestruturas verdes e a sua não aplicação. Ainda assim, não se pode julgar projetos e planos realizados desconsiderando as questões sociais, o conhecimento e a tecnologia à época existentes. Os processos ambientais urbanos não são frutos exclusivos de técnicas de projeto. Deve-se, aqui, ponderar a importância da tecnologia e sua aplicação, que possibilita a todo o momento o indivíduo a reconsiderar sua prática de produção e consumo, tanto para reforçar o crescimento como também para pensar em modos alternativos de utilização dos recursos naturais.

Sob o risco de incorrer ao anacronismo, não podemos criticar sem considerar o processo histórico os planejadores e técnicos sobre o que fora aplicado no tratamento das águas. A criatividade e a inovação são processos de produção de algo novo, mas isto é sempre relativo já que se compara com o estado da arte existente em determinada sociedade. À exceção daqueles cuja resistência em manter suas crenças (refutadas) impediam (e impedem) mudanças já conhecidas e cientificamente e socialmente comprovadas. Essa hipocrisia, justificada pela falta de interesse político ou econômico, serve apenas como ponto de fundo para as questões levantadas. Não é nosso foco discutir questões políticas e econômicas que impedem a aplicação de tecnologias do tratamento das águas.

Na tomada de decisões para escolher entre as tecnologias disponíveis, contudo, o respaldo alcançado pelas soluções convencionais tem justificado a inércia na transição para soluções embasadas na paisagem e de baixo impacto ou ainda na complementaridade entre técnicas de manejo (Moura et al., 2018). Essa transição lenta é justificada pelos autores quando assumem haver lacunas quanto aos aspectos funcionais das infraestruturas verdes de drenagem, tais como eficiência, operacionalização e manutenção, custos de implementação, métodos de cálculo e implantação, além da sua própria aceitação pela cidade e seus gestores, projetistas de áreas diversas, construtores e habitantes.

É sob essas lacunas que esta tese se debruça. Questiona-se, então, qual o real ganho propiciado pela implantação de infraestruturas verdes, em substituição à abordagem convencional dos piscinões retilíneos, em uma linguagem mais fluida e que se metamorfoseia em um conjunto de parques paisagísticos para celebração do pulso das águas? Em específico como mensurar a capacidade de provisão de serviços ecossistêmicos dos projetos de infraestrutura verde?

Por fim, gerar conhecimento e tecnologia auxilia diretamente na compreensão das efetivas necessidades sociais e produz novas formas de conhecimento. A pesquisa é ciente que este consenso em relação à ampliação tecnológica no conhecimento nem sempre é fácil mas, se existe embasamento científico para a discussão, aumenta-se a celeridade da solução fomenta novas formas de observar, coletar, sistematizar os dados ainda não conhecidos. Novos e maiores níveis de exigência no gerenciamento e regulamentação de águas pluviais decorrem deste processo.

Mesmo que o aumento de complexidade<sup>121</sup> possa decorrer em mais e mais camadas de governo e partes interessadas a convencer, mais e mais regulamentos a atender, o conhecimento obriga que o sujeito saiba ‘conscientemente’ dos resultados de sua escolha. E o LIM atua nesse sentido.

São dois exemplos importantes de aplicação do conceito LIM a reservatórios híbridos. Newton et al (2019) estudou como a modelagem paramétrica pode contribuir a renaturalização de córregos em canais anastomosados na Bacia Hidrográfica do Jaguaré, São Paulo/SP. Os autores criaram um modelo computacional capaz de fornecer um feedback quanto à capacidade de reserva obtida pelo desenho proposto. A partir do algoritmo foi possível identificar regiões propícias para a modelagem dos meandros, sendo estas repartidas em vales e cristas para a criação dos volumes de retenção. O cálculo dos volumes de retenção de cada um dos vales nos meandros, por meio de operações booleanas de subtração de forma, é realizado automaticamente no algoritmo (Figura 55) (Newton et al., 2018). Para o autor, *Landscape Information Modeling* (LIM) refere-se à representação computacional de medidas de controle pluvial na fonte e a jusante, respectivamente as MPM e os reservatórios de retenção, elegidas entre outras técnicas de manejo pela possibilidade de integração à paisagem e aos princípios de IV. De forma que o LIM consiste no método de análise do comportamento e eficiência dessas medidas, que funcionarão como componentes de uma paisagem inteligente.

Alencar (2019) estudou como realizar o retrofit de piscinões da Bacia hidrográfica do Pirajuçara, São Paulo SP. A autora estudou a possibilidade de redesenhar os piscinões existentes com o objetivo de prolongar a vida útil destas estruturas, propiciando novas funcionalidades às mesmas. Além da questão funcional, o LIM permite investigar como integrar estas estruturas à paisagem urbana, atualmente sinônimos de degradação paisagística devido ao seu uso restrito ao controle da vazão de pico e do atual cenário de degradação das águas.<sup>122</sup>

---

<sup>121</sup> A equipe necessária para conduzir esse processo também se complexifica, para além dos arquitetos e urbanistas e engenheiros, agora incluem-se os biólogos, ecologistas, geógrafos, administradores, antropólogos, cientistas da computação. Segundo Sandre (2019), um ponto importante é problematizar a comunicação. Isto porque a interlocução entre sujeitos, muitas vezes, apresenta impeditivos linguísticos de constituição epistemológicas dos campos disciplinares e também da multidimensionalidade dos objetos. Essa língua técnica, em que somos educados e alfabetizados, é comumente referida como o “arquitetês, engenheirês, sociologês ou advoguês, ...”.

Destaca-se aqui que este esforço de articulação em uma equipe não se sustenta apenas da vontade do sujeito ou de uma coordenação dedicada, mas exige uma construção coletiva que transcenda a conduta individual de cada membro – trata-se de observar um parâmetro comum, às vezes vinculado a construção de um domínio linguístico próprio de determinado projeto ou empreitada. Um profissional que não entende a linguagem do outro não consegue plenamente estabelecer um diálogo legível. Como Silva (1999) contribui trata de estabelecer um único domínio linguístico, a partir da identificação de zonas de não resistência epistêmica entre as disciplinas.

<sup>122</sup> A descrição deste trabalho seminal desenvolvido em seu pós-doutorado: “Uma nova geração de reservatórios de detenção e retenção através da infraestrutura verde e azul” está disponível em: <[https://issuu.com/julianaalencar3/docs/rf\\_posdoc-fau2019-a4-issuu](https://issuu.com/julianaalencar3/docs/rf_posdoc-fau2019-a4-issuu)> Acesso 10 out. 2021.

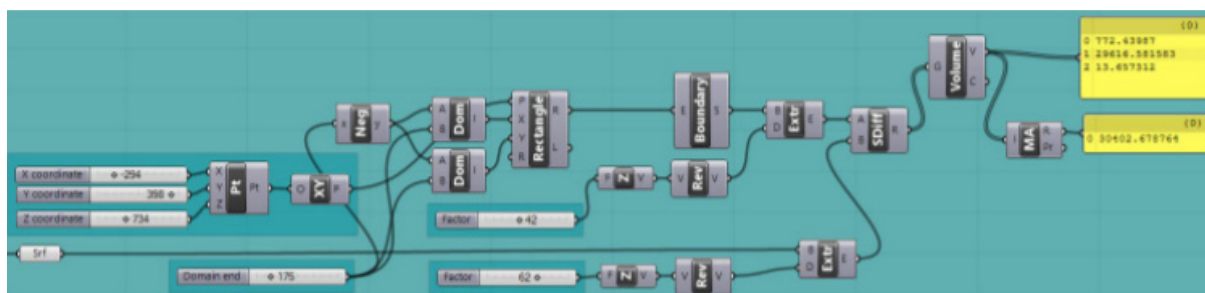
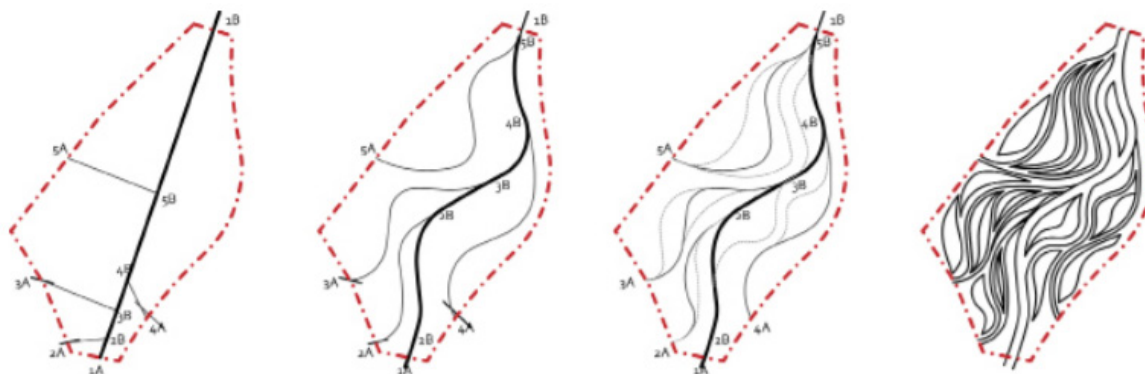


Figura 55. Trecho do algoritmo responsável pelo cálculo do volume retido (painéis amarelos) (Fonte: Newton et al., 2018).

Obviamente que o convencimento dos gestores para a implantação de infraestruturas verdes não perpassa apenas por provar sua eficiência. Há ainda outros problemas de gestão, sociais e econômicos que influenciam nessa escolha. A provisão de espaços livres verdes muitas vezes é conflitante/incompatível com os interesses das pessoas envolvidas no desenvolvimento urbano. Por exemplo, muitas áreas verdes são perdidas por causa de interesses privados na construção, combinados com baixa fiscalização de sua proteção legal e abuso de inúmeras brechas legais. Dados os diversos interesses econômicos e ambientais divergentes, é importante otimizar sua provisão e melhorar sua compatibilidade com os outros interesses de múltiplos agentes no desenvolvimento urbano, deles temos o governo, ambientalistas, proprietários de terras, incorporadores de empreendimentos imobiliários (Gupta, 2012).

Entretanto, reflexões no âmbito da pesquisa, experimentação e dados divulgados reforçam o direcionamento no sentido de alavancar oportunidades de implementação e gerar incentivos para os agentes envolvidos. A população questiona o que é de seu conhecimento. Não sejamos pretensiosos, mas este é mais um argumento a favor de uma conscientização progressiva de que o aprendizado e tratamento das águas – sejam elas superficiais, em rios e córregos, sejam geradas pelas chuvas – afeta não só o regime de cheias, mas também a saúde dos corpos hídricos e a nossa qualidade de vida.

## Reservatório híbrido abegoária

Para ilustrar a aplicação do conceito LIL foi selecionado um local no entorno da Rua Abegoária, Zona Oeste da cidade de São Paulo (Figura 56) bacia hidrográfica do córrego Verde Pinheiros.<sup>123</sup> Ressalva-se que a tese não tem a pretensão de realizar um estudo exaustivo sobre a bacia, mas sim exemplificar a aplicação do ferramental do LIM a um território não idealizado. Portanto, a pesquisa se apoiará em estudos já produzidos sobre a bacia, necessários a proposição do reservatório híbrido. Especificamente no que tange a modelagem hidrológica da bacia e identificação das áreas de intervenção hidráulica.

O projeto do Reservatório de retenção Abegoária opera com a complexidade no projeto da paisagem ao propor um espaço que contempla reservar e tratar as águas pluviais e fluviais foi elaborado pela autora em parceria com Riciane Pombo dentro do Caderno de bacia hidrográfica do córrego Verde Pinheiros. Compreendendo um reservatório *in-line* capaz de armazenar um volume significativo de água – 25 mil m<sup>3</sup> – de uma forma inovadora e integrada contribui para a redução das inundações a jusante. O reservatório abrange cerca de 6540 m<sup>2</sup> e foi dimensionado para vazões afluentes de período de retorno de 25 anos (FCTH, 2021).

Destaca-se a funcionalidade múltipla deste reservatório híbrido ou anfíbio que contempla a abertura de um trecho do córrego Verde Pinheiros (braço I), e melhoria da qualidade de suas águas, associada à reservação a montante de parte do escoamento superficial dessa bacia (Figura 57 a 61). O nome anfíbio, advém da funcionalidade tanto em períodos de cheia quanto de seca, tal qual algumas de nossas rãs e sapos.

Ao reter volumes significativos, em eventos de chuva extremos, o reservatório contribui para minimizar inundações a jusante, mais especificamente nas imediações da Rua Medeiros de Albuquerque e Beco do Batman, região conhecida pela arte de rua. Sua proposição é necessária ainda que somados os ganhos de permeabilidade de dispositivos de drenagem (ex. jardins de chuva) distribuídos ao longo da bacia.

---

<sup>123</sup> O detalhamento dos estudos aplicados de modelagem de drenagem urbana a partir do cenário atual, que subsidiavam os elementos e o local estratégico de sua inserção na bacia, estão descritos no Caderno de Bacia hidrográfica do Anhangabaú.

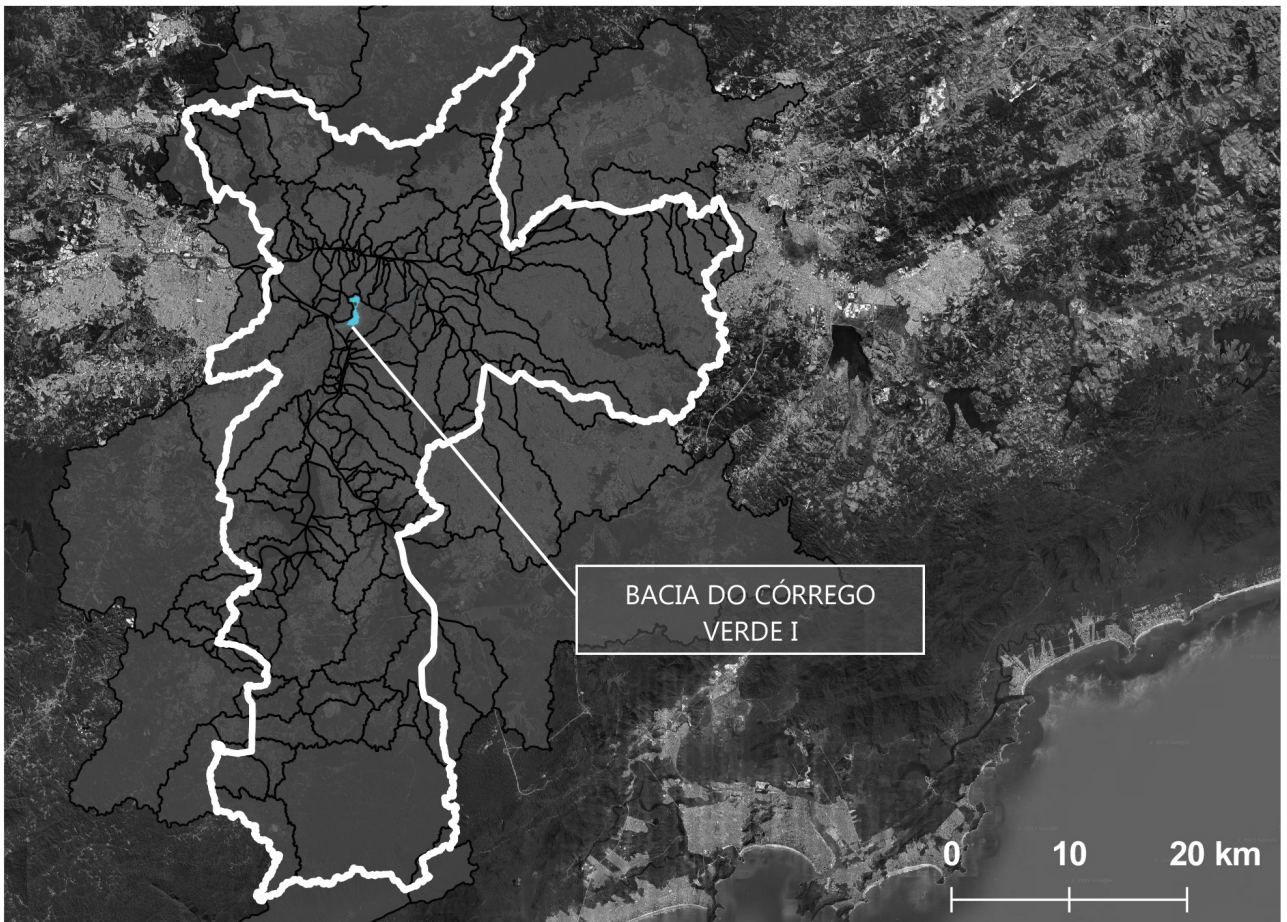
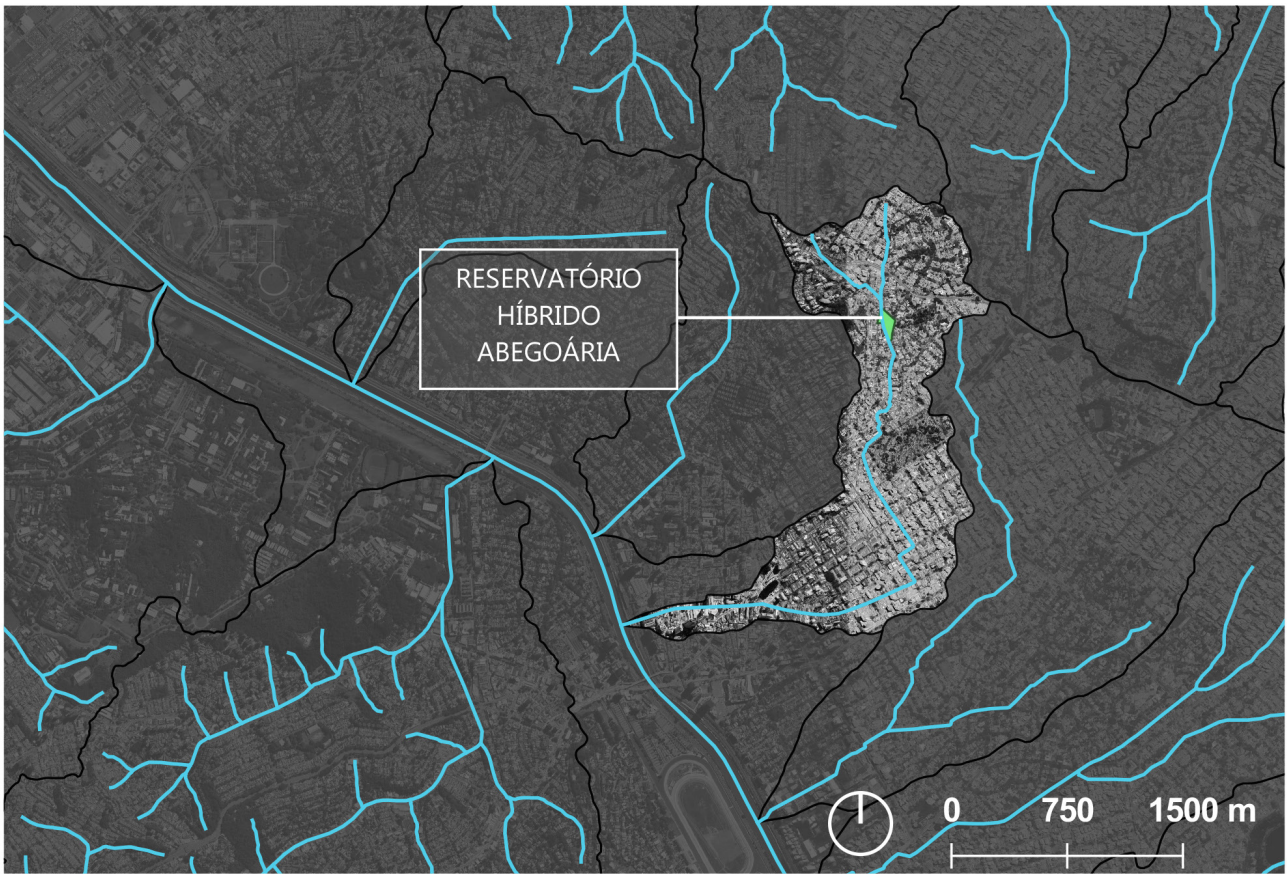


Figura 56. Localização do reservatório de retenção Abegoária na bacia hidrográfica do Verde Pinheiros.

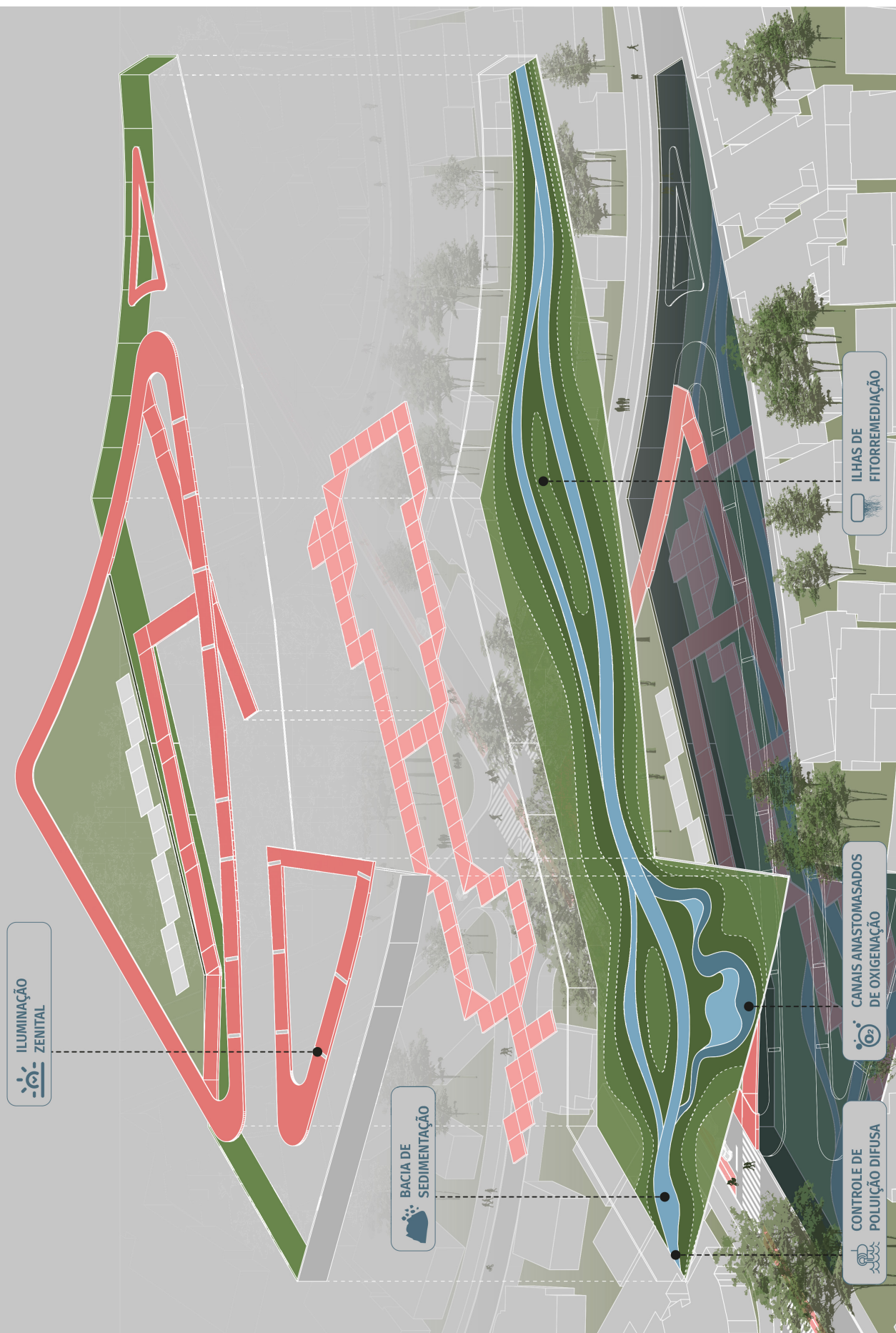


Figura 57. Diagrama do Reservatório híbrido. As águas percolam o sistema por vários dispositivos. Inicialmente, são tratadas por um controle de poluição difusa, em uma bacia de sedimentação e retenção de sólidos grosseiros. Após, são retidas em canais anastomosados e ilhas de fitorremediação com seção variável para, após, serem oxigenadas. Ao final voltam para a galeria de águas pluviais sob a Rua Abegória.

Fonte: FCTh, 2021.

Já em vazão de seca e no início do evento chuvoso, quando ocorre o pico de concentração de possíveis poluentes, as águas do córrego Verde I se encaminham por diferentes trechos de tratamento com variação da seção do canal. As diferentes seções de córrego e seu comportamento hídrico córrego, conforme a mudança das dimensões de sua seção, foram desenhadas a partir de um algoritmo junto ao *plugin* Groundhog<sup>®</sup>. A primeira parte do algoritmo do *plugin* determina a altura do nível d'água para uma determinada seção, permitindo testar diferentes geometrias em relação a uma determinada área. A segunda faz vários cálculos geométricos da área da seção, estes dados podem ser modificados conforme valores de inclinação do canal (ex. até 3%) e coeficiente de rugosidade.

Assim, partindo do comportamento hídrico desejado – necessidade projetual de vazão de restrição à jusante, de diminuição/aumento da velocidade da água – pode-se simular diferentes seções geométricas e rugosidade do canal abertos permitindo visualizações gráficas que podem ser facilmente alteradas conforme o processo de projeto.<sup>124</sup> Portanto, enquanto variáveis que atuam na definição da seção e velocidade da água no canal aberto com diferentes regimes de fluxo tem-se:

- » Coeficiente de rugosidade de Manning para o canal;
- » Inclinação do canal (%) em relação a seção longitudinal.

Neste caso, buscou-se utilizar o *form-finding* em que o algoritmo atua de forma generativa para encontrar a melhor solução para a seção do córrego dentro do reservatório em diferentes gerações (Figura 57 e 61). A quantidade de água a ser armazenada é uma premissa de projeto e pode ser tida como um SEs dos dispositivos de infraestrutura verde. Assim, ao derivar estimativas dos serviços ecossistêmicos, o interesse é identificar o SEs adicional gerado pela infraestrutura verde, quando comparado à situação atual, um ambiente construído com alternativa cinza. Para tanto, sugere-se avaliar o SE em relação à linha de base, ou seja, o estado atual da área. Para após, definir cenários diferentes para a seção do córrego analisando comparativamente seu desempenho.

Inicialmente, são retidos possíveis resíduos sólidos em um sistema de grelhas que facilitam a manutenção e limpeza junto a uma bacia de sedimentação no *inlet* do reservatório. No trecho seguinte, o aumento da rugosidade das margens do córrego e mudança da sua seção, com o plantio de espécies tolerantes a alagamentos, permite a diminuição da velocidade do escoamento e possibilita o processo de fitorremediação e deposição de sedimentos finos nas pequenas ilhas formadas pela ramificação das águas. Para além das possibilidades estéticas, as sucessivas ramificações e

---

<sup>124</sup> Novos efeitos paisagísticos poderão ser alcançados expressando o vasto potencial de novos materiais orgânicos, diminuído a necessidade de interfaces “duras” que irremediavelmente levam a um desgaste e fadiga dos materiais (Pellegrino, 2018).

recombinações desses canais propiciam uma redução da velocidade e um maior percurso para as águas nos períodos de maior seca (quando a concentração de poluentes se torna mais alta), dando mais tempo para os processos de fitorremediação e biorretenção (Newton et al., 2018). Este local, se atingir um nível aceitável de qualidade das águas ao reduzir a carga de poluentes, pode atuar também enquanto habitat e fonte de nutrientes para possíveis invertebrados bentônicos. Assim, as espécies arbóreas e arbustivas desempenham um papel importante como refúgio de animais, promovem conforto ambiental e também estabilizam o solo do reservatório. Já ao centro do reservatório dá-se a diminuição da seção do córrego com o objetivo de oxigenar suas águas. E ao final, suas águas, em uma seção única, são direcionadas à galeria de águas pluviais (Figura 57).

Para além do reservatório deve-se prever na bacia à montante dispositivos para impedir que a poluição difusa atinja o córrego.



Figura 58. Planta do Reservatório Abegoária apresentando o córrego Verde em diferentes tamanhos de seção.



Figura 59. Perspectiva do Reservatório Abegoária em período de seca, destaca-se a sua atuação como área de lazer, associada a fitorremediação das águas do córrego Verde.

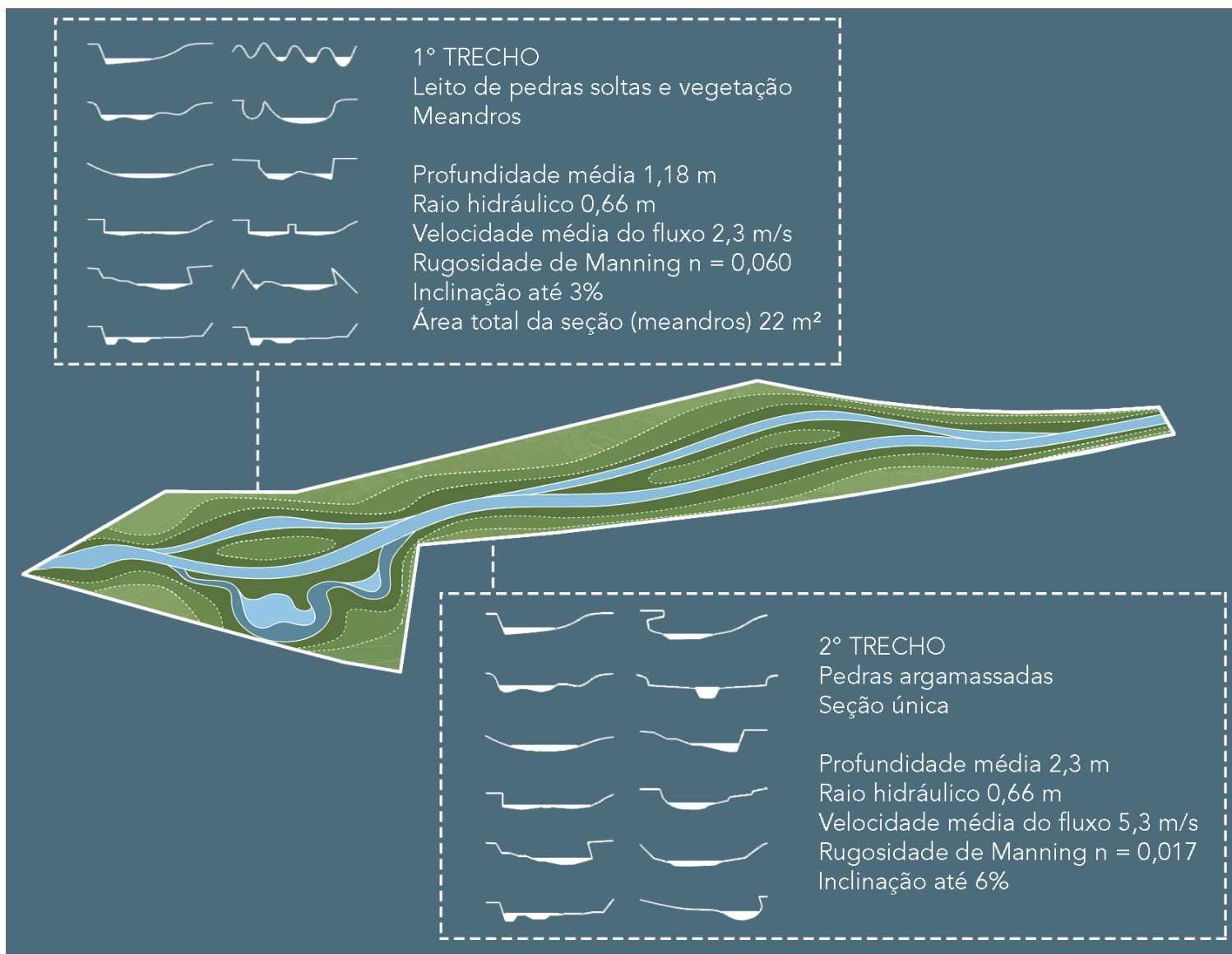


Figura 60. Diferentes seções do córrego Verde ao longo do percurso do córrego encontradas a partir do processo de *form-finding*.

Na primeira parte, de forma a diminuir a velocidade de escoamento (até 2,5 m/s) para fitorremediar as águas obteve-se os seguintes valores: valor de rugosidade de Manning maior ( $n = 0,060$  considerando meandros, leito de pedras soltas e vegetação nas margens), menor inclinação (até 3%) e área total da seção (incluindo os meandros) 22 m<sup>2</sup>, profundidade média de 1,18 m. Já na segunda, para aumentar a velocidade e oxigenar as águas, obteve-se a rugosidade ( $n = 0,017$ , considerando seção única, leito de pedra argamassada), aumentar a inclinação (até 6%), profundidade média de 2,3 m de forma a oxigenar as águas pluviais. Por fim, retoma-se uma seção única do córrego para retorno à galeria.

Fonte: valores de rugosidade de Manning (Porto, 2006).

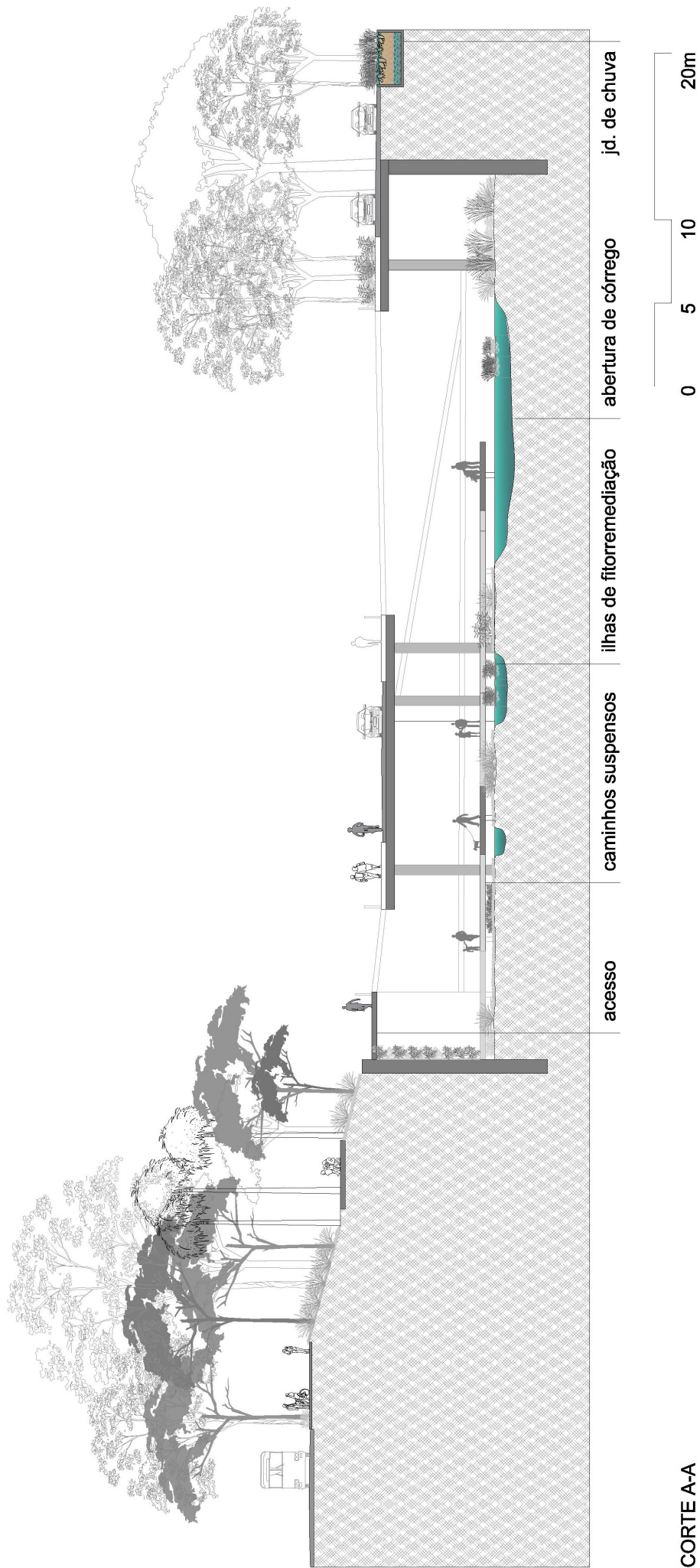


Figura 6r. Corte do reservatório Abegoária com a seção escolhida para a primeira parte do tratamento das águas pluviais.



Figura 62. Perspectiva do Reservatório Abegoária em período de cheia, destaca-se a sua atuação como reservatório, prevenindo inundações à jusante.

Fonte: Autora/FCTH, 2021

Além da questão funcional, pode-se investigar como integrar estas estruturas à paisagem urbana, já que atualmente elas são sinônimos de degradação paisagística devido ao seu uso restrito ao controle da vazão de pico e do atual cenário de degradação das águas.

A proposta atua como uma forma didática e um modelo urbano de tratamento de reservatório, reforçando a viabilidade de reter e tratar as águas, associada ao lazer e permanência da população.

A laje do reservatório é rasgada junto aos pontos onde foram implantados bancos e, de forma lúdica e funcional, essas aberturas passam a iluminar os espaços abaixo das ruas que se sobrepõem ao reservatório, possibilitando também a visualização do espaço por aqueles que transitam nas calçadas. O pedestre é convidado a descer, a partir da Praça General Oliveira Álvares, por meio de rampas universalmente acessíveis engastadas nas paredes do reservatório que também recebem grafites, jardins verticais e espaços preparados para projeções de imagens e vídeos, como incentivo à vida cultural local. Uma das paredes é transformada em mural artístico em homenagem ao peixe Surubim-do-Paraíba (*Steindachneridion parahybae*), um bagre endêmico de águas doces da bacia do Rio Paraíba do Sul, atualmente extinto em São Paulo.

Os caminhos junto à base do reservatório acompanham a abertura do córrego Verde I onde são colocadas diversas esculturas metálicas que simulam os contornos das bacias hidrográficas

paulistanas. Ainda, em um trecho destinado a prática de esportes, convida-se o usuário a realizar rapel e subidas em escaladas para vencer sua profundidade enquanto pratica modalidades esportivas. Por fim, para manutenções e limpeza após eventos de chuva, as rampas de acesso também comportam a passagem de equipamentos para a retirada de detritos.

Em síntese, de forma a aumentar os serviços ecossistêmicos prestados, com os projetos da Área de Infiltração Saracura e Reservatório Abegoária, objetivou-se a:

- » Atenuação das inundações com sistemas de drenagem que possibilitem o armazenamento e a infiltração no solo;
- » Fitorremediação das águas e solo;
- » Plantio de árvores que trazem benefícios ambientais e a apropriação da população pelo espécime;
- » Prevenção de processos erosivos e posterior assoreamento dos leitos d'água com sistemas de drenagem não convencionais que promovam retenção do escoamento superficial;
- » Aumento da evapotranspiração com o plantio de árvores, proporcionando melhoria do microclima e sequestro de carbono (em diferentes escalas dependendo da espécie e local de plantio);
- » Promoção do bem-estar e coesão social, por meio da apropriação dos espaços para o domínio público;
- » Promoção de espaços de contemplação, de preservação cultural e histórica e, também estética (variável conforme localização e período), além do turismo e investimentos econômicos locais.

## Considerações parciais

Este capítulo apresentou o protótipo online Plataforma Mariposa que buscou aplicar o conceitual do LIM em uma ferramenta de projeto e que permitiu viabilizar a geração pelos usuários de diferentes alternativas de projeto da paisagem, para provisão de serviços ecossistêmicos a partir da integração de diversas variáveis.

Para tanto foi necessário apresentar uma série de premissas da Plataforma para a sua viabilização, a seguir sistematizadas:

Premissa	Definição
Primeira	Concepção do processo de planejamento e projeto de Arquitetura da Paisagem, de forma dinâmica e interativa. Inúmeros questionamentos são colocados nesta primeira premissa sobre como definir limiares e viabilizar uma modulação complexa de projeto para mensuração dos SEs dentro da Plataforma Mariposa.
Segunda	Determinação dos elementos do repositório da Mariposa. Cada trecho do elemento dentro do <i>script</i> do algoritmo pode responder a questões específicas da provisão de serviços ecossistêmicos.
Terceira	Acessibilidade online, tendo como perfil de usuário a comunidade interessada no projeto de Paisagem. Definição do <i>software</i> de modelagem que se associa a um sistema algorítmico de geração de alternativas de projeto.
Quarta	Adoção do projeto generativo com algoritmos genéticos para achar uma solução otimizada por meio do uso de várias tecnologias, como da Inteligência Artificial pautada em <i>Machine Learning</i> , a partir do reconhecimento das variáveis mensuradas e de plugins pré-existentes para retroalimentar o funcionamento da Mariposa.

A partir das premissas, o capítulo apresentou a estrutura e funcionalidades da Plataforma. Desse modo foram discutidas funções primárias e secundárias. As primárias são responsáveis por importar as informações para dentro da Plataforma Mariposa. A primeira parte do algoritmo funciona como um *input* de informações que o usuário irá alimentar dentro do sistema alocado na nuvem, e uma vez que todas as informações estejam presentes, será possível fazer análises mais robustas e complexas. Já as funções secundárias funcionam como modificadores de informação ao permitir que o usuário ajuste seu modelo para gerar diversos cenários. Tal função engloba também as simulações complexas de projetos generativos que exigem os dados produzidos pelas outras funções para executar e diagnosticar aspectos de múltiplos SEs, vinculados ao solo, drenagem urbana e vegetação.

Na sequência, discutiu-se a Análise Multicritério para achar uma solução otimizada de planejamento e projeto de paisagem paramétrico, a partir do reconhecimento das variáveis mensuradas para alimentar seu funcionamento, além das representações tridimensionais dos resultados.

Tais funcionalidades se revelam extremamente vantajosas para o paisagista já que possui uma plataforma que lida com a questão da complexidade inerente ao projeto da paisagem, subsidiando processos de tomada de decisão. Para corroborar a hipótese apresentada e justificada ao longo desta pesquisa via o protótipo online, a pesquisa avançou em aplicações concretas de projetos complexos.

No primeiro caso, o objetivo principal foi ilustrar a aplicação do conceito LIM a um projeto de Arquitetura da Paisagem e drenagem urbana da área de Infiltração do Saracura. Este projeto trabalhou com diferentes dispositivos de infraestrutura verde de forma a contribuir com a retenção e limpeza das águas à montante.

No segundo caso discutido, a pretensão foi exemplificar a aplicação do LIM a um projeto generativo e, para tanto, escolheu-se como foco o projeto de paisagem de reservatórios, tendo o Reservatório de retenção da Abegoária como modelo. Este caso exemplifica como é possível conter grandes volumes de água, sem entretanto, criar estruturas inóspitas no território.

Em síntese, ambos os casos revelam que um dos principais benefícios da incorporação da Plataforma é a ampliação do acesso da modelagem algorítmica em projetos da paisagem a uma diversidade de usuários do Poder Público e do setor privado, independentemente do seu conhecimento em linguagem de programação e da capacidade de resposta de seu computador. A possibilidade de facilitar o acesso à Plataforma possibilitará, de um lado, um maior engajamento de diferentes atores da sociedade, que podem manifestar seus desejos e preferências na operação dos parâmetros e lidar com as complexidades envolvidas no ato de projetar a paisagem. Do outro lado, prevalece uma maior transparência e controle social em relação ao processo social já que as recomendações da Plataforma devem ser passíveis de verificação, replicação e modificação por qualquer usuário, de maneira interativa e dinâmica.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

No final de 2021, ao longo da conclusão desta tese, o Brasil atravessou novamente um intenso período chuvoso e que repercutiu em inúmeros problemas na região do sul da Bahia, Minas Gerais e Rio de Janeiro. Após semanas de fortes chuvas, inúmeros municípios decretaram estado de emergência diante das inundações e de deslizamentos de porções de terra.

As famílias mais afetadas tiveram que lidar com perdas de familiares, abrigos e alimentação, além da própria contaminação ambiental e da crise climática que impactaram, de forma generalizada, a cadeia produtiva da lavoura, da energia e do abastecimento do país.

Ano após ano, a história se repete.

Relatos trágicos são entremeados com histórias de reconstrução de lares. Em uma narrativa que faz parte da vida dos brasileiros que atravessam os períodos chuvosos e lidam com os problemas relacionados a omissão do Poder Público em adotar medidas preventivas e estratégicas para lidar com maior responsividade às questões complexas que envolvem a relação entre homem e natureza.

Na esteira da pandemia do COVID-19, estes eventos podem representar o início de um novo século. Seguindo as lições do historiador Eric Hobsbawm, para quem os séculos nunca começam no exato primeiro dia do ano a cada cem anos, mas sim quando grandes eventos se inscrevem na dinâmica das vidas humanas, a crise ambiental e de saúde pública é, talvez, um prenúncio de uma nova época, caracterizada por pandemias intermitentes e recorrentes catástrofes sociais. A marcha desta experiência não poderia ser diferente, já que mais da metade da população mundial vive em aglomerações urbanas. Os grandes centros urbanos são responsáveis pelo consumo de mais de dois terços da energia produzida e conseqüentemente são responsáveis pela produção de mais de setenta por cento de emissão de gás carbônico na atmosfera. A expectativa é que esta dinâmica não se altere com tanta facilidade diante do contínuo crescimento populacional nos centros urbanos e da própria negação do conhecimento científico.

No entanto, a história pode ser diferente. O sociólogo português Boaventura de Sousa Santos afirma que experimentar a pandemia nos situou numa encruzilhada entre compreender a transformação da ideia de que a natureza nos pertencia, presente desde o Iluminismo europeu, em contraste com a ideia de que passamos a pertencer à natureza, no século XXI. Assim diz o autor “[a] pandemia não nos dá opção; põe-nos perante um dilema: ou mudamos o modo como vemos a natureza, ou ela começará a redigir o longo e doloroso epitáfio da vida humana no planeta” (Santos, 2021, p. 17). Durante a pandemia, considerando a gestão pública, foi possível observar que o Poder Público se revelou autoritário e incompetente na gestão da crise sanitária e ambiental. Como

mudar o rumo e repensar formas de uma nova época, um novo modelo civilizacional, promovendo a mitigação e adaptação às mudanças climáticas?

Esta tese desenvolveu o argumento de que é crucial pensar o papel do projeto da paisagem para lidar com as complexidades próprias das relações entre homem e natureza, em especial refletir sobre o fazer do arquiteto paisagista diante do avanço das ferramentas computacionais disponíveis no século XXI. Acredita-se, assim, no papel transformativo do projeto da paisagem, de modo a seguir um novo caminho (não predativo) sobre a relação entre homem e natureza. Para tanto aventou-se a hipótese de que a Modelagem da Informação da Paisagem denominada LIM (do inglês *Landscape Information Modeling*) auxilia na articulação de parâmetros em projetos complexos da paisagem urbana, em específico de espaços livres multifuncionais, que considere as dimensões políticas, culturais, éticas e simbólicas, possibilitando o tratamento da complexidade, ao mensurar a variação de seu desempenho em prover serviços ecossistêmicos.

Tal temática é fundamental para melhor lidarmos com os problemas apontados acima e que parecem fundamentar uma vida pertencente à natureza, num mundo global e com dinâmicas que exigem a colaboração e solidariedade entre equipes interdisciplinares. Sem dúvida, os apontamentos apresentados reforçam a necessidade de preservar os valores democráticos e a defesa e promoção dos interesses públicos, que pautam, inclusive, os rumos de uma agenda ambiental atenta à demanda pela provisão, *in situ*, de alguns dos serviços ecossistêmicos no meio urbano.

Para além da questão social e política, o enfoque também recai ao campo científico e exige refletir as aplicações e usos das ferramentas computacionais por parte da arquitetura da paisagem. No século XXI, as inovações tecnológicas não são mais um diferencial, mas uma necessidade do mercado que, por sua vez, é extremamente competitivo e está continuamente evoluindo, além de colocar em questão uma série de dilemas éticos sobre a construção de bancos de dados e tratamento de dados pessoais. A área da computação tornou-se quase onipresente em todas as formas de indústrias, sendo incorporada nas etapas de produção até a venda de produtos.

Conforme apresentado nesta tese e a partir dos debates conceituais do LIM, a pesquisa apresentou um protótipo online chamado Plataforma Mariposa, capaz de oferecer cenários de retrato da realidade urbana e de simulação de alternativas de projeto de paisagem, a partir de uma exploração criativa dos diversos padrões que os espaços livres verdes podem assumir no tecido urbano, com novas funções infraestruturas. A tese discutiu a temática da performance dessas alternativas quanto à capacidade de provisão de serviços ecossistêmicos a partir da integração de diversas variáveis prevendo tendências e avaliando potencialidades, restrições e conflitos de interesse.

Baseado na modelagem algorítmica e paramétrica, a Mariposa, a partir de dados e parâmetros, foi capaz de simular formas geométricas e gerar resultados permitindo visualizações gráficas que podem ser alteradas. As simulações podem variar conforme os usos, preexistências, funções, estrutura e

composição, finalidade social dos espaços abertos. No mais, a Plataforma pode apresentar potencial de replicabilidade,<sup>125</sup> considerando a abrangência das atividades realizadas para a caracterização e diagnóstico de bacia hidrográficas, com a formulação de cenários e a proposição de medidas para a sua revitalização. Bem como já acontece em modelos de construção civil, o modelo com peças gráficas componentes de Arquitetura da paisagem, permite visualizar as interferências com antecedência. Projetos criados em 3D, possibilitam identificar conflitos antecipadamente, isso melhora a qualidade geral do trabalho, reduz conflitos durante o desenvolvimento dos estudos.

A possibilidade de visualizar tridimensionalmente e gerar inúmeras alternativas projetuais a partir de parâmetros de desempenho, além de aumentar o poder de compreensão da equipe, contribui com a capacidade de escolha pautada nos seus objetivos, bem como na otimização dos recursos. De tal maneira que os processos generativos, na etapa de criação, tornam a busca de soluções mais eficiente, uma vez que viabilizam inúmeras simulações com os elementos que compõem o projeto. Como visto, no caso do LIM, pode-se usar a Plataforma com uma dinamicidade intrínseca, são os dados de desempenho que orientam a geração de formas geométricas para os elementos (por exemplo, reservatório de retenção, canteiros pluviais) permitindo visualizações gráficas que podem ser facilmente alteradas e gerando dados de comportamento hídrico e sequestro de carbono para auxiliar nos processos criativos de projeto.

Ainda, em nenhum momento foi defendida a instrumentalização do projeto de paisagem pelo computador, mas sim um modelo que auxilia os usuários na intervenção projetual complexa a partir da integração de parâmetros desejados, gerando maior eficiência em todo o processo envolvido, desde sua concepção até sua manutenção. É o caso de defender a abertura de seus códigos, o controle social sobre a programação, inclusive vinculada à formação do arquiteto, urbanista e paisagista. Trata-se de compreender a construção de uma agenda em andamento sobre a operação das plataformas digitais, como é o caso da aplicação exploratória do LIM nos projetos de paisagem.

Uma vez que esse tipo de ferramenta trará todos os benefícios conhecidos da modelagem da informação da construção (no campo da construção civil e infraestrutura urbana) associados à escala do projeto da paisagem, possibilitando a otimização do processo de projeto, implementação e manutenção dessas estruturas. Pois, semelhante ao projeto de edificações, o paisagismo mobiliza inúmeros elementos e serviços que podem ser compatibilizados e alterados em tempo real.

Dentre alguns resultados encontrados, podemos, assim, sumarizar:

---

<sup>125</sup> Uma vez desenvolvida esta metodologia abre-se a possibilidade de discussão e aperfeiçoamento da ferramenta, tornando-a dinâmica para acompanhar testes e desenvolvimentos científicos e aplicados ao meio urbano. Os resultados alcançados ampliam a discussão do planejamento urbano no país, dando suporte ao desenvolvimento de novas políticas de recuperação das bacias hidrográficas urbanas.

- » Importância de compreender as bases conceituais para o desenvolvimento de uma tecnologia própria de modelagem da paisagem a partir da discussão sobre como as áreas verdes urbanas podem ser consideradas fornecedoras de serviços ecossistêmicos;
- » A análise das áreas verdes em espaços livres e sua infraestrutura, seus usos, funções, estrutura e composição é fundamental para entender melhor se são ecossistemas e qual a sua relação entre o fornecimento de múltiplos serviços (ecossistêmicos) prestados aos diversos moradores da cidade. Admitiu-se o entendimento de que tais espaços devem, na verdade, ser analisados em sua multifuncionalidade – abarcando as questões de infraestrutura urbana, sociais, econômicas e ambientais (Sandre, 2017). Desse modo é necessário refletir como abordar a melhora na provisão dos serviços ecossistêmicos a partir do projeto, em um comparativo antes/depois tanto em termos de provisão quanto de demanda, oferta e fluxos;
- » A consolidação da política ambiental urbana depende de ações integradas entre esferas de governo e sociedade que permitam uma gestão ambiental transversal, otimizando os recursos naturais a fim de implementar medidas pertinentes, o que exige a constituição de ferramentas capazes de interagir e integrar diferentes parâmetros e auxiliar o processo de tomada de decisão;
- » Na história do desenvolvimento de sistemas de representação gráfica é fundamental compreender a trajetória, complementariedade e desafios colocados nos processos vinculados aos sistemas CAD, BIM e a modelagem paramétrica, de modo a situar melhor a importância do LIM no projeto da paisagem;
- » A Plataforma Mariposa, que se estrutura como uma ferramenta para integrar e operacionalizar os projetos complementares de paisagem a partir do conceitual de LIM, é um caminho promissor para a colaboração de um processo de tomada de decisão mais responsivo e participativo; e
- » A Plataforma apresenta um importante potencial de replicabilidade, considerando a abrangência das atividades realizadas para a caracterização e diagnóstico dos serviços ecossistêmicos no meio urbano. Argumentou-se na tese que, a partir de modelagem, pode-se realizar simulações que permitem avaliar o

grau de resposta e adaptação aos diversos cenários das tecnologias envolvidas e, portanto, da sua inteligência;

» Os principais desafios da Plataforma Mariposa são aqueles envolvidos na concepção e montagem de uma plataforma digital online e da orquestração dos *plugins* associados, bem como a escolha dos parâmetros que melhor equalizem as necessidades de um projeto de paisagem. Em vista desse cenário, para ter acesso a um processo orientado ao desempenho que otimiza dados quantificáveis, a equipe promoveu uma simplificação dessa linguagem aos projetos de paisagem, com o cuidado de não incorrer no risco de perder as especificidades de cada disciplina e abdicar do rigor científico.

Deve-se salientar, também, a relevância desta proposta para o desenvolvimento científico e tecnológico da área de projetos para o país, além do seu potencial de inovação que diz respeito à criação de um protocolo para replicação de modelos de informação para fins não só acadêmicos e de pesquisa, mas de aplicação direta em projetos públicos e privados. A visão interdisciplinar que o projeto carrega é muito oportuna e apresenta grande potencial para o enfrentamento das questões relacionadas ao controle hídrico e de recuperação da qualidade das águas, tanto em projetos específicos como em relação a políticas públicas.

Assim, as ferramentas digitais previstas são de grande interesse em ter seu uso mais amplamente disponibilizado. Podemos avaliar que a exequibilidade e desempenho do projeto reside na utilização do LIM enquanto conceito e método de trabalho – pelas equipes intervenientes – do comportamento e eficiência de diferentes medidas, como de NbS e infraestrutura verde. Em outras palavras, a partir de modelagem serão realizadas simulações que permitirão avaliar o grau de resposta e adaptação aos diversos cenários das tecnologias envolvidas e, portanto, da sua inteligência.

A tese vislumbra a potencialidade no futuro de nicho a ser atendido com esse tipo de Plataforma com alto potencial de patente para utilização tanto na esfera privada (em escritórios e empresas de Arquitetura e Urbanismo, Paisagismo e Engenharia Civil), quanto pelo poder público, escolas técnicas e universidades. Vale destacar também a possibilidade da Plataforma atender centros de educação e ao Poder Público como prefeituras, subprefeituras, secretarias e concessionárias de saneamento básico e quaisquer órgãos e entidades que estejam integrados às atuais necessidades de suprir seus técnicos, funcionários e alunos com um conhecimento específico e especializado de área de paisagens e drenagem sustentáveis, bem como indústrias que se interessam em melhorar a qualidade de seus espaços, água consumida e solucionar questões de compensação ambiental e tratamento de seus efluentes.

No final, o que se observa é necessidade de fomentar uma cultura que promova uma visão transdisciplinar do projeto da paisagem, vinculada à atuação de uma equipe de diferentes profissionais, que permite compreender a complexidade dos temas apresentados por uma sociedade brasileira tão diversificada e com demandas distintas. A ideia se baseia na constatação de que, em um ambiente democrático, marcado por sociedades plurais, os desafios para o arquiteto paisagista são muitos e, por isso, qualquer tipo de solução depende, em primeiro lugar, da construção de uma visão transdisciplinar dos problemas. A Plataforma depende da ciência e da solidariedade para seu avanço à velocidade da globalização.

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DO CAPÍTULO 1

As referências do Capítulo 1 foram colocadas à parte por tratar-se de um capítulo de análise de levantamento bibliográfico.

Almeida, C. M. V. B., et al. (2018). "Comparing costs and supply of supporting and regulating services provided by urban parks at different spatial scales." *Ecosystem Services* **30**: 236-247.

Alonzo, M., et al. (2016). "Mapping urban forest structure and function using hyperspectral imagery and lidar data." *Urban Forestry & Urban Greening* **17**: 135-147.

Bae, J. and Y. Ryu (2015). "Land use and land cover changes explain spatial and temporal variations of the soil organic carbon stocks in a constructed urban park." *Landscape and Urban Planning* **136**: 57-67.

Bartlett, M. D. and I. T. James (2011). "A model of greenhouse gas emissions from the management of turf on two golf courses (vol 409, pg 1357, 2011)." *Science of the Total Environment* **409**(23): 5137-5147.

Benedict, M. A., & McMahon, E. T. (2012). *Green infrastructure: Linking landscapes and communities*.

Berland, A. and M. E. Hopton (2014). "Comparing street tree assemblages and associated stormwater benefits among communities in metropolitan Cincinnati, Ohio, USA." *Urban Forestry & Urban Greening* **13**(4): 734-741.

Boukili, V. K. S., et al. (2017). "Assessing the performance of urban forest carbon sequestration models using direct measurements of tree growth." *Urban Forestry & Urban Greening* **24**: 212-221.

Carretero, E. M., et al. (2017). "Urban forest of Mendoza (Argentina): the role of *Morus alba* (Moraceae) in carbon storage." *Carbon Management* **8**(3): 237-244.

Chapin, F. S., III, and A. M. Starfield. (1997). Time lags and novel ecosystems in response to transient climatic change in arctic Alaska. *Climatic Change* **35**: 449-461.

Cheng, X., et al. (2015). "Influence of Park Size and Its Surrounding Urban Landscape Patterns on the Park Cooling Effect." *Journal of Urban Planning and Development* **141**(3).

Clerici, N., et al. (2016). "Estimating Aboveground Biomass and Carbon Stocks in Periurban Andean Secondary Forests Using Very High Resolution Imagery." *Forests* **7**(7).

Cruz, J. C., et al. (2013). "Seed dispersal networks in an urban novel ecosystem." *European Journal of Forest Research* **132**(5-6): 887-897.

Dale, A. G. and S. D. Frank (2014). "Urban warming trumps natural enemy regulation of herbivorous pests." *Ecological Applications* **24**(7): 1596-1607.

- de Araujo Barbosa, C.C., Atkinson, P.M., Dearing, J.A. (2015). Remote sensing of ecosystem services: a systematic review. *Ecol. Indic.* 52, 430–443.
- De Groot, R.S., Alkemade, R., Braat, L., Hein, L., Willemsen, L., 2010. “Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making”. *Ecol. Complex.* 7, 260–272
- De Groot, R., Brander, L., Van Der Ploeg, S., Costanza, R., Bernard, F., Braat, L., Christie, M., Crossman, N., Ghermandi, A., Hein, L., et al., 2012. “Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units”. *Ecosyst. Serv.* 1, 50–61.
- De Groot, R.S., Wilson, M.A., Boumans, R.M., 2002. “A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services”. *Ecol. Econ.* 41, 393–408.
- Delphin, S., et al. (2013). “Mapping potential carbon and timber losses from hurricanes using a decision tree and ecosystem services driver model.” *Journal of Environmental Management* 129: 599-607.
- Dorendorf, J., et al. (2015). “Both tree and soil carbon need to be quantified for carbon assessments of cities.” *Urban Forestry & Urban Greening* 14(3): 447-455.
- Elmqvist, T., Fragkias, M., Goodness, J., Güneralp, B., Marcotullio, P. J., McDonald, R. I., Parnell, S., Schewenius, M., Sendstad, M., Seto, K., & Wilkinson, C. (Eds.). *Urbanization, biodiversity and ecosystem services: challenges and opportunities: a global assessment*. New York, NY: Springer, 2013.
- Erol, A. and T. O. Randhir (2013). “Watershed ecosystem modeling of land-use impacts on water quality.” *Ecological Modelling* 270: 54-63.
- Escobedo, F., et al. (2010). “Analyzing the efficacy of subtropical urban forests in offsetting carbon emissions from cities.” *Environmental Science & Policy* 13(5): 362-372.
- Fissore, C., et al. (2012). “Potential impacts of emerald ash borer invasion on biogeochemical and water cycling in residential landscapes across a metropolitan region.” *Urban Ecosystems* 15(4): 1015-1030.
- Freedman, B., et al. (1996). “Tree species composition, structure, and carbon storage in stands of urban forest of varying character in Halifax, Nova Scotia.” *Canadian Field-Naturalist* 110(4): 675-682.
- Friess, D. A., et al. (2016). “Mangrove forests store high densities of carbon across the tropical urban landscape of Singapore.” *Urban Ecosystems* 19(2): 795-810.
- Giannico, V., et al. (2016). “Estimating Stand Volume and Above-Ground Biomass of Urban Forests Using LiDAR.” *Remote Sensing* 8(4).
- Gonzalez-Sosa, E., et al. (2017). “A methodology to quantify ecohydrological services of street trees.” *Ecohydrology & Hydrobiology* 17(3): 190-206.
- Gotsch, S. G., et al. (2018). “Evaluating the effectiveness of urban trees to mitigate storm water runoff via transpiration and stemflow.” *Urban Ecosystems* 21(1): 183-195.

Golay, M. G., et al. (2016). "Carbon, nitrogen and phosphorus storage across a growing season by the herbaceous layer in urban and preserved temperate hardwood forests." *Applied Vegetation Science* **19**(4): 689-699.

Graca, M., et al. (2018). "Assessing how green space types affect ecosystem services delivery in Porto, Portugal." *Landscape and Urban Planning* **170**: 195-208.

Gratani, L. and L. Varone (2014). "Atmospheric carbon dioxide concentration variations in Rome: relationship with traffic level and urban park size." *Urban Ecosystems* **17**(2): 501-511.

Greene, C. S. and A. A. Millward (2017). "Getting closure: The role of urban forest canopy density in moderating summer surface temperatures in a large city." *Urban Ecosystems* **20**(1): 141-156.

Haase, D., Frantzeskaki, N., & Elmqvist, T. "Ecosystem services in urban landscapes: Practical applications and governance implications". *Ambio* (2014), **43**: 407-412.

Hall, J. M., et al. (2012). "The potential of tree planting to climate-proof high density residential areas in Manchester, UK." *Landscape and Urban Planning* **104**(3-4): 410-417.

Han, Y., et al. (2018). "Mapping and Quantifying Variations in Ecosystem Services of Urban Green Spaces: A Test Case of Carbon Sequestration at the District Scale for Seoul, Korea (1975-2015)." *International Review for Spatial Planning and Sustainable Development* **6**(3): 110-120.

He, J., et al. (2015). "Meta-analysis for the transfer of economic benefits of ecosystem services provided by wetlands within two watersheds in Quebec, Canada." *Wetlands Ecology and Management* **23**(4): 707-725.

Horn, J., et al. (2015). "The Role of Composition, Invasives, and Maintenance Emissions on Urban Forest Carbon Stocks." *Environmental Management* **55**(2): 431-442.

Hougnér, C., et al. (2006). "Economic valuation of a seed dispersal service in the Stockholm National Urban Park, Sweden." *Ecological Economics* **59**(3): 364-374.

Hui, N., et al. (2017). Soil microbial communities are shaped by vegetation type and park age in cities under cold climate. *Environmental Microbiology* **19**(3): 1281-1295

Hurley, P. T. and M. R. Emery (2018). "Locating provisioning ecosystem services in urban forests: Forageable woody species in New York City, USA." *Landscape and Urban Planning* **170**: 266-275.

I-tree Software. Disponivel em: <<https://www.itreetools.org/about.php>> acesso 08 set. 2018

Jaganmohan, M., et al. (2016). "The Bigger, the Better? The Influence of Urban Green Space Design on Cooling Effects for Residential Areas." *Journal of Environmental Quality* **45**(1): 134-145.

Jujnovsky, J., et al. (2012). "Assessment of Water Supply as an Ecosystem Service in a Rural-Urban Watershed in Southwestern Mexico City." *Environmental Management* **49**(3): 690-702.

Karr, J.R. & Dudley, D.R. "Ecological perspective on water quality goals." *Environmental Management* (1981), 5-55

- Kermavnar, J. and U. Vilhar (2017). "Canopy precipitation interception in urban forests in relation to stand structure." *Urban Ecosystems* **20**(6): 1373-1387.
- Klingberg, J., et al. (2017). "Mapping leaf area of urban greenery using aerial LiDAR and ground-based measurements in Gothenburg, Sweden." *Urban Forestry & Urban Greening* **26**: 31-40.
- Ko, Y., et al. (2015). "Long-term monitoring of Sacramento Shade program trees: Tree survival, growth and energy-saving performance." *Landscape and Urban Planning* **143**: 183-191.
- Kraxner, F., et al. (2016). "Bioenergy and the city - What can urban forests contribute?" *Applied Energy* **165**: 990-1003.
- Kroeger, T., et al. (2018). "Where the people are: Current trends and future potential targeted investments in urban trees for PM<sub>10</sub> and temperature mitigation in 27 US Cities." *Landscape and Urban Planning* **177**: 227-240.
- Liu, C. and X. Li (2012). "Carbon storage and sequestration by urban forests in Shenyang, China." *Urban Forestry & Urban Greening* **11**(2): 121-128.
- Lv, H., et al. (2016). "Quantifying Tree and Soil Carbon Stocks in a Temperate Urban Forest in Northeast China." *Forests* **7**(9).
- LIMA, C.; QUEIROGA, E.F.; GONÇALVES, P.C (2007). *Processos participativos e Universidade. Balanço de uma experiência em disciplina de paisagismo. Paisagem e Ambiente: ensaio, São Paulo, n.24, p.89-98.*
- Liu, H., et al. (2018). "Associations of multiple ecosystem services and disservices of urban park ecological infrastructure and the linkages with socioeconomic factors." *Journal of Cleaner Production* **174**: 868-879.
- Martinelli, L. A.; MOREIRA, M. Z.; BROWN, I. F.; VICTORIA, R. L. Incertezas associadas às estimativas de biomassa em florestas tropicais: o exemplo de uma floresta situada no estado de Rondônia. In: *Seminário Emissão x Seqüestro de CO<sub>2</sub>. Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, 1994. 221p*
- Mariani, L., et al. (2016). "Climatological analysis of the mitigating effect of vegetation on the urban heat island of Milan, Italy." *Science of the Total Environment* **569**: 762-773.
- Moricca, S., et al. (2018). "Biotic Factors Affecting Ecosystem Services in Urban and Peri-Urban Forests in Italy: The Role of Introduced and Impending Pathogens and Pests." *Forests* **9**(2).
- Marques, G. F., et al. (2017). "The economic value of the flow regulation environmental service in a Brazilian urban watershed." *Journal of Hydrology* **554**: 406-419.
- McDonough, K., et al. (2017). "Understanding the Relationship between Stormwater Control Measures and Ecosystem Services in an Urban Watershed." *Journal of Water Resources Planning and Management* **143**(5).
- McPherson, E. G., et al. (2013). "A new approach to quantify and map carbon stored, sequestered and emissions avoided by urban forests." *Landscape and Urban Planning* **120**: 70-84.
- McPherson, E. G., et al. (2018). "Shade factors for 149 taxa of in-leaf urban trees in the USA." *Urban Forestry & Urban Greening* **31**: 204-211.

- Mexia, T., et al. (2018). "Ecosystem services: Urban parks under a magnifying glass." *Environmental Research* **160**: 469-478.
- Morse, Nathaniel et al. Novel ecosystems in the Anthropocene a revision of the novel ecosystem concept for pragmatic applications *Ecology and Society*, V.19, 2, 2014.
- Niemeijer, D., de Groot, R.S., A conceptual framework for selecting environmental indicator sets. *Ecol. Indic.* (2008) **8**, 14–25.
- Ning, Z. H., et al. (2016). "Modeling air pollutant removal, carbon storage, and CO<sub>2</sub> sequestration potential of urban forests in Scotlandville, Louisiana, USA." *Forest-Biogeosciences and Forestry* **9**: 860-867.
- Nowak, D. J., et al. (2013). "Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States." *Environmental Pollution* **178**: 229-236.
- Pace, R., et al. (2018). "Modeling Ecosystem Services for Park Trees: Sensitivity of i-Tree Eco Simulations to Light Exposure and Tree Species Classification." *Forests* **9**(2).
- Pataki, D. E., et al. (2013). "A trait-based ecology of the Los Angeles urban forest." *Ecosphere* **4**(6). Plant functional trait classifications have provided a useful framework for understanding the biodiversity
- PELLEGRINO, P.R.; GUEDES, P.P.; PIRILLO, F.C.; FERNANDES, S.A. Paisagem da borda: uma estratégia para a condução das águas, da biodiversidade e das pessoas. In: COSTA, Lucia M. S. A.. (Org.). Rios e paisagem urbana em cidades brasileiras. Rio de Janeiro: Viana & Mosley, PROURB, 2006, p. 57-76.
- Potschin-Young, M., Czucz, B., Liqueite, C., Maes, J., Rusch, G. and Haines-Young, R. (2017): "Intermediate Ecosystem Services: An Empty Concept?" *Ecosystem Services*. **27**: 124-126
- Reynolds, C. C., et al. (2017). "Does "Greening" of Neotropical Cities Considerably Mitigate Carbon Dioxide Emissions? The Case of Medellin, Colombia." *Sustainability* **9**(5).
- Riley, C. B., et al. (2018). "Exotic trees contribute to urban forest diversity and ecosystem services in inner-city Cleveland, OH." *Urban Forestry & Urban Greening* **29**: 367-376.
- Robinson, S. L. and J. T. Lundholm (2012). "Ecosystem services provided by urban spontaneous vegetation." *Urban Ecosystems* **15**(3): 545-557.
- SANDRE, A.F. O Planejamento Ambiental à luz da Ecologia da Paisagem Estudo Aplicado da Zona de Amortecimento do Parque Estadual da Cantareira. 2017. 235 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.
- Schmitt-Harsh, M., et al. (2013). "Private residential urban forest structure and carbon storage in a moderate-sized urban area in the Midwest, United States." *Urban Forestry & Urban Greening* **12**(4): 454-463.
- Singh, K. K., et al. (2017). "Assessing effect of dominant land-cover types and pattern on urban forest biomass estimated using LiDAR metrics." *Urban Ecosystems* **20**(2): 265-275.

- Scholes, R.J.; Reyers, B.; Biggs, R.; Spierenburg, M.J.; Duriappah, A. "Multi-scale and cross-scale assessments of social-ecological systems and their ecosystem services." *Current Opinion in Environmental Sustainability* (2013), **5**: 16–25
- Schröter, M., van der Zanden, E.H., van Oudenhoven, A.P.E., Remme, R.P., Serna-Chavez, H.M., de Groot, R.S. & Opdam, P. (2014) "Ecosystem Services as a Contested Concept: A Synthesis of Critique and Counter-Arguments." *Conservation Letters*. **7**(6), 514–523.
- Strohbach, M. W. and D. Haase (2012). "Above-ground carbon storage by urban trees in Leipzig, Germany: Analysis of patterns in a European city." *Landscape and Urban Planning* **104**(1): 95-104.
- Tansley, A.G. "The use and abuse of vegetational concepts and terms." *Ecology* (1935) **16**: 284-307
- Tang, Z., et al. (2018). "Evaluating environmental equities of urban forest in terms of cooling services using ETM plus and Google data." *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* **46**(2): 287-296.
- Teng, C.-J., et al. (2012). "Economic and environmental analysis of using constructed riparian wetlands to support urbanized municipal wastewater treatment." *Ecological Engineering* **44**: 249-258.
- Tigges, J., et al. (2017). "Modeling above-ground carbon storage: a remote sensing approach to derive individual tree species information in urban settings." *Urban Ecosystems* **20**(1): 97-111.
- Timilsina, N., et al. (2014a). "Analyzing the causal factors of carbon stores in a subtropical urban forest." *Ecological Complexity* **20**: 23-32.
- Timilsina, N., et al. (2014b). "Tree biomass, wood waste yield, and carbon storage changes in an urban forest." *Landscape and Urban Planning* **127**: 18-27.
- Vaccari, F. P., et al. (2013). "Carbon dioxide balance assessment of the city of Florence (Italy), and implications for urban planning." *Landscape and Urban Planning* **120**: 138-146.
- Van Doorn, N. S. and E. G. McPherson (2018). "Demographic trends in Claremont California's street tree population." *Urban Forestry & Urban Greening* **29**: 200-211.
- Van Stan, J. T., II, et al. (2015). "Forest Canopy Interception Loss Across Temporal Scales: Implications for Urban Greening Initiatives." *Professional Geographer* **67**(1): 41-51.
- Vieira, J., et al. (2018). "Green spaces are not all the same for the provision of air purification and climate regulation services: The case of urban parks." *Environmental Research* **160**: 306-313.
- Xu, X., et al. (2017). "The cooling and energy saving effect of landscape design parameters of urban park in summer: A case of Beijing, China." *Energy and Buildings* **149**: 91-100.
- Wang, Y.-C. and J.-C. Lin (2012). "Air quality enhancement zones in Taiwan: A carbon reduction benefit assessment." *Forest Policy and Economics* **23**: 40-45.
- Yao, X., et al. (2017). "What Causal Drivers Influence Carbon Storage in Shanghai, China's Urban and Peri-Urban Forests?" *Sustainability* **9**(4).

Yi, H., et al. (2018). "Spatial and temporal changes in biodiversity and ecosystem services in the San Antonio River Basin, Texas, from 1984 to 2010." *Science of the Total Environment* **619**: 1259-1271.

Zhao, C. and H. A. Sander (2018). "Assessing the sensitivity of urban ecosystem service maps to input spatial data resolution and method choice." *Landscape and Urban Planning* **175**: 11-22.

Zinia, N. J. and P. McShane (2018). "Significance of Urban Green and Blue Spaces: Identifying and Valuing Provisioning Ecosystem Services in Dhaka City." *European Journal of Sustainable Development* **7**(1): 435-448.

Wang, W., et al. (2018). "Microclimate regulating functions of urban forests in Changchun City (north-east China) and their associations with different factors." *Iforest-Biogeosciences and Forestry* **11**: 140-147.

Woldegerima, T., et al. (2017). "Ecosystem services assessment of the urban forests of Addis Ababa, Ethiopia." *Urban Ecosystems* **20**(3): 683-699.

## Poluição e Qualidade do ar

Baro, F., et al. (2014). "Contribution of Ecosystem Services to Air Quality and Climate Change Mitigation Policies: The Case of Urban Forests in Barcelona, Spain." *Ambio* **43**(4): 466-479.

Baumgardner, D., et al. (2012). "The role of a peri-urban forest on air quality improvement in the Mexico City megalopolis." *Environmental Pollution* **163**: 174-183.

Bottalico, F., et al. (2017). "A spatially-explicit method to assess the dry deposition of air pollution by urban forests in the city of Florence, Italy." *Urban Forestry & Urban Greening* **27**: 221-234.

Escobedo, P. J., et al. (2008). "Analyzing the cost effectiveness of Santiago, Chile's policy of using urban forests to improve air quality." *Journal of Environmental Management* **86**(1): 148-157.

Fares, S., et al. (2016). «Particle deposition in a peri-urban Mediterranean forest.» *Environmental Pollution* **218**: 1278-1286.

Fusaro, L., et al. (2018). "Modeling ozone uptake by urban and peri-urban forest: a case study in the Metropolitan City of Rome." *Environmental Science and Pollution Research* **25**(9): 8190-8205.

Fusaro, L., et al. (2015). "Urban and pen-urban forests in the metropolitan area of Rome: Ecophysiological response of *Quercus ilex* L. in two green infrastructures in an ecosystem services perspective." *Urban Forestry & Urban Greening* **14**(4): 1147-1156.

Garcia-Gomez, H., et al. (2016). "Atmospheric pollutants in peri-urban forests of *Quercus ilex*: evidence of pollution abatement and threats for vegetation." *Environmental Science and Pollution Research* **23**(7): 6400-6413.

Guidolotti, G., et al. (2017). "Promoting the potential of flux-measuring stations in urban parks: An innovative case study in Naples, Italy." *Agricultural and Forest Meteorology* **233**: 153-162.

Guidolotti, G., et al. (2016). "Comparing estimates of EMEP MSC-W and UFORE models in air pollutant reduction by urban trees." *Environmental Science and Pollution Research* **23**(19): 19541-19550.

Irga, P. J., et al. (2015). "Does urban forestry have a quantitative effect on ambient air quality in an urban environment?" *Atmospheric Environment* **120**: 173-181.

Jim, C. Y. and W. Y. Chen (2008). "Assessing the ecosystem service of air pollutant removal by urban trees in Guangzhou (China)." *Journal of Environmental Management* **88**(4): 665-676.

Manes, F., et al. (2012). "Urban ecosystem services: tree diversity and stability of tropospheric ozone removal." *Ecological Applications* **22**(1): 349-360.

Marando, F., et al. (2016). "Removal of PM<sub>10</sub> by Forests as a Nature-Based Solution for Air Quality Improvement in the Metropolitan City of Rome." *Forests* **7**(7).

Pierre, S., et al. (2016). "Soil microbial nitrogen cycling and nitrous oxide emissions from urban afforestation in the New York City Afforestation Project." *Urban Forestry & Urban Greening* **15**: 149-154.

Selmi, W., et al. (2016). "Air pollution removal by trees in public green spaces in Strasbourg city, France." *Urban Forestry & Urban Greening* **17**: 192-201.

Setälä, H., et al. (2017). "Urban parks provide ecosystem services by retaining metals and nutrients in soils." *Environmental Pollution* **231**: 451-461.

Setälä, H., et al. (2013). «Does urban vegetation mitigate air pollution in northern conditions?» *Environmental Pollution* **183**: 104-112.

Silli, V., et al. (2015). "REMOVAL OF AIRBORNE PARTICULATE MATTER BY VEGETATION IN AN URBAN PARK IN THE CITY OF ROME (ITALY): AN ECOSYSTEM SERVICES PERSPECTIVE." *Annali Di Botanica* **5**: 53-62.

Viippola, V., et al. (2016). "Gaseous polycyclic aromatic hydrocarbon concentrations are higher in urban forests than adjacent open areas during summer but not in winter - Exploratory study." *Environmental Pollution* **208**: 233-240.

Viippola, V., et al. (2018). "The effects of trees on air pollutant levels in peri-urban near-road environments." *Urban Forestry & Urban Greening* **30**: 62-71.

Yan, G., et al. (2018). "Effectiveness of wetland plants as biofilters for inhalable particles in an urban park." *Journal of Cleaner Production* **194**: 435-443.

Yli-Pelkonen, V., et al. (2017). "Trees in urban parks and forests reduce O<sub>3</sub>, but not NO<sub>2</sub> concentrations in Baltimore, MD, USA." *Atmospheric Environment* **167**: 73-80.

Yli-Pelkonen, V., et al. (2017). "Urban forests near roads do not reduce gaseous air pollutant concentrations but have an impact on particles levels." *Landscape and Urban Planning* **158**: 39-47.

Serviços Culturais

- Adinolfi, C., et al. (2014). "Relation between visitors' behaviour and characteristics of green spaces in the city of Granada, south-eastern Spain." *Urban Forestry & Urban Greening* **13**(3): 534-542.
- Alonzo, M., et al. (2014). "Urban tree species mapping using hyperspectral and lidar data fusion." *Remote Sensing of Environment* **148**: 70-83.
- Anamika, A. and C. Pradeep (2016). "Urban Vegetation and Air Pollution Mitigation: Some Issues from India." *Chinese Journal of Urban and Environmental Studies* **4**(1).
- Barthel, S., et al. (2005). "History and local management of a biodiversity-rich, urban cultural landscape." *Ecology and Society* **10**(2).
- Baur, J. W. R., et al. (2013). "Attitudes about urban nature parks: A case study of users and nonusers in Portland, Oregon." *Landscape and Urban Planning* **117**: 100-111.
- Baur, J. W. R., et al. (2016). "Public attitudes about urban forest ecosystem services management: A case study in Oregon cities." *Urban Forestry & Urban Greening* **17**: 42-53.
- Bertram, C. and N. Larondelle (2017). "Going to the Woods Is Going Home: Recreational Benefits of a Larger Urban Forest Site - A Travel Cost Analysis for Berlin, Germany." *Ecological Economics* **132**: 255-263.
- Bertram, C. and K. Rehdanz (2015). "Preferences for cultural urban ecosystem services: Comparing attitudes, perception, and use." *Ecosystem Services* **12**: 187-199.
- Booth, J. E., et al. (2010). "Who Benefits from Recreational Use of Protected Areas?" *Ecology and Society* **15**(3).
- Brown, G., et al. (2014). "Using participatory GIS to measure physical activity and urban park benefits." *Landscape and Urban Planning* **121**: 34-44.
- Byrne, J. and J. Wolch (2009). "Nature, race, and parks: past research and future directions for geographic research." *Progress in Human Geography* **33**(6): 743-765.
- Calfapietra, C., et al. (2015). "Urban plant physiology: adaptation-mitigation strategies under permanent stress." *Trends in Plant Science* **20**(2): 72-75.
- Caynes, R. J. C., et al. (2016). "Using high-resolution LiDAR data to quantify the three-dimensional structure of vegetation in urban green space." *Urban Ecosystems* **19**(4): 1749-1765.
- Chan, C.-S. (2017). "Health-related elements in green space branding in Hong Kong." *Urban Forestry & Urban Greening* **21**: 192-202.
- Cole, K. and C. Bennington (2017). "From the Ground Up: Natural History Education in an Urban Campus Restoration." *Southeastern Naturalist* **16**: 132-145.
- Davies, H. J., et al. (2018). "Business attitudes towards funding ecosystem services provided by urban forests." *Ecosystem Services* **32**: 159-169.

- Dobbs, C., et al. (2014). "Multiple ecosystem services and disservices of the urban forest establishing their connections with landscape structure and sociodemographics." *Ecological Indicators* **43**: 44-55.
- Donahue, M. L., et al. (2018). "Using social media to understand drivers of urban park visitation in the Twin Cities, MN." *Landscape and Urban Planning* **175**: 1-10.
- Dou, Y., et al. (2017). "Assessing the importance of cultural ecosystem services in urban areas of Beijing municipality." *Ecosystem Services* **24**: 79-90.
- Escobedo, F. J., et al. (2011). "Urban forests and pollution mitigation: Analyzing ecosystem services and disservices." *Environmental Pollution* **159**(8-9): 2078-2087.
- Estevo, C. A., et al. (2017). "Urban parks can maintain minimal resilience for Neotropical bird communities." *Urban Forestry & Urban Greening* **27**: 84-89.
- Fischer, L. K., et al. (2018). "Recreational ecosystem services in European cities: Sociocultural and geographical contexts matter for park use." *Ecosystem Services* **31**: 455-467.
- Fusco, N. A., et al. (2017). "Urban forests sustain diverse carrion beetle assemblages in the New York City metropolitan area." *PeerJ* **5**.
- Gerrish, E. and S. L. Watkins (2018). "The relationship between urban forests and income: A meta-analysis." *Landscape and Urban Planning* **170**: 293-308.
- Giedych, R. and G. Maksymiuk (2017). "Specific Features of Parks and Their Impact on Regulation and Cultural Ecosystem Services Provision in Warsaw, Poland." *Sustainability* **9**(5).
- Graca, M. S., et al. (2017). "Assessing mismatches in ecosystem services proficiency across the urban fabric of Porto (Portugal): The influence of structural and socioeconomic variables." *Ecosystem Services* **23**: 82-93.
- Guo, P., et al. (2018). "Urban Plant Diversity in Relation to Land Use Types in Built-up Areas of Beijing." *Chinese Geographical Science* **28**(1): 100-110.
- Hall, M. H. P. (2011). "A preliminary assessment of socio-ecological metabolism for three neighborhoods within a rust belt urban ecosystem." *Ecological Modelling* **223**(1): 20-31.
- Herath, S., et al. (2015). "The value of the greenbelt in Vienna: a spatial hedonic analysis." *Annals of Regional Science* **54**(2): 349-374.
- Huang, C., et al. (2018). "Assessment and optimization of green space for urban transformation in resources-based city - A case study of Lengshuijiang city, China." *Urban Forestry & Urban Greening* **30**: 295-306.
- Jennings, V., et al. (2016). "Advancing Sustainability through Urban Green Space: Cultural Ecosystem Services, Equity, and Social Determinants of Health." *International Journal of Environmental Research and Public Health* **13**(2).
- Jim, C. Y. and W. Y. Chen (2006). "Recreation-amenity use and contingent valuation of urban greenspaces in Guangzhou, China." *Landscape and Urban Planning* **75**(1-2): 81-96.

- Jones, B. A. (2016). "Work more and play less? Time use impacts of changing ecosystem services: The case of the invasive emerald ash borer." *Ecological Economics* **124**: 49-58.
- Kothencz, G. and T. Blaschke (2017). "Urban parks: Visitors' perceptions versus spatial indicators." *Land Use Policy* **64**: 233-244.
- Kowarik, I. (2018). "Urban wilderness: Supply, demand, and access." *Urban Forestry & Urban Greening* **29**: 336-347.
- Langemeyer, J., et al. (2015). "Contrasting values of cultural ecosystem services in urban areas: The case of park Montjuic in Barcelona." *Ecosystem Services* **12**: 178-186.
- Larson, L. R., et al. (2016). "Public Parks and Wellbeing in Urban Areas of the United States." *Plos One* **11**(4).
- Lee, Y.-C. and K.-H. Kim (2015). "Attitudes of Citizens towards Urban Parks and Green Spaces for Urban Sustainability: The Case of Gyeongsan City, Republic of Korea." *Sustainability* **7**(7): 8240-8254.
- Liu, H., et al. (2017). "The impact of socio-demographic, environmental, and individual factors on urban park visitation in Beijing, China." *Journal of Cleaner Production* **163**: S181-S188.
- Liu, W., et al. (2017). "Spatial decay of recreational services of urban parks: Characteristics and influencing factors." *Urban Forestry & Urban Greening* **25**: 130-138.
- Massoni, E. S., et al. (2018). "Bigger, more diverse and better? Mapping structural diversity and its recreational value in urban green spaces." *Ecosystem Services* **31**: 502-516.
- McGee, J. A., III, et al. (2012). "Using Geospatial Tools to Assess the Urban Tree Canopy: Decision Support for Local Governments." *Journal of Forestry* **110**(5): 275-286.
- Middle, I., et al. (2014). "Integrating community gardens into public parks: An innovative approach for providing ecosystem services in urban areas." *Urban Forestry & Urban Greening* **13**(4): 638-645.
- Morales-Vasquez, E., et al. (2018). "Urban park vegetation cover predicts the removal of human food waste by animals." *Urban Forestry & Urban Greening* **32**: 92-98.
- Nemec, K. T., et al. (2011). "Woody Invasions of Urban Trails and the Changing Face of Urban Forests in the Great Plains, USA." *American Midland Naturalist* **165**(2): 241-256.
- Nita, M. R., et al. (2018). "Using local knowledge and sustainable transport to promote a greener city The case of Bucharest, Romania." *Environmental Research* **160**: 331-338.
- Oldfield, E. E., et al. (2014). "Positive effects of afforestation efforts on the health of urban soils." *Forest Ecology and Management* **313**: 266-273.
- Palliwoda, J., et al. (2017). "Human-biodiversity interactions in urban parks: The species level matters." *Landscape and Urban Planning* **157**: 394-406.

- Pougy, N., et al. (2014). "Urban forests and the conservation of threatened plant species: the case of the Tijuca National Park, Brazil." *Natureza & Conservacao* **12**(2): 170-173.
- Rall, E., et al. (2017). "Exploring city-wide patterns of cultural ecosystem service perceptions and use." *Ecological Indicators* **77**: 80-95.
- Ribeiro, F. P. and K. T. Ribeiro (2016). "Participative mapping of cultural ecosystem services in Pedra Branca State Park, Brazil." *Natureza & Conservacao* **14**(2): 120-127.
- Sanesi, G., et al. (2017). "Urban green infrastructure and urban forests: a case study of the Metropolitan Area of Milan." *Landscape Research* **42**(2): 164-175.
- Schultz, C. L., et al. (2016). "Potential Measures for Linking Park and Trail Systems to Public Health." *Journal of Park and Recreation Administration* **34**(1): 4-23.
- Scopelliti, M., et al. (2016). "Staying in touch with nature and well-being in different income groups: The experience of urban parks in Bogota." *Landscape and Urban Planning* **148**: 139-148.
- Shackleton, S., et al. (2015). "Multiple benefits and values of trees in urban landscapes in two towns in northern South Africa." *Landscape and Urban Planning* **136**: 76-86.
- Skandrani, Z., et al. (2015). "On Public Influence on People's Interactions with Ordinary Biodiversity." *Plos One* **10**(7).
- Solecki, W. D. and J. M. Welch (1995). "URBAN PARKS - GREEN SPACES OR GREEN WALLS." *Landscape and Urban Planning* **32**(2): 93-106.
- Staley, D. C. (2015). "Urban forests and solar power generation: partners in urban heat island mitigation." *International Journal of Low-Carbon Technologies* **10**(1): 78-86.
- Szuecs, L., et al. (2015). "Assessment and illustration of cultural ecosystem services at the local scale - A retrospective trend analysis." *Ecological Indicators* **50**: 120-134.
- Tu, X., et al. (2018). "Contrary to Common Observations in the West, Urban Park Access Is Only Weakly Related to Neighborhood Socioeconomic Conditions in Beijing, China." *Sustainability* **10**(4).
- Turner, K., et al. (2005). "Plant communities of selected urbanized areas of Halifax, Nova Scotia, Canada." *Landscape and Urban Planning* **71**(2-4): 191-206.
- Vaz, A. S., et al. (2018). "An indicator-based approach to analyse the effects of non-native tree species on multiple cultural ecosystem services." *Ecological Indicators* **85**: 48-56.
- Watkins, S. L. and E. Gerrish (2018). "The relationship between urban forests and race: A meta-analysis." *Journal of Environmental Management* **209**: 152-168.
- Zhou, M. (2017). "Valuing environmental amenities through inverse optimization: Theory and case study." *Journal of Environmental Economics and Management* **83**: 217-230.

Zwierzchowska, I., et al. (2018). "Multi-scale assessment of cultural ecosystem services of parks in Central European cities." *Urban Forestry & Urban Greening* **30**: 84-97.

## Percepção

Almas, A. D. and T. M. Conway (2017). "Residential Knowledge of Native Tree Species: A Case Study of Residents in Four Southern Ontario Municipalities." *Environmental Management* **59**(1): 21-33.

Arnberger, A., et al. (2017). "Emerald ash borer impacts on visual preferences for urban forest recreation settings." *Urban Forestry & Urban Greening* **27**: 235-245.

Barona, C. O. (2015). "Adopting public values and climate change adaptation strategies in urban forest management: A review and analysis of the relevant literature." *Journal of Environmental Management* **164**: 215-221.

Buchel, S. and N. Frantzeskaki (2015). "Citizens' voice: A case study about perceived ecosystem services by urban park users in Rotterdam, the Netherlands." *Ecosystem Services* **12**: 169-177.

Campbell, L. K., et al. (2016). "A social assessment of urban parkland: Analyzing park use and meaning to inform management and resilience planning." *Environmental Science & Policy* **62**: 34-44.

Canedoli, C., et al. (2017). "Public Participatory Mapping of Cultural Ecosystem Services: Citizen Perception and Park Management in the Parco Nord of Milan (Italy)." *Sustainability* **9**(6).

Chen, B. and Y. Nakama (2015). "Residents' preference and willingness to conserve homestead woodlands: Coastal villages in Okinawa Prefecture, Japan." *Urban Forestry & Urban Greening* **14**(4): 919-931.

Chen, B. and X. Qi (2018). "Protest response and contingent valuation of an urban forest park in Fuzhou City, China." *Urban Forestry & Urban Greening* **29**: 68-76.

Chen, W. Y. and C. Y. Jim (2011). "Resident valuation and expectation of the urban greening project in Zhuhai, China." *Journal of Environmental Planning and Management* **54**(7): 851-869.

Cinis, F., et al. (2017). "An investigation of expectations of urban forest users: Example of Western Black Sea Region." *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty* **17**(3): 383-393.

Conway, T. M. (2016). "Tending their urban forest: Residents' motivations for tree planting and removal." *Urban Forestry & Urban Greening* **17**: 23-32.

Engstrom, G. and A. Gren (2017). "Capturing the value of green space in urban parks in a sustainable urban planning and design context: pros and cons of hedonic pricing." *Ecology and Society* **22**(2).

Goldar, B. and S. Misra (2001). "Valuation of environmental goods: Correcting for bias in contingent valuation studies based on willingness-to-accept." *American Journal of Agricultural Economics* **83**(1): 150-156.

Gungor, B. S., et al. (2018). "Does Plant Knowledge within Urban Forests and Parks Directly Influence Visitor Pro-Environmental Behaviors." *Forests* **9**(4).

- Hasani, M., et al. (2017). "Measuring satisfaction: analyzing the relationships between sociocultural variables and functionality of urban recreational parks." *Environment Development and Sustainability* **19**(6): 2577-2594.
- Ives, C. D., et al. (2017). "Capturing residents' values for urban green space: Mapping, analysis and guidance for practice." *Landscape and Urban Planning* **161**: 32-43.
- Jim, C. Y. (2006). "Formulaic expert method to integrate evaluation and valuation of heritage trees in compact city." *Environmental Monitoring and Assessment* **116**(1-3): 53-80.
- Jim, C. Y. and W. Y. Chen (2010). "External effects of neighbourhood parks and landscape elements on high-rise residential value." *Land Use Policy* **27**(2): 662-670.
- Kothencz, G. and T. Blaschke (2017). "Urban parks: Visitors' perceptions versus spatial indicators." *Land Use Policy* **64**: 233-244.
- Kuemmerling, M. and N. Mueller (2012). "The relationship between landscape design style and the conservation value of parks: A case study of a historical park in Weimar, Germany." *Landscape and Urban Planning* **107**(2): 111-117.
- Kwak, S. J., et al. (2003). "Estimating the public's value for urban forest in the Seoul metropolitan area of Korea: A contingent valuation study." *Urban Studies* **40**(11): 2207-2221.
- Larson, L. R., et al. (2016). "Ecosystem services and urban greenways: What's the public's perspective?" *Ecosystem Services* **22**: 111-116.
- Li, Y. and Y. Meng (2012). "Research on residents' selection on supplying urban forestry ecological service Empirical analysis on sampling survey in Harbin." *Forest Policy and Economics* **15**: 22-26.
- Livingstone, S. W., et al. (2018). "Ecological engagement determines ecosystem service valuation: A case study from Rouge National Urban Park in Toronto, Canada." *Ecosystem Services* **30**: 86-97.
- Lo, A. Y. H. and C. Y. Jim (2012). "Citizen attitude and expectation towards greenspace provision in compact urban milieu." *Land Use Policy* **29**(3): 577-586.
- Lopez-Mosquera, N. and M. Sanchez (2011). "Emotional and satisfaction benefits to visitors as explanatory factors in the monetary valuation of environmental goods. An application to periurban green spaces." *Land Use Policy* **28**(1): 151-166.
- Melichar, J. and K. Kaprova (2013). "Revealing preferences of Prague's homebuyers toward greenery amenities: The empirical evidence of distance-size effect." *Landscape and Urban Planning* **109**(1): 56-66.
- Meyer, M. A. and C. Schulz (2017). "Do ecosystem services provide an added value compared to existing forest planning approaches in Central Europe?" *Ecology and Society* **22**(3).
- Nielsen, A. B., et al. (2018). "The impact of field layer characteristics on forest preference in Southern Scandinavia." *Landscape and Urban Planning* **170**: 221-230.

- Ordóñez, C., et al. (2017). "Public values associated with urban forests: Synthesis of findings and lessons learned from emerging methods and cross-cultural case studies." *Urban Forestry & Urban Greening* **25**: 74-84.
- Park, S. (2017). "A Preliminary Study on Connectivity and Perceived Values of Community Green Spaces." *Sustainability* **9**(5).
- Plant, L., et al. (2017). "Evaluating Revealed Preferences for Street Tree Cover Targets: A Business Case for Collaborative Investment in Leafier Streetscapes in Brisbane, Australia." *Ecological Economics* **134**: 238-249.
- Popoola, L. and O. Ajewole (2002). "Willingness to pay for rehabilitation of Ibadan urban environment through reforestation projects." *International Journal of Sustainable Development and World Ecology* **9**(3): 256-268.
- Sander, H. A. and C. Zhao (2015). "Urban green and blue: Who values what and where?" *Land Use Policy* **42**: 194-209.
- Schindler, M., et al. (2018). "Spatial sorting, attitudes and the use of green space in Brussels." *Urban Forestry & Urban Greening* **31**: 169-184.
- Schmidt, K., et al. (2016). "The Sociocultural Value of Upland Regions in the Vicinity of Cities in Comparison With Urban Green Spaces." *Mountain Research and Development* **36**(4): 465-474.
- Shanahan, D. F., et al. (2015). "What is the role of trees and remnant vegetation in attracting people to urban parks?" *Landscape Ecology* **30**(1): 153-165.
- Sirina, N., et al. (2017). "What factors influence the value of an urban park within a medium-sized French conurbation?" *Urban Forestry & Urban Greening* **24**: 45-54.
- Soto, J. R., et al. (2018). "Consumer demand for urban forest ecosystem services and disservices: Examining trade-offs using choice experiments and best-worst scaling." *Ecosystem Services* **29**: 31-39.
- Southon, G. E., et al. (2017). "Biodiverse perennial meadows have aesthetic value and increase residents' perceptions of site quality in urban green-space." *Landscape and Urban Planning* **158**: 105-118.
- Sreetheran, M. (2017). "Exploring the urban park use, preference and behaviours among the residents of Kuala Lumpur, Malaysia." *Urban Forestry & Urban Greening* **25**: 85-93.
- Swapan, M. S. H., et al. (2017). "Contextual variations in perceived social values of ecosystem services of urban parks: A comparative study of China and Australia." *Cities* **61**: 17-26.
- Tajima, K. (2003). "New estimates of the demand for urban green space: Implications for valuing the environmental benefits of Boston's big dig project." *Journal of Urban Affairs* **25**(5): 641-655.
- Visscher, R. S., et al. (2014). "Exurban residential household behaviors and values: Influence of parcel size and neighbors on carbon storage potential." *Landscape and Urban Planning* **132**: 37-46.
- Wyman, M., et al. (2012). "Community Leader Perceptions and Attitudes toward Coastal Urban Forests and Hurricanes in Florida." *Southern Journal of Applied Forestry* **36**(3): 152-158.

# REFERÊNCIAS

AHMAD, A. M., ALIYU, A.A. **The Need for Landscape Information Modeling (LIM) in Landscape Architecture.** Paper presented at the GeoDesign, 3D Modeling and Visualization (13th Digital Landscape Architecture Conference), Bernburg, 2012.

AGKATHIDIS, A. Generative Design Methods. In: **Proceedings of eCAADe.** 2015. p. 47-55.

ALENCAR, J.C.; PELLEGRINO, P. R. M. **Uma nova geração de reservatórios de detenção e retenção através da Infraestrutura verde e azul.** Novas possibilidades de reservação. In: 5º Simpósio sobre sistemas sustentáveis, 2019. 50 Simpósio sobre sistemas sustentáveis, 2019.

ANDERSSON, Erik et al. Scale and context dependence of ecosystem service providing units. **Ecosystem Services**, v. 12, p. 157-164, 2015.

ANDRÉN, H. Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat: a review. **Oikos**, Copenhagen, v. 71, n. 3, p. 355-366, 1994.

AYRES, C.B.N. et al. A influência da vegetação em função do element **água** no conforto Ambiental urbano. Um estudo de caso da Av. Mateo Bei, no prelo.

BAE, J.; RYU, Y. Land use and land cover changes explain spatial and temporal variations of the soil organic carbon stocks in a constructed urban park. **Landscape and Urban Planning**, v. 136, p. 57-67, 2015.

BARBOSA, V. L. & NASCIMENTO JÚNIOR, A.F. Paisagem, ecologia urbana e planejamento ambiental. A expansão urbana em áreas de fundo de vale. **Estudo de caso: Cidade de Bauru, Londrina**, v. 18, n. 2, p313-330, 2009

BARBOSA, T.C. 2015. **Quantificação de biomassa e carbono da parte aérea em uma área de Mata Atlântica, na Serra da Cantareira**, São Paulo. 2015. 101 f. Tese de Doutorado – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

BARTLETT, M. D.; JAMES, I.T. A model of greenhouse gas emissions from the management of turf on two golf courses. **Science of the total environment**, v. 409, n. 8, p. 1357-1367, 2011.

BELESKY,P. Plants, Channels. Disponível em: <<https://groundhog.la>> Acesso 26 jan. 2022

BENEDICT, M.A.; McMAHON, E.T. Green infrastructure: Linking landscapes and communities. **Island Press**, Washington, DC., 2006.

BENEDICT, M.A. et al. **Green infrastructure: linking landscapes and communities.** Island press, 2012.

- BERLAND, A.; HOPTON, M. E. Comparing street tree assemblages and associated stormwater benefits among communities in metropolitan Cincinnati, Ohio, USA. *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 13, n. 4, p. 734-741, 2014.
- BOESING, A.L. et al. Ecosystem services at risk: integrating spatiotemporal dynamics of supply and demand to promote long-term provision. *One Earth*, v. 3, n. 6, p. 704-713, 2020.
- BOUKILI, V.K.S et al. Assessing the performance of urban forest carbon sequestration models using direct measurements of tree growth. *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 24, p. 212-221, 2017.
- BRUN, F.G.K. **Avaliação do potencial de estoque de carbono por Sibipiruna (Poinciana pluviosa var. peltophoroides (Benth.) LP Queiróz) na arborização viária de Maringá-PR.** 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- BURKHARD, B.; KROLL, F.; NEDKOV,S.; MÜLLER, F. Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. *Ecological indicators*, v. 21, p. 17-29, 2012.
- BURKHARD, B.; KANDZIORA, M.; HOU, Y.; MÜLLER, F. Ecosystem service potentials, flows and demands-concepts for spatial localisation, indication and quantification. *Landscape online*, v. 34, p. 1-32, 2014.
- BUSTAMANTE, M. M. C. et al. Tendências e impactos dos vetores de degradação e restauração da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos. **Embrapa Solos-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2019.
- CANTWELL, M. D.; FORMAN R.T.T. Landscape graphs: ecological modeling with graph theory to detect configurations common to diverse landscapes. *Landscape Ecology* n. 8, v.4, p. 239-251, 1993.
- CANTRELL, B.; HOLZMAN, J. Responsive landscapes: strategies for responsive technologies in landscape architecture. **Routledge**, Nova York, 2016.
- CARRETERO, E.M. et al. Urban forest of Mendoza (Argentina): the role of *Morus alba* (Moraceae) in carbon storage. *Carbon Management*, v. 8, n. 3, p. 237-244, 2017.
- CASTRO, D. M.; MOURA, A. C. M. **Procedimentos de data mining na definição de valores para as análises de multicritérios como apoio à tomada de decisões e análise espaciais urbanas.** In: XXIV Congresso Brasileiro de Cartografia. 2010.
- CELANI, G. *CAAD (Computer-Aided Architectural Design)*. In: BRAIDA, Frederico et al. (orgs.) 101 conceitos de arquitetura e urbanismo na era digital. **ProBooks**, 2017.
- CHAPIN, F. S.; STARFIELD, A. M. Time lags and novel ecosystems in response to transient climatic change in arctic Alaska. *Climatic change*, v. 35, n. 4, p. 449-461, 1997.
- CHENG, X. et al. Influence of park size and its surrounding urban landscape patterns on the park cooling effect. **Journal of Urban Planning and Development**, v. 141, n. 3, p. A4014002, 2015.
- CLAGHORN, J. **Algorithmic landscapes: computational methods for the mediation of form, information, and performance in landscape architecture.** 2018. Tese de Doutorado. Hannover: Institutionelles Repositorium der Leibniz Universität Hannover.

CLERICI, N. et al. Estimating aboveground biomass and carbon stocks in periurban Andean secondary forests using very high resolution imagery. **Forests**, v. 7, n. 7, p. 138, 2016.

CORMIER, N.S.; PELLEGRINO, P.R.M. Infraestrutura verde: um a estratégia paisagística para a água urbana. **Paisagem e ambiente: ensaios**, São Paulo, n. 25, p.125-142, 2008.

CRUZ, J. C. et al. Seed dispersal networks in an urban novel ecosystem. **European journal of forest research**, v. 132, n. 5, p. 887-897, 2013.

DA SILVA, L. F.; Lima, A.M.L.P.; Silva Filho, D.F.; Couto, H.T.Z. Intercepção da chuva pelas copas das espécies de *Caesalpinia pluviosa* DC.(Sibipiruna) e *Tipuana tipu* O. Kuntze (Tipuana) em arborização urbana Rainfall interception by the canopies of *Caesalpinia pluviosa* DC.(Sibipiruna) and *Tipuana tipu* O. Kuntze (Tipuana) as urban trees. 2008.

DA SILVA, L.F. et al. Precipitação interna e intercepção da chuva em duas espécies arbóreas urbanas. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 4, n. 3, p. 32-48, 2009

DA VINCI, L. **El tratado de la pintura**. Ediciones la biblioteca digital, 2008 [1632].

Dale, A. G; S. D. Frank. Urban warming trumps natural enemy regulation of herbivorous pests. **Ecological Applications**, v. 24, n. 7, p. 1596-1607, 2014.

DAVIS, D. Modelled on Software Engineering : Flexible Parametric Models in the Practice of Architecture. Ph.D Thesis, n. February, p. 243, 2013. Disponível em: <[http://www.danieldavis.com/papers/danieldavis\\_thesis.pdf](http://www.danieldavis.com/papers/danieldavis_thesis.pdf)>.

DE ARAUJO BARBOSA, C.C.; ATKINSON, P.M.; DEARING, John A. Remote sensing of ecosystem services: A systematic review. **Ecological Indicators**, v. 52, p. 430-443, 2015.

DE GROOT, Rudolf S. et al. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. **Ecological complexity**, v. 7, n. 3, p. 260-272, 2010.

DE GROOT, R. et al. Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. **Ecosystem services**, v. 1, n. 1, p. 50-61, 2012.

DE GROOT, R.S.; WILSON, M.A.; BOUMANS, R.M.J. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. **Ecological economics**, v. 41, n. 3, p. 393-408, 2002.

DELPHIN, S. et al. Mapping potential carbon and timber losses from hurricanes using a decision tree and ecosystem services driver model. **Journal of Environmental Management**, v. 129, p. 599-607, 2013.

DÍAZ, S. et al. The IPBES Conceptual Framework—connecting nature and people. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 14, p. 1-16, 2015.

DUARTE, D.H.S.; SHINZATO, P.; GUSSON, C.S.; ALVES, C.A. The impact of vegetation on urban microclimate to counterbalance built density in a subtropical changing climate. *Urban Climate*, v.14, p. 224-239, 2015.

DIEGUES, A. C. O mito moderno da natureza intocada [1994]. 3. ed. São Paulo: HUCITEC, 2001.

DORENDORF, J. et al. Both tree and soil carbon need to be quantified for carbon assessments of cities. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 14, n. 3, p. 447-455, 2015.

EASTMAN, C.M.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. BIM Handbook: a Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors. Hoboken (NJ): John Wiley & Sons, 2008.

EASTMAN, C. M. et al. BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors. John Wiley & Sons, 2011.

ENGELBART, Douglas C. **Augmenting human intellect: A conceptual framework**. Menlo Park, CA, 1962.

ERVIN, Stephen M. Digital landscape modeling and visualization: a research agenda. **Landscape and urban planning**, v. 54, n. 1-4, p. 49-62, 2001.

FCTH, **Caderno de Bacia Hidrográfica: Bacia do Córrego Mandaqui**. PMSP, São Paulo, 2016

FCTH. **Desenvolvimento de metodologia e projeto piloto de revitalização de bacia urbana, replicável para as demais bacias da região metropolitana** (Bacia do Córrego Jaguaré), Empreendimento 2014 AT-653. v. I, II, III e IV, 2017.

FERRAZ, S.F.B; FERRAZ, K.M.P.B.; CASSIANO, C.C.; BRANCALION, P.H.S.; LUZ, D.T.A.; AZEVEDO, T.N.; TAMBOSI, L.R.; METZGER, J.P. How good are tropical forest patches for ecosystem services provisioning?. **Landscape ecology**, v. 29, n. 2, p. 187-200, 2014.

FILIPE, Sílvia et al. A Modelagem da Informação como Ferramenta de Análise da Qualidade do Espaço Público. PNUM2018: A Produção do Território: Formas, Processos, Desígnios. 2018.

FONSECA, A.P. BIM (building information modeling). In BRAIDA, F. et al. **101 conceitos de arquitetura e urbanismo na era digital**. ProBooks, 2017.

FORMAN, R.T.T. & GODRON, M. **Landscape Ecology**. New York: John Willy & Sons, 1986.

GAUDERETO, G.L.; GALLARDO, A.L.C.F.; FERREIRA, M.L.; NASCIMENTO, A.P.B. MANTOVANI, W. Avaliação de Serviços Ecosistêmicos na Gestão de Áreas Verdes Urbanas: promovendo cidades saudáveis e sustentáveis. **Ambiente & Sociedade**. v. 21, 2018

GONÇALVES, F.C; TOMINAGA, E. N. de S.; ALGODOAL, P.; SANDRE, A. A.; POMBO, R.; SOSNOSKI, A.; PION, S.M; CONDE, F.; BONNECARRÈRE, J.I.G.; BARROS, M.T.L. Avaliação de dispositivos de drenagem de baixo impacto (LIDs) para fins de planejamento: um estudo de caso na Bacia do córrego saracura (São Paulo). XXIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2021.

GIGLIO, J. N.; KOBIYAMA, M. Intercepção da chuva: uma revisão com ênfase no monitoramento em florestas brasileiras. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 2, p. 297-317, 2013.

GUPTA, K.; Kumar, P.; Pathan, S.K.; Sharma, K.P. Urban Neighborhood Green Index—A measure of green spaces in urban areas. **Landscape and urban planning**, v. 105, n. 3, p. 325-335, 2012.

GUSSON, E. **Avaliação de métodos para a quantificação de biomassa e carbono em florestas nativas e restauradas da Mata Atlântica**. 2013. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

GUSTAFSON, E. J. Using expert knowledge in landscape ecology. **Landscape Ecology**, n. 28, v.1, p. 365-366, 2013.

GRÊT-REGAMEY, Adrienne et al. Understanding ecosystem services trade-offs with interactive procedural modeling for sustainable urban planning. **Landscape and urban planning**, v. 109, n. 1, p. 107-116, 2013.

GRIMM, N., J. M.; GROVE, S. T. A. Pickett, and C. Redman. Integrated approaches to long-term studies of urban ecological systems. **BioScience** v. 50, p.571-584, 2000.

HERZOG, C.P; ROSA, L. Infraestrutura Verde: Sustentabilidade e Resiliência para a Paisagem Urbana. **Revista LABVERDE**, São Paulo, n. 1, p. 92-115, out. 2010. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/revistalabverde/article/view/61281/64217>>. Acesso em: 08 maio 2018.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Censo demográfico (Brasil e Estados): XII recenseamento geral do Brasil**. Rio de Janeiro, 2010.

i-Tree Eco International Projects (2016) Eco Guide to International Projects

i-Tree Eco User's Manual (2016) i-Tree Eco User's manual

i-Tree Field Guide (2016) i-Tree Eco Field Guide

i-Tree Forecast Model (2016) Eco guide to using the forecast model

i-Tree Species (2018a) How to Use i-Tree Species. <https://speci.es.itreetools.org/help>

i-Tree Species (2018b) References—i-Tree Species. <https://speci.es.itreetools.org/refer ences>

JALES, L.F. **Modelagem espacial de corredores ecológicos em paisagens naturalmente heterogêneas**. 2013. 89 f. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Espaciais) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2013.

JOLY, Carlos A. et al. Apresentando o diagnóstico brasileiro de biodiversidade e serviços ecossistêmicos. **Embrapa Solos-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2019.

KOTNIK, T. Digital architectural design as exploration of computable functions. *International journal of architectural computing* 8.1 p. 1-16. 2010

KÓS, J. R. *CAD (computer-aided design)*, In: BRAIDA, Frederico et al. (orgs.) 101 conceitos de arquitetura e urbanismo na era digital. **ProBooks**, 2017.

KOWALTOWSKI, D.C.C.K.; CELANI, M.G.C.; Moreira, D.C; Pina, S.A.M.G.; Ruschel, R.C.; Silva, G.S.; Labaki, L.C.; Petreche, J.R. Reflexão sobre metodologias de projeto arquitetônico. **Ambiente Construído**, v. 6, n. 2, p. 7-19, 2006.

KOYRÉ, A. **Galileu e Platão**. Lisboa: Gradiva, 1989.

KUPFER, J.A. Landscape ecology and biogeography: Rethinking landscape metrics in a post FRAGSTATS landscape. **Progress in Physical Geography**, n. 36, p.400-420, 2012.

LAISERIN, J. Comparing Pomes and Naranjas. *The Laiserin Letter*. Retrieved 12/03/2016, 2016, Disponível em: <<http://www.laiserin.com/features/issue15/feature01.php>>

LEACH, N. Parametrics Explained. **Next Generation Building**, v. 1, n. 1, p. 33-42, 2014.

LEACH, N. (In) formational Cities. **Architectural Design**, v. 85, n. 6, p. 64-69, 2015.

LI, Y.Y.; WANG, X.R.; Huang, C.L. Key street tree species selection in urban areas. *Afr J Agric Res*. v.6, p.3539-3550, 2011

LIMA, C.P.C.S. **A natureza na cidade - a natureza da cidade**. 1996. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

-----; SANDEVILLE, E. Desafios do paisagismo contemporâneo brasileiro. **Espaço e Crítica**. AU Edição 75, 1997.

LINSTONE, A. H.; TUROFF, M. **The delphi method**: techniques and applications. [S.l]:[s.n], 2002. Disponível em: <<http://is.njit.edu/pubs/delphibook>>. Acesso em: 20 mar. 2018.

LIPSON, H.; KURMAN, M. **Fabricated**: the new world of 3d printing. Indianapolis: Wiley, 2013.

LORENZI, H. Árvores brasileiras, Editora Plantarium. **Editora Plantarum**, 2016.

MACEDO, S. **Quadro do Paisagismo no Brasil**. São Paulo: Quapa, 1999.

MAGNOLI, M. Espaço livre - objeto de trabalho. **Paisagem Ambiente: ensaios**, São Paulo, n.21, p. 175-198, 2006.

METZGER, J.P.; RIBEIRO, M.C., CIOCHETI, G. & TAMBOSI, L.R. Uso de índices de paisagem para a definição de ações de conservação e restauração da biodiversidade no Estado de São Paulo. In Secretaria de Estado do meio ambiente. **Diretrizes para conservação e restauração da biodiversidade no estado de São Paulo**. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 2008.

METZGER, J.P.W O Código Florestal tem base científica? **Natureza & Conservação**, v.8, p.1-5, 2010.

METZGER, J.P.W; BRANCALION. P.H.S. Challenges and Opportunities in Applying a Landscape Ecology Perspective in Ecological Restoration: a Powerful Approach to Shape Neolandscapes. **Natureza & Conservação**, v.11, p.1-5, 2013.

MILLER R.W.; Hauer R.J.; WERNER, L.P. **Urban forestry: planning and managing urban greenspace**, 3rd edn. Waveland Press Inc, Long Grove, 2015

MINEIRO, É. F., MAGALHÃES, C. F. Design paramétrico e generativo: modos de explorar a complexidade. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, São Carlos, v.14, n. 2, p.6-16, 2019. <http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v14i2.151419>

MITCHELL, W. J. The theoretical foundation of computer-aided architectural design. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 2, n. 2, p. 127-150, 1975.

MITCHELL, William J. **The logic of architecture: Design, computation, and cognition**. Cambridge, MA: MIT press, 1990.

MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M.P. Questões teóricas de conforto térmico em espaços abertos: consideração histórica, discussão do estado da arte e proposição de classificação de modelos. Porto Alegre: *Ambiente Construído*, v.7, n.3, p. 43-58, 2007.

MOREIRA, T. C. L. **Interação da vegetação arbórea e poluição atmosférica na cidade de São Paulo**. 2010. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MOTTA, S. R.; MOURA, A.C.M.; RIBEIRO, S. R. Ampliando do data-driven e knowledge-driven para propor o visual-driven na análise de multicritérios: estudo de caso de modelagem em Grasshopper+ Rhino3D. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 8, p. 1521-1535, 2017.

MOTTA, S. R.; MOURA, A.C.M.; RIBEIRO, S. R. Dynamic models of multicriteria to combine variables: the use of parametric model and genetic algorithm in the study of the World Heritage area recognized by UNESCO in Pampulha, Brazil. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 14, n. 1, p. 142-159, 2019.

MOURA, A. C. M. Learning topics in urban planning at UFMG: Geoprocessing to support analysis, planning and proposal of the urban landscape at neighborhood scale. **Paranoá: Cadernos de Arquitetura e Urbanismo**, v.7, 2012.

MOURA, A. C. M. Landscape design or parameterization? Recent tendencies in geo-technologies for representing and planning urban territory. UFMG, Belo Horizonte. 2013.

MOURA, A.C.M. Progettazione paesaggistica o parametrizzazione? Recenti tendenze in geo-tecnologie per la rappresentazione e pianificazione del territorio urbano. Landscape design or parameterization? Recent tendencies in geo-technologies for representing and planning urban territory. **G.I.S. & URBAN DESIGN**, v.II, p. 1-10, 2013.

MOURA, A.C.M.; JANKOWSKI, P. Contribuições aos estudos de análises de incertezas como complementação às análises multicritérios-“Sensitivity Analysis to Suitability Evaluation”. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 68, n. 4, p. 665-684, 2016.

MOURA, N. C. B.; PELLEGRINO, P. R. M.; SCARATTI, J. R. The Jaguaré Creek Revitalization Project: Transforming São Paulo through a Green Stormwater Infrastructure. In: **Procedia Engineering**, v.198, p.894-906, 2017

MOURA, N.C.B.; PELLEGRINO, P.R.M; DAVIS, B.R.; SCARATI J.R.; ZHUANG, Y.; JENSEN, A.; RAVIOLO, B.; MOREIRA, E. Intelligent Landscapes: Application of Parametric Modeling for a New Generation of Flood Risk Management Reservoirs in São Paulo City, Brazil. **DISEGNARECON**, v. 11, n. 20, p. 11-1-11.15, 2018.

MOURA, Ana Clara Mourão. O Geodesign como processo de co-criação de acordos coletivos para a paisagem territorial e urbana. **Planejamento e gestão territorial: o papel e os instrumentos do planejamento territorial na interface entre o urbano e o rural**, 2019.

NIKOLOPOULOU, M. (Org.). *Designing Open Spaces in Urban Environment: a bioclimatic approach*. Greece: Centre for renewable Energy Sources (C.R.E.S.), 2004. Disponível em: <<http://alpha.cres.gr/ruros/>>. Acesso 18 abr. 2019

NOWAK, D. J. Atmospheric carbon dioxide reduction by Chicago's urban forest. In: MCPHERSON, E. G.; NOWAK, D. J.; ROWNTREE, R. A. (Eds.). **Chicago's Urban Forest Ecosystem: results of the Chicago Urban Forest Climate Project**. USDA Forest Service General Technical Report NE-186, Radnor, p. 83-94. 1994.

PAULEIT S. Urban street tree plantings: identifying the key requirements. In: Proceedings of the Institution of Civil Engineer. Municipal Engineer. Thomas Telford Ltd, p. 43-50, 2003

PARDINI, R. TRAJANO. E. Pequenos mamíferos e a fragmentação da Mata Atlântica de Una, Sul da Bahia: processos e conservação. 2001. Tese (Doutorado em Ciências), Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, 2001.

PARDINI, R. et. al. Beyond the Fragmentation Threshold Hypothesis: Regime Shifts in Biodiversity Across Fragmented Landscapes. *Plos One* 5, v. 5, 2010.

PELLEGRINO, P.R.M; GUEDES, P.P.; PIRILLO, F.C.; FERNANDES, S.A. Paisagem da borda: uma estratégia para a condução das águas, da biodiversidade e das pessoas. In: COSTA, L.M.S.A. (Org.). **Rios e paisagem urbana em cidades brasileiras**. Rio de Janeiro: Viana & Mosley, PROURB, 2006, p. 57-76.

PELLEGRINO, P.R.M. Paisagem como infraestrutura ecológica: a floresta urbana. In: PELLEGRINO, P.R.M., MOURA, N.B. (Org.). **Estratégias para uma infraestrutura verde**. São Paulo: Manole, 2017.

PELLEGRINO, P. R. M.. Paisagens híbridas: projeto de sistemas adaptativos da natureza às nossas cidades. In: Maria de Assunção Ribeiro Franco. (Org.). **São Paulo nas mudanças climáticas: cenários ambientais para a resiliência urbana**. 1a.ed. São Paulo: Annablume, v. 1, p. 145-170, 2019.

PETERS, B. Computation Works: the building of algorithmic thought. **Architectural Design**, v. 83, Issue 2, p. 8-15, 2013.

PICKETT, S.T.A.; CADENASSO, M.L.; CHILDERS, D.L.; MCDONNELL, M.J., ZHOU, W. Evolution and future of urban ecological science: ecology *in, of, and for* the city. **Ecosystem Health and Sustainability**, v. 2, n.7, p. 1-16, 2016.

PORTO, Rodrigo de Melo et al. **Hidráulica básica**. São Carlos: Eesc-USP, v. 4, 2006.

Plugin Bison®. Disponível em: <<https://www.bison.la/>> Acesso 22 abr. 2019

Plugin Galapagos® Disponível em: <<https://www.grasshopper3d.com/page/plugins-1>> Acesso 20 jan. 2022

Plugin Grasshopper®. Disponível em: <<https://www.grasshopper3d.com/page/plugins-1>> Acesso 20 jan. 2022

Plugin Groundhog®. Disponível em: <<https://groundhog.la/documentation/channels/>> Acesso 20 jan. 2022

Plugin LandsDesign®. Disponível em: <<https://www.lands-design.com/information/why-use-lands/>> Acesso 20 abr. 2019.

Plugin RoadCreator®. Disponível em: <<https://www.food4rhino.com/app/roadcreator-rhino>> Acesso 22 abr. 2019

Plugin Nero®. Disponível em: <<https://www.food4rhino.com/app/nero-networking-environmental-robotics>> Acesso 20 abr. 2019

Plugin DIVA-for-Rhino® Disponível em: <<http://diva4rhino.com/>> Acesso 18 abr. 2019.

POTSCHIN-YOUNG, M., CZUCZ, B., LIQUETE, C., MAES, J., RUSCH, G. and Haines-Young, R. Intermediate Ecosystem Services: An Empty Concept?" **Ecosystem Services**. v.27: p.124-126, 2017

QUEIROGA, E. F. Dimensões públicas do espaço contemporâneo: resistências e transformações de territórios, paisagens e lugares urbanos brasileiros. 2012. 284p. Tese (Livre-docência) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

QUEIROGA, Eugenio Fernandes. Da relevância pública dos espaços livres um estudo sobre metrópoles e capitais brasileiras. **Rev. Inst. Estud. Bras.**, São Paulo, n. 58, p. 105-132, 2014.

QUEIROGA, E. F. Razão pública e paisagem: reflexões e subsídios teórico-conceituais para o entendimento e para a qualificação da urbanização contemporânea. **Paisagem e Ambiente**, v. 34, p. 11-34, 2014.

REESE, A. Stormwater paradigms. *Forester Dailynews*. 2001.

Rhino 3D. Disponível em: <<https://www.rhino3d.com>> Acesso 28 mar. 2019.

RUSCHEL, R. C. et. al. Building Information Modeling para projetistas. In: FABRÍCIO, M. M. e ORNSTEIN, S. W. (orgs.) *Qualidade no projeto de edifícios*. São Carlos: **RiMa Editoria**, ANTAC, 2010.

SAATY, T. L. **The analytical hierarchy process**: planning, priority setting, resource allocation. New York: MacGraw-Hill, 1980.

SALIZZONI, Emma et al. From Ecosystem Service Evaluation to Landscape Design: The Project of a Rural Peri-urban Park in Chieri (Italy). In: **Values and Functions for Future Cities**. Springer, Cham, 2020. p. 267-283.

SANDER, H. A. and C. Zhao (2015). "Urban green and blue: Who values what and where?" *Land Use Policy* **42**: 194-209.

SANDRE, A.F. O Planejamento Ambiental à luz da Ecologia da Paisagem Estudo Aplicado da Zona de Amortecimento do Parque Estadual da Cantareira. 2017. 235 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

SANDRE, A.F.; PELLEGRINO, P.R.M. Modelagem da Informação da Paisagem-Landscape Information Modeling (LIM). **Pós. Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP**, v. 27, n. 51, p. e168291-e168291, 2020.

SANDRE, A.F; CODAS, B; POMBO, R.M.; NASCIMENTO, P.; FRANCO, A. B. R. C.; CHAVEZ, C. Soluções Baseadas na Natureza para manejo de Águas Pluviais, no prelo.

- SANTOS, Boaventura de Sousa. **O futuro começa agora: da pandemia à utopia**. São Paulo: Boitempo, 2021.
- SCHUMACHER, P. Parametricism: A new global style for architecture and urban design. **Architectural Design**, v. 79, n. 4, p. 14-23, 2009.
- SCHINDLER, M., et al. "Spatial sorting, attitudes and the use of green space in Brussels." **Urban Forestry & Urban Greening** v.31, p. 169-184, 2018
- SCHMIDT, K., et al. "The Sociocultural Value of Upland Regions in the Vicinity of Cities in Comparison With Urban Green Spaces." **Mountain Research and Development** v.36(4), p.465-474, 2016
- SIRINA, N., et al. "What factors influence the value of an urban park within a medium-sized French conurbation?" **Urban Forestry & Urban Greening** v.24, p. 45-54, 2017.
- SHANAHAN, D. F., et al. "What is the role of trees and remnant vegetation in attracting people to urban parks?" **Landscape Ecology** v.30, p. 153-165. 2015
- SHINZATO, P.; SIMONB, H.; DUARTE, D.H.S.; BRUSEB, M. Calibration process and parametrization of tropical plants using ENVI-met V4–Sao Paulo case study. **Architectural Science Review**, v. 62, n. 2, p. 112-125, 2019.
- SILVA, D. J. *O paradigma transdisciplinar: uma perspectiva metodológica para a pesquisa ambiental*, 1999. Disponível em: <http://www.gthidro.ufsc.br/arquivos/transdisciplinaridade.pdf>.
- SILVA, D.A.; CONTI, J.B.; YUHARA, C.H.; NAKAMURA, E.T. Definição de Critérios para a Delimitação da Zona de Amortecimento de um Setor do Parque Estadual da Cantareira Seccionado pela Rodovia Fernão Dias (BR- 381), São Paulo, Brasil. **Revista Geográfica de América Central Número Especial EGAL**, Costa Rica, p. 1-13, 2011.
- SOTO, J. R., et al. "Consumer demand for urban forest ecosystem services and disservices: Examining trade-offs using choice experiments and best-worst scaling." **Ecosystem Services**. v.29, p.31-39, 2018
- SOUTHON, G. E., et al. "Biodiverse perennial meadows have aesthetic value and increase residents' perceptions of site quality in urban green-space." **Landscape and Urban Planning** v.158, p.105-118, 2017
- SREETHERAN, M.. Exploring the urban park use, preference and behaviours among the residents of Kuala Lumpur, Malaysia. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 25, p. 85-93, 2017.
- STEINITZ, C. *A Framework for Geodesign: Changing Geography by Design*. Redlands, CA: ESRI Press., 2012, 208 pp.
- STINY, G. et al. Introduction to shape and shape grammars. **Environment and planning B: planning and design**, v. 7, n. 3, p. 343-351, 1980.
- SZLAVECZ, K.; WARREN, P.; PICKETT, S. Biodiversity on the urban landscape. **Human Population**, p. 75-101, 2011.
- SWAPAN, M.; Shahidul H; IFTEKHAR, Md S; LI, X. Contextual variations in perceived social values of ecosystem services of urban parks: A comparative study of China and Australia. **Cities**, v. 61, p. 17-26, 2017.

TERDIZIS, K. **Algorithmic Architecture**. Oxford: Architectural Press, 2006.

*The CAD/CAM Hall of Fame*. Disponível em: <<https://www.americanmachinist.com/cad-and-cam/article/21892098/the-cadcam-hall-of-fame>> Acesso 22 jan. 2020.

UMAKOSHI, E. M. **Avaliação de desempenho ambiental e arquitetura paramétrica generativa para o projeto do edifício alto**. 2014. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

UNITED NATIONS. United Nations Millennium Ecosystem Assessment, 2005. Disponível em:

<<http://www.who.int/globalchange/ecosystems/ecosys.pdf>> Acesso em fev. 2021.

Universal Thermal Climate Index. Disponível em: <<http://www.utci.org/index.php>> Acesso 22 abr. 2019.

URBAN, D.; KEITT, T. Landscape Connectivity: a Graph-Theoretic Perspective. **Ecology**, v.82, n.5, p.1205-1218, 2001.

VISSCHER, Rachel Stehouwer et al. Exurban residential household behaviors and values: influence of parcel size and neighbors on carbon storage potential. **Landscape and urban planning**, v. 132, p. 37-46, 2014.

VEREBES, T. Experiments in associative urbanism. **Architectural Design**, v. 79, n. 4, p. 24-33, 2009.

XING, Y.; BRIMBLECOMBE, P.. Urban park layout and exposure to traffic-derived air pollutants. **Landscape and Urban Planning**, v. 194, p. 103682, 2020.

ZAJÍČKOVÁ, V.; ACHTEN, H. Landscape Information Modeling. **eCAADe 2013**, v. 18, p. 515, 2013.

ZANINI, A.M. **Estoque de carbono em restaurações florestais com 5 anos de idade na Mata Atlântica**. 2018. 89 f. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

ZEIGER, M. Live and Learn. **Landscape architecture magazine**. 2019. Disponível em: <<https://landscapearchitecturemagazine.org/2019/02/12/live-and-learn/#more-17207>> Acesso 12 dez. 2021

ZUBOFF, S. **A Era do Capitalismo de Vigilância**. São Paulo: Editora Intrínseca, 2021.

WATSON, D.; ADAMS, M. Design for Flooding. Architecture, Landscape, and Urban Design for Resilience to Climate Change. New Jersey: Wiley & Sons, 2011.

WEI H; HUANG Z.; LIN M. A decision support system for plant optimization in urban areas with diversified solar radiation. *Sustain* 9:1-20, 2017

WEHMANN, H.E. **Habitar a paisagem: o reconhecimento da experiência estética como direito à cidade**. 2019. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

Whitney, V. Ho, B. 2019. A first step toward the future of neighborhood design. Sidewalk Labs. Disponível em: <<https://www.sidewalklabs.com/insights/a-first-step-toward-the-future-of-neighborhood-design>> Acesso 04 fev. 2022.

# ANEXO 1

Tabela com os 42 artigos analisados quanto a Serviços Ecossistêmicos hídricos e de sequestro de carbono.

Número	Autores	Ano de Publicação	Tipo de SE	Técnicas/ Método de Avaliação	Uso de Indicadores e Índices	Escala	Dinâmica e estrutura da paisagem	História	Construção de Cenários	Planejamento e Projeto	Deserviço
1	Berland & Hopton	2014	Água (quantidade e qualidade)	Indicadores demográficos TIGER/Line roads data (amostragem) Localização, espécie, DAP, altura total, espessura da casca (amostragem) i-Tree Streets (intercepção de águas pluviais) Equações alométricas	X	X	X				
2	Erol, Ayten; Randhir, Timothy O.	2013	Água (quantidade e qualidade)	BasinSim Model Dados poluição (modelagem) Cenários (qualidade da água)	X		X		X	X	
3	Gonzalez-Sosa, Enrique et al.	2017	Água (quantidade e qualidade)	Processo de intercepção da chuva/árvore (modelo de Rutter e Morton, 1977) Inventário árvores Meteorologia (data) Hidrogramas com/sem árvores (exceto volume de escoamento)	X	X			X	X	
4	Gotsch, Sybil G.	2018	Água (quantidade e qualidade)	DAP Fluxo volumétrico de seiva (área de alburno de cada árvore ou galho/árvores menores) Arquitetura da copa	X	X		X			
5	He, Jie	2015	Água (quantidade e qualidade)	Modelo de valoração: valor/ha/ano Caracterização de wetland	X	X	X				Impacto do crescimento urbano nas wetlands (valoração)
6	Kermavann, Janez; Vilhar, Urša	2017	Água (quantidade e qualidade)	Rainfall partitioning components Precipitação (amostragem) Stemflow (estimativa/modelagem) Precipitação interceptada pelo dossel (modelagem)	X	X	X	X			
7	Marques, Guilherme E. et al.	2017	Água (quantidade e qualidade)	BLU (economic return of land use in R\$/km²) Storm Water Management Model (SWMM) Cenários hidrológicos	X		X		X		
8	Van Stan, John T., II	2015	Água (quantidade e qualidade)	Fair Hill NRMA (bacia hidrográfica experimental) Precipitação interceptada pelo dossel (modelagem)	X	X					

Número	Autores	Ano de Publicação	Tipo de SE	Técnica/ Método de Avaliação	Uso de Indicadores e Índices	Escala	Dinâmica e estrutura da paisagem	História	Construção de Genéteis	Planejamento e Projeto	Desenvolvimento
9	Teng, Chia-Ji et al.	2012	Água (quantidade e qualidade)	Projeto dos sistemas de tratamento de águas residuais Coleta de amostras de água afluente e efluente	X	X	X	X		X	
10	Alonzo, M., et al.	2016	Reg. Clima Global	i-Tree Eco model DAP (parcela amostral) LiDAR Leaf area index	X	X	X				
11	Bae, Jechwan et al.	2015	Reg. Clima Global	Coleta de solo Relatório de pesquisa de solos Coleta de raízes DAP (parcela amostral)	X	X		X			
12	Bartlett, Mark D. et al.	2011	Reg. Clima Global	CranfluffC Análise do ciclo de vida modificado (LCA)	X						I
13	Boukili, Vanessa K. S. et al.	2017	Reg. Clima Global	Alometria de Biomassa e Equação de Crescimento Taxas de crescimento empíricas calculadas a partir de medições de árvore em série combinadas com as alométricas de biomassa i-TreesStreets Annual mortality rate	X			X			
14	Carrero, Eduardo Martinez et al.	2017	Reg. Clima Global	Análise de tronco, ramos primários e secundários e folhas. A matéria seca subterrânea também foi estimada. Matéria Seca	X						
15	Clerici, N. et al.	2016	Reg. Clima Global	Remote Sensing-Derived Biomass Estimation Taxas de crescimento empíricas (calculadas a partir de medições de árvore em série) Equações alométricas	X	X				X	
16	Dolphin, S. et al.	2013	Reg. Clima Global	Vegetation and Land cover map Zonas de danos do furacão (data) InVEST model	X	X			X		Análise de eventos de Furacão
17	Dorendorff, J. et al.	2015	Reg. Clima Global	Urbanization index Soil sample (CN-Analyzer) Equações alométricas	X	X					
18	Escobedo, F. et al.	2010	Reg. Clima Global	DAP (parcela amostral) Efeitos da Floresta Urbana (UFORE Model)	X	X	X				

1 There are 30,000 rounds (an individual completing 18 holes) of golf per year at the Parkland Course — this equates to a 'carbon footprint' from overall course provision of  $-18.2 \pm 3.2$  kg

Número	Autores	Ano de Publicação	Tipo de SE	Técnica/ Método de Avaliação	Uso de Indicadores e Índices	Escala	Dinâmica e estrutura da paisagem	História	Construção de Genéteis	Planejamento e Projeto	Desenvolvimento
19	Freedman, B.	1996	Reg. Clima Global	DAP (parcela amostral) Copa de árvore (modelagem) Regressão DAP/Peso Seco	X	X	X	X			
20	Friess, Daniel A. et al.	2016	Reg. Clima Global	DAP (parcela amostral) Equações alométricas Solo (coleta) Modelos Lineares Generalizados (GLMs)	X	X	X				
21	Giannico, V et al.	2016	Reg. Clima Global	LIDAR data Modelo empírico próprio (equações alométricas)	X						
22	Goljy, M et. al.	2016	Reg. Clima Global	Análise de tecido (plantas herbáceas) Solo (coleta)	X	X		X			
23	Gratani, Lovetta; Varone, Laura	2014	Reg. Clima Global	Measurements of CO <sub>2</sub> concentration	X	X	X	X			
24	Han, Y et al.	2018	Reg. Clima Global	Análise de tronco, ramos primários e secundários e folhas. A matéria seca subterrânea também foi estimada. Matéria Seca	X	X	X	X			
25	Horn, Josh	2015	Reg. Clima Global	Remote Sensing-Derived Biomass Estimation Taxas de crescimento empíricas (calculadas a partir de medições de árvore em série) Equações alométricas	X	X	X				Plantas invasoras
26	Liu, Changfu; Li, Xiaoma	2012	Reg. Clima Global	Valoração econômica DAP (parcela amostral) Cobertura do dossel de árvores urbanas (UTC) (sardire QuickBird) Equações alométricas	X						
27	LV, Hailiang et al.	2016	Reg. Clima Global	DAP Altura da árvore (Nikon forestry PRO550) Área basal Coleta de solo	X	X	X	X		X	
28	McPherson, E. Gregory et al.	2013	Reg. Clima Global	DAP (parcela amostral) CUFR Tree Carbon Calculator (CTCC) (alometric biomass equations) Cobertura do dossel de árvores urbanas (UTC) (sardire QuickBird)	X	X	X	X			
29	Nowak, David J.	2013	Reg. Clima Global	Espécies, altura da árvore, DAP, diâmetro da copa e altura da base da copa Biomassa (Equação alométrica) i-Tree Eco Modelagem de dados e valoração econômica	X						

Número	Autores	Ano de Publicação	Tipo de SE	Técnica/ Método de Avaliação	Uso de Indicadores e Índices	Escala	Dinâmica e estrutura da paisagem	História	Construção de Genéris	Planejamento e Projeto	Desenvolvimento
30	Pace, Rocco et al.	2018	Reg. Clima Global	Espécies, altura da árvore, DAP, diâmetro da copa e altura da base da copa i-Tree Eco Concentração de poluentes do entorno	X						
31	Reynolds, Carley C. et al.	2017	Reg. Clima Global	DAP i-Tree Streets Modelagem de dados (folha, altura da árvore, diâmetro da copa)	X						
32	Schmitz-Harsh, Michael et al.	2013	Reg. Clima Global	i-Tree Eco DAP, altura, condição Questionários	X	X		X		X	
33	Singh, Kunwar K. et al.	2017	Reg. Clima Global	Regressão Linear Múltipla (MLR) Charlotte ULTRA-Ex (Exploratório Urbano de Áreas de Pesquisa de Longo Prazo) DAP (parcela amostral) Equação alométrica (enkins et al., 2007) LiDAR data Métrica da paisagem	X	X	X	X			
34	Strohbach, Michael W.	2012	Reg. Clima Global	Uso e ocupação da terra DAP (parcela amostral) Copa de árvore (modelagem) Equação alométrica Solo (modelagem)	X		X				
35	Tigges, Jan et al.	2017	Reg. Clima Global	Tree digital surface model (nDSM) laser scanning e normalized height model (nDSM) Solo (modelagem) DAP (parcela amostral) Equação alométrica	X						
36	Timilsina, Nitesh; Escobedo, Francisco J.; Staudhammer, Christina L.; Brandeis, Thomas	2014	Reg. Clima Global	DAP Equação alométrica Solo (modelagem) Biodiversidade (Shannon Index)	X	X	X	X			
37	Timilsina, Nitesh; Staudhammer, Christina L.; Escobedo, Francisco J.; Lawrence, Alicia	2014	Reg. Clima Global	DAP (parcela amostral) Equações alométricas i-Tree ECO e tree carbon calculator (CTCC) models	X		X				
38	Vaccari, Francesco Primo	2013	Reg. Clima Global	IRSE emission database Urban and forest CO2 flux measurements CO2 uptake factor Stock Change Method (IPCC, 2007)	X	X	X	X			

Número	Autores	Ano de Publicação	Tipo de SE	Técnica/ Método de Avaliação	Uso de Indicadores e Índices	Escala	Dinâmica e estrutura da paisagem	História	Construção de Cenários	Planejamento e Projeto	Desenvolvimento
39	Wang, Yi-Chung; Lin, Jiunn-Cheng	2012	Reg. Clima Global	DAP (parcela amostral) Equações alométricas Densidade básica da madeira (BD) Fatores de Expansão de Biomassa (BEDs) Solo (modelagem)	X	X					
40	Yao, Xin et al.	2017	Reg. Clima Global	Urbanization gradient transect (LULC spatial polygons e SPSS statistical software) Valor de Importância (IV) Dossel de árvore urbana (UTC) tree volume-derived method (Zhao et al. 2006) Biodiversidade (Shannon Index)	X	X	X				
41	Zhao, Chang, Sander, Heather A.	2018	Reg. Clima Global	LiDAR DAP (parcela amostral) Equações alométricas Modelo baseado em LUC-proxy Pesquisa de campo	X	X	X			X	
42	Kraxner, F et al.	2016	Reg. Clima Global	MA100 DAP (parcela amostral) Demografia árvores na rua (modelagem) Crescimento de árvore (modelagem)	X	X					