

Adriana Afonso Sandre
Paulo Renato
Mesquita Pellegrino

m

MODELAGEM DA INFORMAÇÃO
DA PAISAGEM – LANDSCAPE
INFORMATION MODELING (LIM)

pós- | 1

RESUMO

Este artigo discute a ideia de uma plataforma digital, denominada Mariposa, que se estrutura como uma ferramenta para integrar e operacionalizar os projetos complementares de paisagem. Para tanto, propõe, a partir do conceitual de *Landscape Information Modeling* (LIM), uma plataforma integrada de projeto capaz de simular aspectos dos espaços projetados, compatibilizando elementos construídos e processos naturais. 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 do respeito as suas particularidades históricas. Para estruturar a Mariposa serão definidos um conjunto de parâmetros de projeto caracterizados por sua diversidade, adaptação e responsividade. Ao incluir diferentes parâmetros, pode-se propor inúmeras variações para o modelo, de forma a objetivar diferentes soluções e avaliar seu grau de resposta e adaptação e, portanto, da sua inteligência, aqui entendida como a capacidade de adaptação do sistema às novas condições oferecidas pelo projeto. No final, este texto expõe a importância da aplicação do processo LIM nos projetos de paisagem, em especial via plataformas digitais.

PALAVRAS-CHAVE

Projeto da Paisagem. *Landscape Information Modeling*. Modelagem algorítmica



[HTTP://DX.DOI.ORG/10.11606/ISSN.2317-2762.POSFAU.2020.168291](http://dx.doi.org/10.11606/ISSN.2317-2762.POSFAU.2020.168291)

Pós, Rev. Programa Pós-Grad. Arquit. Urban. FAUUSP. São Paulo, v. 27, n. 51, e168291, 2020.

LANDSCAPE INFORMATION MODELING (LIM)

ABSTRACT

This paper discuss the idea of a digital platform, named Mariposa, which is structured as tool to integrate and operationalize complementary landscape projects. Therefore, it proposes, based on the Landscape Information Modeling (LIM), an integrated design platform that simulates aspects of built environments, integrating natural elements and processes. The landscape design, being an integrating dimension of the layers of intervention in the space, allows greater transparency and democratization of the decision and execution process, being able to be oriented towards meeting social, ecological, economic demands and respecting its historical particularities. A highlighted point refers to the structuring of the Mariposa, which requires the definition of a set of project parameters characterized by its diversity, adaptation and responsiveness. Hence, we argue that including parameters, it is possible to propose numerous variations for the model that allow to assess the degree of response and adaptation and, therefore, its intelligence, here understood as the system's ability to adapt to the new conditions offered by the project. Finally, this paper exposes the importance of applying the LIM process in landscape design, mainly via digital platforms.

KEYWORDS

Landscape Project. Landscape Information Modeling. Algorithmic modeling

INTRODUÇÃO

Este artigo propõe o desenvolvimento de uma plataforma digital, denominada Mariposa, baseada nos conceitos de modelagem da informação da paisagem (LIM, do inglês *Landscape Information Modelling*), projetos generativos e algoritmos genéticos de suporte a decisão, com o objetivo de integrar e operacionalizar as diversas etapas de um projeto urbano de paisagem.¹

Argumenta-se 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. 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.

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 pinçar aquela alternativa que melhor lhe atenda e aos demais participantes do processo decisório do projeto, evitando que cada decisão seja vista como personalista e pessoal, mas como parte de uma cocriação que atende ao que todas as dimensões e agentes interessados procuram.

O desenvolvimento do conceito LIM e da plataforma digital tem embasamento em um amplo quadro de referências de serviços ecossistêmicos urbanos (SEs) e conceitos ecológicos aplicados ao planejamento e ao projeto urbano e da paisagem. Traz como diferencial a possibilidade de incorporar conceitos e enfoques como das soluções baseadas na natureza (NBS) e de Infraestrutura verde. A possibilidade de utilização dessas tecnologias naturais é um campo promissor de aplicação dessa plataforma, já que implica necessariamente o emprego de uma ampla gama de conhecimentos e técnicas presentes nas áreas das ciências biológicas, geográficas e naturais, além das engenharias.

Como apresentado neste artigo, trata-se de uma dimensão em que a Mariposa apresenta um grande potencial de aplicação ao gerar diferentes alternativas de projetos generativos de manejo das águas urbanas a partir de dados de desempenho quanto aos aspectos funcionais das infraestruturas verdes, tais como eficiência, operacionalização e manutenção.

Este artigo discute como a Plataforma Mariposa é uma tecnologia de interessante alcance para a atividade projetual, fornecendo respostas às diversas questões técnicas ao ponderar, por exemplo, os ganhos, em termos de serviços ecossistêmicos (SEs) de diferentes soluções projetuais. Na sequência,

¹ O desenvolvimento da Mariposa é realizado pela Equipe do LABVERDE – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP, Adriana Sandre, Juliana Alencar, Riciane Pombo, Silvio Motta e Prof. Dr. Paulo Pellegrino, com apoio da CAPES.

são apresentados (i) o embasamento conceitual da plataforma digital, (ii) o debate sobre a associação da forma ao desempenho, para na etapa seguinte discutir de forma exploratória (iii) uma aplicação prática da plataforma. No final, este texto conclui sobre a importância da aplicação do processo LIM nos projetos de paisagem, em especial via plataformas digitais.

EMBASAMENTO CONCEITUAL DA PLATAFORMA DIGITAL MARIPOSA

O desenvolvimento da Plataforma Mariposa se dará baseado na integração da modelagem da informação da paisagem (LIM, *Landscape Information Modeling*), modelagem algorítmica computacional e projeto generativo. Nas duas últimas décadas, novos processos computacionais, como a modelagem paramétrica, algorítmica e generativa têm viabilizado maior amplitude de possibilidades projetuais, auxiliando no reconhecimento e resolução de problemas. 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). 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).

Sustenta-se 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 generativo em arquitetura da paisagem.² 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.

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. Trata-se de modelar, computacionalmente, a complexidade da informação da paisagem e diferentes alternativas projetuais.³

Para tanto, propõe-se a criação da Plataforma digital Mariposa com objetivo de viabilizar a geração de diferentes alternativas de projeto generativo 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 tencionalidades, restrições e conflitos de interesse (Figura 1). 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. Tal integração possibilitará que as diferentes fases do processo de projeto da paisagem, como concepção, análises de viabilidade e execução aconteçam de maneira muito mais integrada, pois estarão baseadas em parâmetros, metadados, e regras generativas, o que possibilita menos retrabalho em todo o processo de projeto.

² O termo “Modelagem” implica em um processo de representação que fornece a base para a simulação de desempenho da construção (modelando o comportamento futuro) e para o gerenciamento de informações de construção (Laiserin, 2016).

³ O uso de linguagens de programação, tanto textuais (Python, C++, *Rhinoscript*) como visuais (*Grasshopper* para o *software* Rhinoceros) possibilitam a criação de plugins e ferramentas com funcionalidades extras para esses *softwares*.

O conceitual do LIM se dá por uma derivação evolutiva da prerrogativa do BIM (*Building Information Modeling* ou Modelagem de Informação da Construção), o qual, segundo Landim (2019), permite gerenciar e compartilhar informações entre múltiplos agentes em todos os ciclos e fases de projeto, da concepção à pós-ocupação. 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 um banco de dados integrado, no qual todas as informações, propriedades, relações e apresentações são armazenadas (Eastman, et. al, 2008). Por exemplo, o Revit® é associado ao BIM, assim como a Mariposa é ao LIM.

A diferenciação da nomenclatura entre LIM e BIM 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, em um momento em que é necessário materializar o objeto do desenho, os sistemas 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, cerne da plataforma Mariposa.

Nesse sentido, o processo do LIM insere-se no nível de utilização computacional algorítmico, segundo a categorização adotada de 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. Na arquitetura, essa tarefa é a capacidade do algoritmo em auxiliar na resolução de problemas projetuais, permitindo ultrapassar as limitações da interface do usuário e projetar, por meio da manipulação direta, não da forma, mas do código (Celani, 2017).

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 executivo 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 à 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 tampouco implantadas. Essa constatação,

pós- | 5



Figura 1. 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 morganii 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: Adriana Sandre e arte da marca Julio Okabayashi).

⁴ ENGELBART, Douglas C. *Augmenting human intellect: A conceptual framework*. Menlo Park, CA, 1962.

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 o 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*.

POR QUE MATERIALIZAR O DESEMPENHO ASSOCIADO À FORMA?

Embora a prática recorrente do uso dos sistemas computacionais seja para geração de formas e variações do projeto, a Mariposa foca-se em desempenho e performance. Nesse sentido, enquadra-se sob o Paradigma de Projetos orientados ao desempenho em modelos dinâmicos e interativos materializados por ferramentas computacionais e algoritmos genéticos em uma plataforma que oferece nível de controle.

No trabalho seminal *Augmenting human intellect: a conceptual framework*, Douglas C. Engelbart⁴ 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.

As preocupações performativas (como as ambientais) implicam em uma mudança em relação às questões puramente estéticas e, como tal, abre 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.

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 é um ato igualmente encantador, há porque estimular novas e criativas soluções projetuais.

Entretanto, produzir formas geométricas complexas, não associadas a demais fatores de desempenho, não representa uma quebra de paradigma, pois mantém a lógica projetual vigente. Assim, 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 resignificação do processo que gera uma multiplicidade de resultados possíveis para a paisagem a partir do seu desempenho.

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 (Leach, 2014). 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’, assim como ‘desempenho’.

O processo conceitual do LIM incorpora o design computacional, não para o desenvolvimento de formas atípicas reféns de um capitalismo tardio,⁵ mas para sistemas evolutivos que podem ser modificados em tempo real. O design paramétrico e algorítmico não deve depender exclusivamente de uma manipulação de forma complexa e visualmente interessante. 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 aos elementos dos projetos e às questões sociais e ambientais.

⁵ Leach (2014) traz o argumento de Fredric Jameson, o desejo de combater a homogeneização do capitalismo tardio celebrando a “diferença” é cúmplice da sua própria lógica ao tornar-se outra mercadoria no mercado, em vez de superar as tendências homogeneizadoras pode-se ver que as alimenta.

pós- | 7

MATERIALIZAÇÃO DO DESEMPENHO E POSSIBILIDADES DE APLICAÇÃO DA MARIPOSA

São inúmeras as vertentes que influenciam na qualidade de um projeto de arquitetura da paisagem, desde as relacionadas às estéticas até aos serviços ecossistêmicos. O que a plataforma procura responder é qual a influência para a provisão de serviços ecossistêmicos de regulação (SEs) da modificação dos elementos de projetos e variáveis atribuídas ao algoritmo e quais dos pontos de decisão levam a diferentes percursos. Ao estimar o efeito positivo no projeto,

⁶ São exemplos alguns dos *plugins* – LandsDesign®, Bison®, RoadCreator® e Nero® – que se debruçam sobre projeto e planejamento da paisagem. O LandsDesign, embora seja focado em especificação de projeto de plantio, não possui em sua biblioteca NBS. Em drenagem urbana, destaca-se o *Storm Water Management Model (SWMM)*, um modelo dinâmico utilizado para a gestão de drenagem urbana, que simula a quantidade e a qualidade do escoamento superficial, mas não tem como foco a realização de projetos generativos pautados em desempenho. Tal *software* pode contribuir para alimentar o Mariposa, com o cálculo dos dados de entrada, bem como em análises complexas de drenagem do projeto generativo gerado.

⁷ 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 de aplicação de modelagem paramétrica para a concepção da Arquitetura da Paisagem trouxe novas possibilidades de plataformas para o desenvolvimento do processo. Exemplo de ferramentas SaaS para o processo de projeto, são empresas como Ladybug Tools LCC e a Procedural Aps.

tanto em termos de sequestro de carbono, conforto ambiental e drenagem urbana, a depender de quais espécies arbóreas e arbustivas e elementos da Mariposa forem utilizados. No design computacional, para responder a essas demandas seriam necessários pelo menos uns três *softwares* e *plugins* que articulassem todo esse conhecimento especializado.⁶ Um grande desafio que as ferramentas atuais de projeto não estão conseguindo atender.

Em vista desse cenário, para superar o paradigma vigente e ter acesso a um processo orientado ao desempenho que otimiza dados quantificáveis, será que é 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 e abdicar do rigor científico?

Isso torna o momento propício para o desenvolvimento de uma plataforma digital que, 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. Dessa forma, permitindo confluir os *insights* das ciências parcelares usando modelagem digital, com informações e preferências dos usuários, como em dados quantitativos de qualidade e volume de água, seleção e distribuição de vegetação, 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.

Para tanto, a estrutura da Mariposa é baseada em uma plataforma SaaS (*Software as a Service*)⁷ e computação em borda, que internamente utiliza ferramentas colaborativas, *softwares* e *plugins* acoplados, para permitir a visualização tridimensional online das alternativas projetuais e a geração de diferentes dados de desempenho para cada uma delas. Em outras palavras, trata-se de um processo 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 para retroalimentar o funcionamento da plataforma.

Um dos maiores ganhos aqui propostos é a ampliação do acesso da modelagem algorítmica em projetos da paisagem a uma diversidade imensa de usuários do poder público e privado, independentemente do seu conhecimento em linguagem de programação e da capacidade de resposta de seu computador. Assim, na plataforma, ao invés de especificar formas fixas em linhas e formas, os usuários definirão o processo, as variáveis e os parâmetros pelo qual os objetos geneticamente serão criados. É uma base comum, intuitiva e dinâmica para que os diversos agentes envolvidos dialoguem e possam interagir. Para estruturar a geração de projetos generativos na plataforma digital será idealizado um *plugin* para a Mariposa, já para mensurar os dados será realizada uma orquestração de diversos *plugins*, abaixo descritos, 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,

como a Mariposa, 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*.⁸ 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.

Atualmente, o projeto está em fase de idealização dos componentes base para o funcionamento do *plugin* da Mariposa composto pelos elementos do projeto, visualização e feedback de alternativas projetuais. Nessa etapa, escolheu-se o Rhinoceros® 6 enquanto o primeiro *software* para seu desenvolvimento e personalização, pois trata-se de um programa que permite o livre desenvolvimento de *plugins*, além de estar integrado à linguagem de programação visual *Grasshopper*®, responsável por popularizar o uso da programação para arquitetos e projetistas.

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 no programa. Atualmente, os *softwares* BIM possuem metadados de objetos construtivos referentes apenas à AEC. 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.

No desenvolvimento do algoritmo do *plugin*, é necessário realizar uma extração sistemática de princípios lógicos, com padrões repetitivos, princípios universais e módulos intercambiáveis. Claro que, se tomarmos todos os 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 quanto da sua quantidade. 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 e elementos distintos e critérios reprodutíveis.

Nesse sentido, foram pensados módulos com elementos de projeto da Mariposa (canteiros com combinação de árvores, arbustos e forrações e NBS em diversas escalas: bacias de retenção e detenção, jardins de chuva, canteiros pluviais) associados a atributos – como entidades programáveis – caracterizados por sua diversidade, adaptação e responsividade em relação à capacidade de provisão de SEs (Figura 2).⁹ Com a alteração dos elementos e suas variáveis, pode-se propor inúmeras simulações gráficas para cada projeto, de forma a objetivar a solução mais eficiente para cada contexto. Assim, ao escolher uma alternativa, será possível acessar uma série de informações,

⁸ 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).

⁹ Utilizar os construtores sólidos de um *software* de modelagem já existente permitirá que o *plugin* se concentre em desenvolver e reunir estratégias de projeto e novas funcionalidades de integração dos seus elementos a partir de diferentes parâmetros.

DESEMPENHO

DADOS DE ENTRADA

PROJETO
GENERATIVO



Figura 2. Processo de projeto generativo de um dos elementos da Plataforma Mariposa: a partir da inserção de dados de entrada gera-se a forma das diferentes NBS. Cada elemento possui um identificador exclusivo e um conjunto de atributos e metadado a ele associado. As suas informações, propriedades, relações e apresentações serão armazenadas para gerar diferentes projetos a partir do algoritmo genético do *plugin*.

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. Inicialmente, a geração de alternativas será restrita às NBS da Mariposa, futuramente, pretende-se estudar como o usuário poderá inserir seus próprios elementos.

Dado o caráter exploratório e inovador de que esse projeto se reveste, serão aqui contemplados os seguintes subsistemas, tomados inicialmente em separado: conforto ambiental, drenagem urbana e sequestro de carbono. Para iniciar o uso da plataforma digital online, o usuário deverá inserir a área de projeto em arquivo georreferenciado (até a escala de uma sub-bacia urbana) e os dados de entrada descritos na Tabela 1.

Com relação ao subsistema de drenagem urbana, o *plugin* da Mariposa permitirá gerar a forma dos seus diferentes elementos (NBS e reservatórios de retenção e detenção), a partir de dados de desempenho em um banco de dados previamente definido na plataforma pelo usuário (Tabela 1).

Por exemplo, 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 esses trechos do reservatório podem assumir, com as sucessivas ramificações ou múltiplos canais que se separam e se reencontram se dará a partir da restrição de vazão a jusante. Futuramente, pretende-se complexificar o subsistema e inserir diferentes regimes de fluxo e inserir outros elementos como vertedores, ou ainda quantificar a interceptação de água da chuva a depender das espécies arbóreas plantadas. Outro exemplo, é a modelagem do formato e tamanho dos jardins de chuva e biovaletas em calçadas de acordo com dados de desempenho quanto à captação e retenção das águas pluviais e sua velocidade de escoamento.

Quanto ao subsistema de sequestro de carbono, os elementos arbóreos da Mariposa serão alimentados com os metadados correlatos (Tabela 1), variando conforme a espécie de árvore, idade, e faseamento no projeto de paisagem. Admitindo uma função linear, o algoritmo irá mensurar qual a maior biomassa, teor de carbono e sequestro a partir da variação quantitativa do número de árvores do projeto, condição fitossanitária e solo.

Trata-se de uma primeira aproximação quantitativa, a partir de dados de árvores levantados em pesquisas científicas prévias. Um exemplo do desafio posto qualitativamente é a provisão de SEs relacionados à fixação de carbono, em que o aumento do número de árvores é diretamente correlacionado ao aumento da fixação, dependente do arranjo do plantio arbóreo. Assim, futuramente, pode-se pensar em um algoritmo genético que encontre o melhor desempenho frente à variação de configuração e arranjo de diferentes elementos arbóreos da Mariposa. Esse parâmetro será contemplado a longo prazo na plataforma, pois são necessários estudos empíricos de configuração de plantio urbano e biomassa para poder alimentar o *script* do algoritmo.

Quanto ao subsistema de conforto ambiental, 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.

Nesse subsistema, como o arranjo e configuração entre os elementos é relevante, procura-se 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 elementos da Mariposa (por exemplo, jardins de chuva) para o conforto térmico. Inicialmente, será realizada uma simplificação com uma função linear no *script* do algoritmo genético, assim, uma árvore (n) contribui na diminuição em $n \cdot x^\circ\text{C}$ da temperatura de superfície e $10n$ árvores juntas $10n \cdot x^\circ\text{C}$. 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. Tais variáveis serão 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).

Por fim, os questionamentos atuais a serem resolvidos é como (e se) a variação da configuração espacial e da composição dos elementos influencia na provisão dos SEs de drenagem, sequestro de carbono e conforto térmico? Os serviços ecossistêmicos não seguem a mesma função em relação ao aumento escalar dos elementos inseridos isoladamente ou em conjunto. Tampouco dentro do mesmo SE pode-se inferir uma função linear entre aumento de sua provisão pelo aumento do número dos elementos da Mariposa. Jardins de chuva variam na provisão de SEs tanto internamente – quantidade, tamanho, espécies vegetais, condições edáficas, microclima e poluentes locais – quanto se comparados a outros elementos – biovaleta, lagoa pluvial, etc.

Não podemos simplificar excessivamente a realidade para dimensionar os projetos na Plataforma Mariposa. Na combinação entre os diversos elementos, deve-se estabelecer seu grau de importância para escolher uma opção em detrimento de outra (do inglês: *trade-offs* entre os SEs), 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 uma função ecossistêmica.

Para tanto, o usuário poderá estruturar um modelo de análise multicritério, atribuindo diferentes pesos para cada SE, analisando-os separadamente e em níveis agregados de acordo com a particularidade e objetivo de cada projeto. A Análise Multicritério trabalha com a composição de variáveis principais que, integradas, indicam áreas aptas para alguma atividade ou evento, ou áreas que carecem de alguma intervenção ou transformação (Motta et al., 2019). A simulação usa o algoritmo genético do *Grasshopper* desenvolvido por Motta et al. (2019)¹⁰ 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.

¹⁰ Os autores desenvolveram um script por algoritmo genético do Grasshopper® que combina as variáveis automaticamente até atingir o melhor resultado possível.

Subsistema	Dados de entrada	Dados de saída	Elemento da Mariposa
Conforto ambiental	Medições de campo das variáveis ambientais e configuração dos dados microclimáticos modelo. Temperatura do ar; Temperatura Radiante média; Velocidade do ar; Umidade do ar	Diferença de T°C do ar e superficial entre as áreas ensolaradas, sombreadas e/ou próximas a elementos hídricos	Jardins de chuva Canteiro pluvial Lagoa pluvial Canteiros com árvores, arbustos
Sequestro de carbono	Estocagem de carbono tCha-1 Dados de árvores e arbustos quanto à quantidade de carbono (CO ₂) acima do solo absorvida e armazenada Biomassa, teor de carbono (kg/espécie) e Sequestro de carbono (kg.ano-1)	Quantidade de carbono acima do solo absorvida e armazenada Biomassa, teor de carbono (kg/espécie) e Sequestro de carbono (kg.ano ⁻¹)	Canteiros com árvores Serapilheira e solo
Drenagem urbana	Delimitação da sub-bacia do projeto e das zonas de inundação Dados de precipitação local, escoamento superficial, capacidade de retenção, infiltração e armazenamento de água no solo na situação atual Necessidade projetual de vazão (m ³ /s) de restrição e volume a jusante.	Aumento da capacidade de infiltração (%) e armazenamento de água no solo (mm); Precipitação interceptada por árvores; Diminuição do escoamento superficial (mm) Velocidade do fluxo (m/s); Forma dos elementos associada a dados de drenagem.	Controle na fonte: jardins de chuva; canteiro pluvial; biovaletas; canteiros com diferentes combinações de árvores, arbustos e forrações Serapilheira Controle a jusante: reservatórios de retenção e detenção

Tabela 1. Elementos de projeto da Plataforma Mariposa e dos subsistemas associados, relacionados à provisão de SEs de regulação. Os dados de saída serão mostrados em tabelas de atributos georreferenciadas (Baseado nos estudos de Shinzato et al., 2019; Duarte et al., 2015; Zanini, 2018; Rasera, 2019; Nowak et al., 2013).

Em suma, enquanto tecnologia de inteligência artificial, as ferramentas da Mariposa terão 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, sequestro de carbono e conforto ambiental para auxiliar nos processos criativos de projeto.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo discutiu a idealização da plataforma digital Mariposa, que se estrutura como uma ferramenta para integrar e operacionalizar os projetos complementares de paisagem a partir do conceitual de *Landscape Information Modeling* (LIM).

A plataforma apresenta um importante potencial de replicabilidade, considerando a abrangência das atividades realizadas para a caracterização e diagnóstico das bacias hidrográficas, com a formulação de cenários e a proposição de medidas para a sua revitalização. Argumentou-se no texto 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.

Atualmente, os principais desafios atuais da Plataforma Mariposa são aqueles envolvidos na concepção e montagem de uma plataforma digital online e da orquestração dos *plugin* associados, bem como a escolha dos parâmetros que melhor equalizem as necessidades de um projeto de paisagem.

Finalmente, não se trata de defender a instrumentalização do projeto de paisagem pelo computador, mas sim propor um modelo que auxilie os usuários na intervenção projetual a partir da integração de parâmetros desejados, gerando maior eficiência em todo o processo envolvido, desde sua concepção até sua manutenção. Não se pode esquecer também que o computador é uma criação humana, que parte de princípios históricos, éticos e que não deve ser o protagonista exclusivo na tomada de decisão. Ao contrário, 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 processo LIM nos projetos de paisagem.

REFERÊNCIAS

- ARDETTI, JOSEPH.; ELLIOTT, JOHN.; KITCHING, IAN.J.; WASSERTHAL, LUTZ.T. 'Good Heavens what insect can suck it' – Charles Darwin, *Angraecum sesquipedale* and *Xanthopan morgani* praedicta. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 2012, p. 403-432.
- AGKATHIDIS, Asterios. Generative Design Methods. In: *Proceedings of eCAADe*. 2015, Oulu, Finlândia, Real Time: Extending the Reach of Computation, 2015, p. 47-55.
- CELANI, Gabriela. CAAD (Computer-Aided Architectural Design). In: *BRAIDA*, Frederico et al. (orgs.) *101 conceitos de arquitetura e urbanismo na era digital*. ProBooks, 2017.
- CELANI, Gabriela; VAZ, Carlos Eduardo Verzola. CAD Scripting And Visual Programming Languages For Implementing Computational Design Concepts: A Comparison From A Pedagogical Point Of View. *International Journal of Architectural Computing*, v. 10, p. 121-138, 2012.
- DUARTE, Denise Helena Silva; SHINZATO, Paula; GUSSON, Carolina dos Santos; ALVES, Carolina Abrahão. The impact of vegetation on urban microclimate to counterbalance built density in a subtropical changing climate. *Urban Climate*, v.14, p. 224-239, 2015.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.uclim.2015.09.006>
- EASTMAN, Chuck; TEICHOLZ, Paul; SACKS, Rafael; LISTON, Kathleen. BIM Handbook: a Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2008.
- ENGELBART, Douglas C. Augmenting human intellect: A conceptual framework. Menlo Park, CA, 1962.
- KOTNIK, Toni. Digital architectural design as exploration of computable functions. *International journal of architectural computing*, v.8., n.1 p. 1-16, 2010
- LANDIM, Gabriele do Rosário. *Programação para Arquitetura: linguagens visuais e textuais em Projeto Orientado ao Desempenho*. 2019. 163 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.
- LAISERIN, Jerry. Comparing Pommies and Naranjas. *The Laiserin Letter*, 2016
- LEACH, Neil. Parametrics Explained. *Next Generation Building*, v. 1, n. 1, p. 33-42, 2014.
- LOPES, José; LEITÃO, Antonio. Portable generative design for CAD applications. Integration Through Computation – Proceedings of the 31st Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture, *ACADIA* 2011, p. 196-203, 2011.
- MOTTA, Silvio R. F.; MOURA, Ana Clara Mourão; RIBEIRO, Suellen 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, Newton C. B.; PELLEGRINO, Paulo R.M.; SCARATI, José R.; RAVIOLO, Bruno; MOREIRA, Eugênio. 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
- NOWAK, David; GREENFIELD, Eric.; HOELN, Robert; LAPOINT, Elizabeth. Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States. *Environmental Pollution* v.178, p.229-236, 2013
- RASERA, Susane. *Biomassa e carbono no estrato arbóreo em área restaurada de Mata Atlântica*. 2018. 93 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2018.
- SHINZATO, Paula; SIMONB, Helge; DUARTE, Denise Helena Silva; BRUSEB, Michael. Calibration process and parametrization of tropical plants using ENVI-met V4– São Paulo case study. *Architectural Science Review*, v. 62, n. 2, p. 112-125, 2019.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00038628.2018.1563522>
- ZANINI, Anani Morilha. *Estoque de carbono em restaurações florestais com 5 anos de idade na Mata Atlântica*. 2019. 89 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2018.

Nota do Editor

Data de submissão: 30/03/2020

Aprovação: 30/10/2020

Revisão: RMO

Adriana Afonso Sandre

Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.

Rua do Lago, 876, Butantã SP, 05508-080

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2169-3152>

adriana.sandre@usp.br

Paulo Renato Mesquita Pellegrino

Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.

Rua do Lago, 876, Butantã SP, 05508-080

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7682-5701>

prmpelle@usp.br