

Intelligent Landscapes: Application of Parametric Modeling for a New Generation of Flood Risk Management Reservoirs in São Paulo City, Brazil

Paisagens Inteligentes: Aplicação de Modelagem Paramétrica para uma Nova Geração de Reservatórios de Controle de Enchentes em SP, Brasil

A retention facility is presented as a prototype evaluated not only for its volume capacity but also for its performance as a water landscape and a Stormwater Best Management Practice. Computer aided parametric modeling, using CAD software Rhinoceros© and its algorithmic modeling plugin, Grasshopper, offered new ways of investigating performance combined with design. This functionality allowed a greater freedom of design, which returns to the water landscapes of the anastomosed rivers, adapted to the dynamics of the different water flows, slowness and phytoremediation. This experiment has demonstrated the capacity of the parametric model to calculate the retention volume, as well as to represent the new 3D morphology, reaching a prospective language for landscape architecture in balance with hydraulic engineering requirements.

Uma instalação de retenção é avaliada como protótipo por sua capacidade de volume e pelo seu desempenho como paisagem e Melhor Prática de Gerenciamento de água de chuva. A modelagem paramétrica auxiliada por computador, usando o software CAD Rhinoceros© e seu plugin de modelagem algorítmica, Grasshopper, ofereceu novas formas de investigar o desempenho combinado com o design. Esta funcionalidade permitiu uma maior liberdade de projeto, que retorna às paisagens dos rios anastomosados, adaptadas à dinâmica dos diferentes fluxos de água, desaceleração e fitorremediação. Este experimento demonstrou a capacidade do modelo paramétrico para calcular o volume de retenção, bem como para representar a nova morfologia 3D, alcançando uma linguagem prospectiva para arquitetura da paisagem



Newton Célio Backer Moura
Assistant Professor at the Department of Architecture, Urbanism and Design in Universidade Federal do Ceará - UFC; Collaborative Researcher at Labverde - FAUUSP; Post-doctorate student at the Department of Hydraulic and Environmental Engineering – EPUSP.



Paulo Pellegrino
Associate Professor at Faculty of Architecture and Urbanism in Universidade de São Paulo - FAUUSP; Coordinator of LabVerde.



José Rodolfo Scarati Martins
Associate Professor at the Department of Hydraulic and Environmental Engineering in Universidade de São Paulo – EPUSP.



Bruno Raviolo
Associate Researcher at the Department of Architecture, Urbanism and Design in Universidade Federal do Ceará - UFC.



Eugênio Moreira
Master's Degree student at the Department of Architecture, Urbanism and Design in Universidade Federal do Ceará – UFC.

Keywords:
Intelligent Landscapes, Flood Risk, Parametric Modeling
Palavras-chave:
Paisagens Inteligentes, Risco de Inundação, Modelagem Paramétrica

1. INTRODUCTION

1.1. SÃO PAULO'S ANTHROPOGENIC URBANIZATION

Present-day metropolis has usually overwhelmed natural processes through engineered infrastructures. Especially during the industrial 20th century, urban sprawl and technological progress pursued a model of either partial or complete substitution of environmental systems with anthropogenic, gray, monofunctional and hermetic solutions to nature. Under this paradigm, water, the main support for ecosystem dynamics, has been the target of most impactful transformations: rectified and channeled rivers and streams, landed ponds, and over all, the progressive imperviousness of urban territory led to unprecedented changes in hydrology and intricate issues concerning water quantity, as to flood risk management, and quality, as to pollution mitigation. Historically, from initial city settlements to great metropolitan areas, water bodies have shifted from resource providers to drainage and sanitation accessories as their behavior, performance and landscape were significantly modified.

The City of São Paulo is representative of this anthropogenic model of influence and urbanization. The fast transition from rural to urban especially in the last century has brought serious consequences to landscape and environment. From 31 thousand in 1872, the City of São Paulo has grown seven times in population until the end of the 19th century and became the most important metropolis in South America in the first half of 20th century. By the last demographic census, this number already outraged 11 million (IBGE, 2010). Along this shift, urban development considered hard engineered and massive construction works as a symbol of prosperity, despite of occupying and transforming relevant environmental landscapes into a road and street system under expansion that often matches the places for surface water.

This green/blue conversion into gray infrastructures has specially disturbed the hydrological cycle and all-natural processes chained to it. With the combination of complete artificial management of storm water,

imperviousness and rapid runoff conveyance, streams and river channels have been more likely to overflow, aquifer recharges have decreased, and drainage infrastructure has been over demanded while its longevity and efficiency was reduced. Beyond the issue of storm water volume, São Paulo has serious concerns about the quality of its waters. The former combination of drainage solutions also increases the pollution discharges that flows into surface water resources, which accelerates environmental deterioration and gradually prevents streams and rivers to be restored and function as a multifunctional infrastructure, embraced by city population. Today, São Paulo's greater rivers, Tietê and Pinheiros, are reflections of this anthropogenic process. Mostly channeled and heavily polluted, their waters carry significant load of domestic and industrial sewage and other non-point sources as well. Their tributary creeks are also mostly seen as obstacles, instead of being a source of civic pride, identity, territorial organization or connection. The case study presented in this article, the Jaguaré Creek, a tributary of the Pinheiros River, is part of São Paulo's scenario of rupture between waterscapes and city.

1.2. OPPORTUNITIES FOR GREEN INFRASTRUCTURE

As exceptions to the gray and anthropogenic paradigm of urbanization, there are worldwide valuable initiatives for reconciliation among cities, waters and forests, which today are celebrated as successful examples where landscape and its resources perform as sophisticated infrastructures (Bonzi et al., 2017). Cases such as the Emerald Necklace in Boston and the Tijuca Forest in Rio de Janeiro are recognized by ecosystem services of provision, control and culture. The visionary interpretation of these structures indicates that identifying these opportunities is an essential strategy for the urbanization that is expected for the 21st century. Green infrastructure strategies have thus been presented as a response to the challenges of the contemporary metropolis, notably in the context of climate change and hydric crisis, proposing multifunctional solutions to the issue of urban waters, not only to manage the risks and effects of flooding, but also to benefit on water quality improvement.

In São Paulo, the overlapping of unaccomplished urban plans, misappropriated investments, and compromised decision making with progress at any cost resulted in channeled rivers to serve an extensive system of marginal roads of great relevance for economy and transportation. Historically, there has been a failure to prioritize the opportunity for a green metropolitan infrastructure, which today requires corrective and adaptive action to reclaim river landscapes and functions. Facing emblematic problems related to floods and water pollution, it is clear that the challenge of São Paulo City to join the global movement of balance between urban development and nature relies in the management of its waters.

Considering the hydrological aspects of quantity and quality, possible solutions vary from centralized technologies that have traditionally demonstrated efficiency, such as detention reservoirs (commonly known 'piscinões') to decentralized strategies with greater adherence to landscape. For the latter, open spaces, with emphasis on green patches already available within the urban fabric, may be remodeled, adjusted and connected to enhance runoff slowness and storm water retention, treatment and infiltration. From a range of available technologies, this work examines Best Management Practices (BMP) to access urban storm water issues due to their suitability for green infrastructure principles, such as multifunctionality, connection, biodiversity, esthetics and resilience (Novotny, 2010). Considered as Nature Based Solutions (NBS), BMP are dispersed and on-site drainage management typologies and represent a more efficient and cost-effective approach to development than traditional approaches (Benedict et al., 2006). When based on bioremediation, they are also able to improve water quality and mitigate diffuse pollution that would reach streams and urban rivers. In this sense, applying a simple organic matrix, composed of vegetation, planting soil and a discretionary layer of bedrocks for runoff retention has been proved to be efficient in reducing loads of non-point pollutants (Moura et al., 2015).

However, in decision-making to choose among available technologies, the reliability achieved by conventional solutions and large works of drainage and flood control has strengthened the inertia in the

transition to low-impact, landscape-based solutions or even the integration among these several management techniques. It is acknowledged that some gaps remain to be filled regarding functional aspects of green drainage infrastructure, such as precise efficiency, operation and maintenance, implementation costs, calculation methods, as well as its own acceptance by the city and its managers, designers, constructors and inhabitants. At the same time, reflections in the fields of research, experimentation and even urban management indicate valuable opportunities for an imminent change. Recently, the Hydrographic Basin Booklets (PMSP & FCTH, 2017) developed and published by the Foundation of Hydraulic Technology Center - FCTH, for the São Paulo City Hall, presented landscape simulations for new detention reservoirs planned for flood risk management. Although the approach of concrete tanks with regular shapes have been preserved to guarantee greater volume capacity, the simulated design strategies evidenced an innovative insertion of these reservoirs in the urban fabric no longer as obstacles but as facilities connected to open spaces, suitable to greenery and walkability.

1.3. LANDSCAPE AS TECHNOLOGY

The ability of landscape to react and work as a framework to urban sustainability depends upon a new concept to assess, plan and design the support of ecology in cities. This original theory has reached a promising field through data processing and artificial intelligence (Cantrell & Holzman, 2016). Today's technology enables complex simulations of how proposed solutions respond to specific challenges, considering time, phasing and entropy. If we understand landscape as a technological soft system, it may be evaluated through mathematical models as much as any built infrastructure. However, instead of rigidity and sterility, green infrastructure provides a living and adaptive support to urbanity with greater social and aesthetic values.

This approach found a unique testing opportunity at the Jaguaré Creek Revitalization Project, a pilot plan for a tributary watershed that corresponds to 1/10 of the total 270km² drainage area of Pinheiros River, one of



Figure1 - Greater São Paulo Urban Matrix, its main rivers (Tietê and Pinheiros) and the Jaguaré Creek watershed (in orange).

the two main watercourses crossing Greater São Paulo (Figure 1). An extensive analysis of the Jaguaré basin (Moura et al., 2017) estimated the pollution loads discharged into the creek through land occupation pattern and a system of BMP was then proposed to improve water quality and deal with flood risk control. Beyond strategies for water quality improvement, such as non-point source pollution mitigation, waste recycling, sewage collection and treatment, the project addressed water volume issues by identifying priority areas for flood management through hydrological simulations within the watershed. Considering 100-year flood events and their consequences on runoff and river flow, the retention volumes have been determined for each inline or offline reservoir along the Jaguaré Creek, and one of them has been selected for the pilot parametric prototype presented in this research.

However, a new generation of flood control infrastructures or new 'piscinões' have been explored in Jaguaré. These facilities were not only evaluated for

their volume capacity but also for their performance as a water landscape. Instead of the conventional approach of regular shaped and concreted reservoirs, a more fluid language has been examined in order to metamorphose into a set of landscape parks that celebrates the pulses of water. The design proposes flood control devices as temporary and/or permanent basins that communicate through anastomosed channels. In addition to aesthetic possibilities, the successive ramifications and recombination of these canals lead to reduction in velocity and a longer path to the water in periods of greater drought (when the concentration of pollutants becomes higher), giving more time to phytoremediation processes and bioremediation. In periods of heavy rainfall, larger volumes can be accommodated occupying the entire flood bed, evidencing the adaptive aspect of the solution (Figure 2).

Although there has been a considerable achievement regarding resilient landscape and ecosystem services with a more fluid language, the challenge of this

investigation was to integrate design to the fulfillment of performance criteria since retention capacity persisted as a crucial requirement. The complex geometric forms result in considerable complication to determine their volumes by traditional methods, raising the discussion about alternatives to overcome this problem. One possibility developed in the present work was to conceive a parametric computational model able to provide feedback on the reservation capacity obtained by a dynamic design that ranges from several alternatives. This model should also incorporate certain analytical processes, such as the identification of runoff and zones of greater slope, that were used as the initial inputs of the design. The following sections will to present the methodology adopted for the elaboration this computational device.



Figure 2 – Simulation of dry and wet seasons in the pilot área of the Jaguaré Creek. Source: Repository of the Jaguaré Creek Revitalization Project .

2. METHODOLOGY

2.1 DESIGN ALGORITHMS FROM THE PERSPECTIVE OF ARTIFICIAL SCIENCE

Design Science Research (DSR) methodology admits that problems may be arranged into classes which

condition the production and use of artifacts to aid the optimization of artificial systems. Problem classes are issues within a system that have a greater or lesser degree of similarity depending on the scale of analysis. When the degree of similarity is high, and a particular artifact is capable of being applied to another similar problem, one can classify the two distinct problems within the same class (Dresch et al., 2015). Under this method, the landscape interventions former explained for retention reservoirs is then understood as a particular problem class, where design process can be generalized by encoding typical actions in algorithmic structures.

An algorithm is a computational procedure to solve a problem in a finite number of steps. It involves deduction, induction, abstraction, generalization and structured logic. It is the systematic extraction of logical principles and the development of a generic solution plan. Algorithmic strategies use the search for repetitive patterns, universal principles, interchangeable modules, and inductive links. The intellectual power of an algorithm lies in its ability to infer new knowledge and to extend certain limits of the human intellect (Terzidis, 2004).

When classifying types of artifacts predicted by the DSR, an algorithm can approach both method and model. As to the method, it is the codification of a process that aims to solve a certain class of problem; as to the model, it represents characteristics through a prototype of a certain nature. From these aspects, eventual demands can be diagnosed and overcome (Dresch et al., 2015). This ambivalent nature is especially relevant when constructing algorithmic models capable of guiding the design search for suitable solutions. Similarities emerge with traditional typological thinking, since a set of abstract solutions, types, can be used to shift the starting point of a specific project from a framework composed of previous solutions. Though the accessed problem must have a reasonable degree of similarity with its predecessors to avoid invalidation of previous experiences.

Since the type is coded directly in the algorithm, that is, the structure formed by logical steps is the type itself, the algorithmic model represents, in fact, instances derived from this typological potential.

Through the DSR, the instance operates within the limits of the real environment, dealing with the various constraints of the design process. In practice this translates into the insertion of additional information to the model, whose absent would limit full definition of the problematic situation for which it was created.

Such essential information for the algorithmic model are delimitations of areas, mandatory points of entry and exit of the system, quotas of such points and topographical conditions. This information compiles the set of parameters of the system, variables for each new situation. The algorithmic model will try to associate them with functions, which are logical operations, in order to solve a certain objective problem (Davis, 2013). Thus, it is necessary for the algorithm to organize its functions so that its logical structure [1] presents coherence in such a way that it is able to respond to the original problem (Woodbury, 2010).

2.2 TOOLS

The chosen platform to develop the system applied for landscape modeling consists of a Computer-Aided Design (CAD) software called Rhinoceros® and its algorithmic modeling plugin, Grasshopper. While the former is a powerful modeler, capable of handling a wide range of file formats (useful for importing the primary data of the topography), the second allows the formulation of algorithms through a language of visual syntax [2], in which functions are represented by small boxes and the information links by lines (Figure 3).

One of the main advantages of using this type of system is that it does not require prior knowledge of any specific programming language, operating through a diagrammatic representation, making explicit the structure of the process. In addition, the plugin has a large and active developer community, where you can find in your forums not only easy support for technical issues, but also many add-ons that greatly expand the standard functionality of the software.

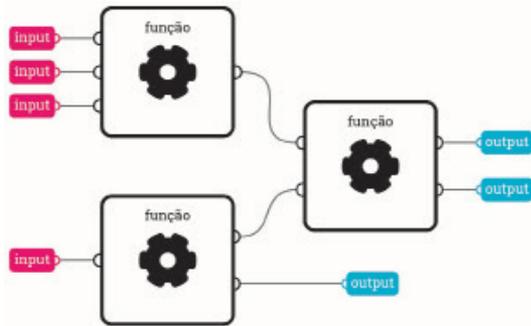


Figure 3 – Diagram representing the working scheme of a visual programming language syntax. Created by the authors.

2.3 STAGES OF DEVELOPMENT

The initial stage of algorithm definition was to comprehend the geometric patterns of specific landscape language. An inductive approach guided the work method, which consisted of a case study of an excerpt from the Jaguaré Creek, formerly determined as a strategic area for a retention reservoir. For this step, interviews among the multidisciplinary research team members have been essential to define what were typical design actions and shape patterns for applied water storage solutions. Drawing sketches were also of great importance to organize the logical structure and assist its subsequent decomposition (Figure 4).

In a second moment, design language and logic were decomposed and translated into computational environment, which resulted in an algorithm opened to generalizations. This stage applied deductive and abductive approaches, since the production of the logical reasoning had been mediated by the instrumental domain of the computational tools. Given the complexity of the anastomosed forms, a topological analysis aimed to reduce the geometric patterns in more simple elements (Figure 5). In this process of simplification, regardless the metric relation among the systemic elements, connections were more relevant and conclusive to define a functional structure rather than form.

Two strategies were applied to advance in the

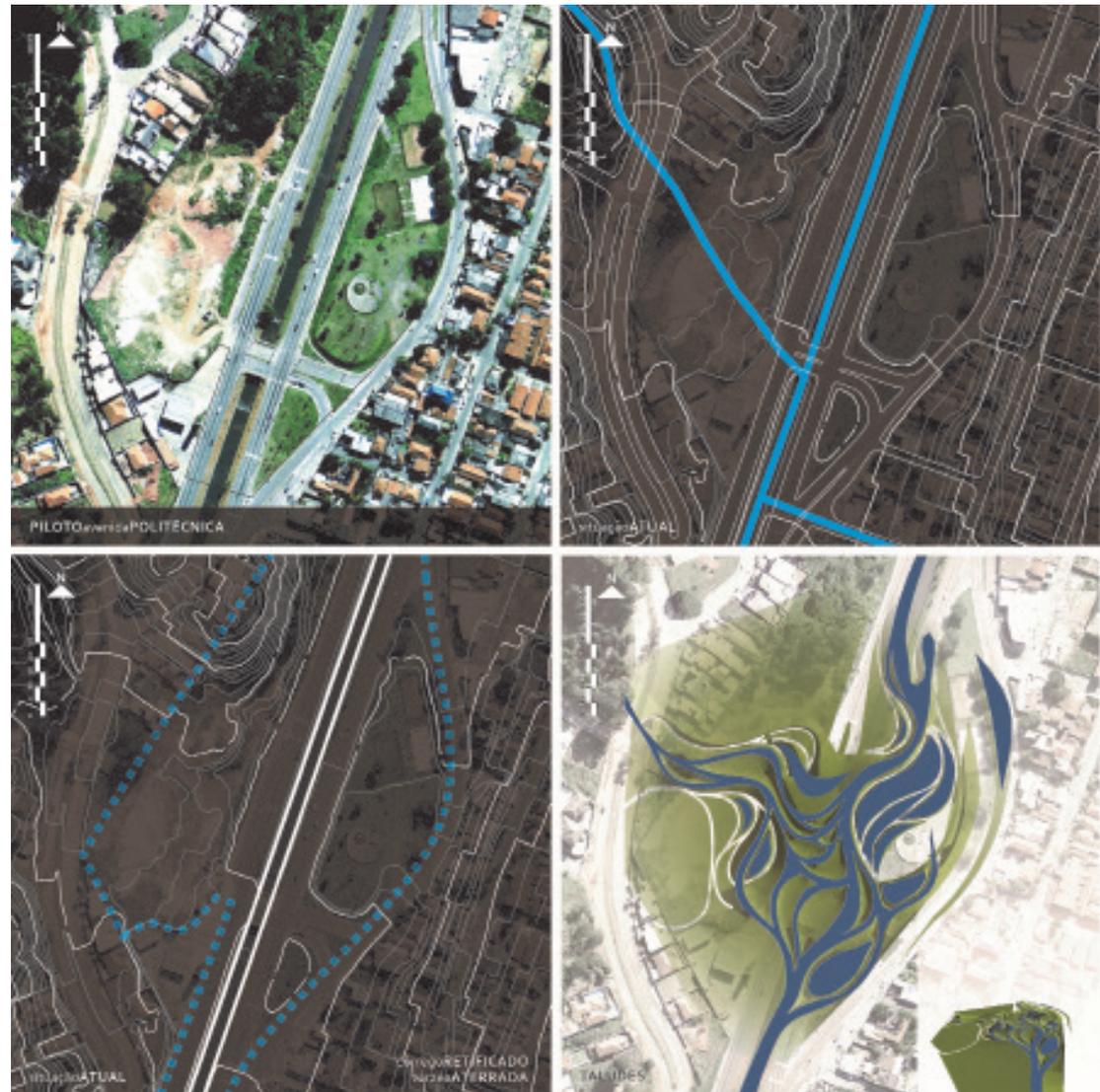


Figure 4 – Reference design developed for a pilot area with Jaguaré Creek watershed, in Politécnica Avenue. Source: Repository of the Jaguaré Creek.

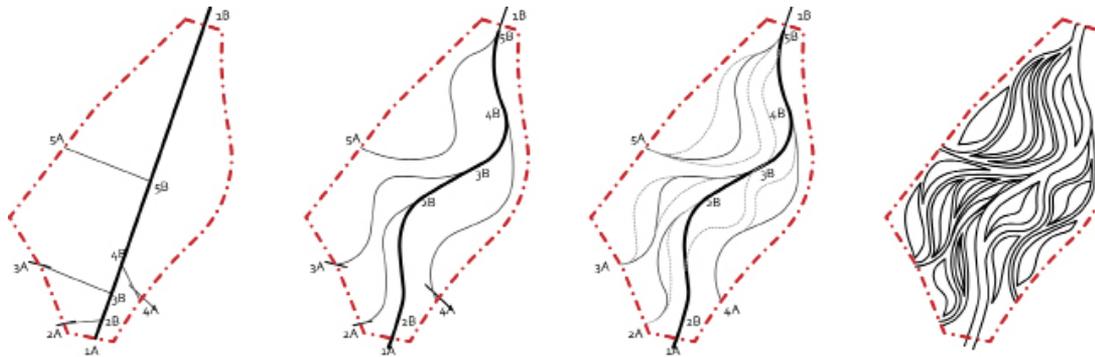


Figure 5 – Process of formal decomposition and simplification. Created by the authors.

computational system for parametric design of flood control reservoirs: 1. Development of disposable prototypes at the first attempts and; 2. Logical decomposition by the Cascade Method, whereby the problem is broken into smaller parts (Davis, 2013). Each part was an excerpt of the algorithm that responded to specific questions, with potential to be duplicated at other times, forming small blocks. The arrangement of such blocks defined a response to accomplish a list of functions demanded to reach the main objective of the algorithm, the so-called islands of local complexity. This strategy of generating highly connected islands within the system allowed the emergence of subsystems. Integrality was exactly the parameter that expresses this configuration through subsystems. The integrality is already a degree of organization. Thus, if a form of organization, soon a high form of complexity, manifests itself, this will give from the formation of systems within the system, subsystems therefore (Vieira, 2008).

Each of these islands required several steps: 1. Formulation of specific strategies based on logical reasoning; 2. Implementation from the programming environment; 3. Test as a prototype in a specific scenario and 4. Subsequently generalization to a wide range of scenarios. This created a situation in which each island had a unique degree of difficulty due to the complexity of each task requested. By reproducing its behavior to different scenarios, it was possible to verify possible technical conflicts with other parts of the algorithm. A particular strategy to solve this

problem locally may sometimes be incompatible with others, or it may render a series of possible solutions to a problem that has not been foreseen. Given its extension, the final version of the algorithm incorporated a code identifying the types of complex island functions through chromatic groupings (Figure 6).

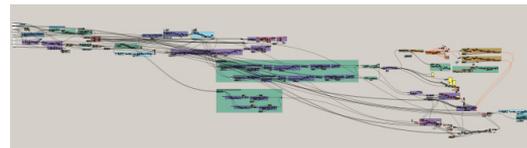


Figure 6 – Complete algorithm in the visual programming environment. Created by the authors

3. RESULTS

The procedure for generating the desired forms required, at first, information regarding the initial situation of the problem, such as: 1. Closed 2D traverse, representing the contour of the intervention area; 2. Contour lines with vertices of equivalent height; 3. Segments of lines representing the points of inflow and outflow of the system as well as their topographic level values. With these initial inputs, the algorithm generated a topographic surface that is used for the analysis of runoff and slope (Figure 7). The visual interpretation of these data aimed to identify the points of interest for the design process through

an accessible language, such as regions of possible runoff concentration and areas with declivity and reduced accessibility. It must be noted, however, that there is always a degree of simplification adopted by the model due to the lack of correspondence between the complexity of information commonly found in CAD urban design bases and limited computing processing.

Operational tests during the process of prototype definition have been supported by discussions among the research team, especially between landscape architects and programmers, which determined two major strategies to simplify the application of the algorithmic model. The designer intervention was performed mainly by manual sketches of the sinuous channels shafts within the digital environment and the connection of these geometries with algorithm functions (Figure 8a). This approach aided the transition of experienced users to traditional CAD software, requiring less training for the algorithm operation. Certain precautions were also taken to avoid small failures in the operation derived from technical specificities unrelated to the designer's knowledge, such as the automatic reorientation of the initial and final points of the open curves for the correction of the input and output dimensions.

The anastomosed axes of the reservoir were divided into two categories: the primary ones, which derive from the original inflow and outflow points of the original channel; and the secondary ones whose affluent points have been determined by the algorithm itself and which necessarily connect to the main axes. Firstly, the algorithm required the insertion of the primary axes, which by their shape and slope alter the initial topography to a new situation. This, in turn, redirects the flows of surface runoff and regions of greater or lesser slope, requiring, therefore, a new iteration of analyzes and simulations.

In a second moment, the algorithm performs an analysis of the concentration of rainfall trajectories on the surface and detects the highest concentrations at the edge of the intervention area. These points can be used by the designer as points of entry for the secondary paths, requiring the sketch of secondary axes that, in their projection, intercept the main axes (Figure 8b).

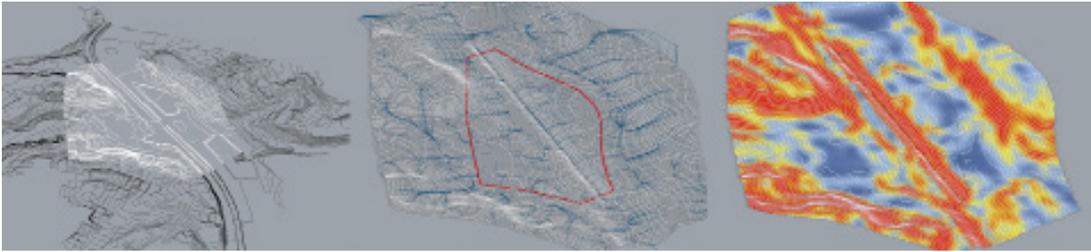


Figure 7 – Analysis of the initial conditions in three moments: 1. definition of the intervention area; 2. flow paths; 3. topographic analysis. Created by the authors.

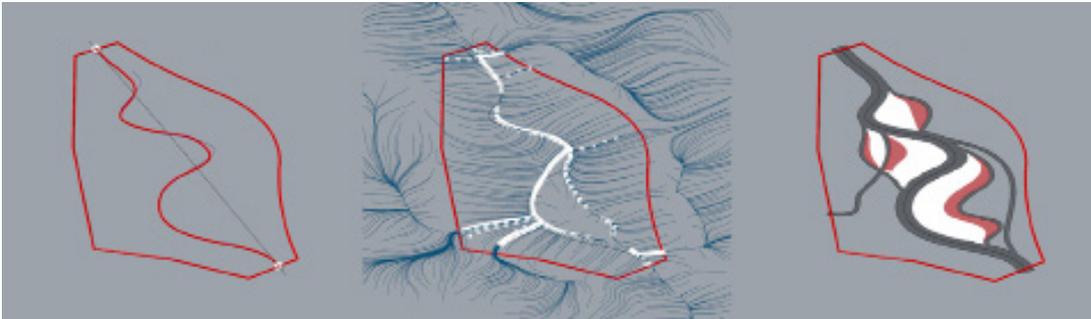


Figure 8 (a;b;c) – Designer's intervention: (a) elaboration of a new primary axis; (b) analysis of surface runoff behavior; (c) meander generation and definition of small reservoirs and isles. Created by the authors.

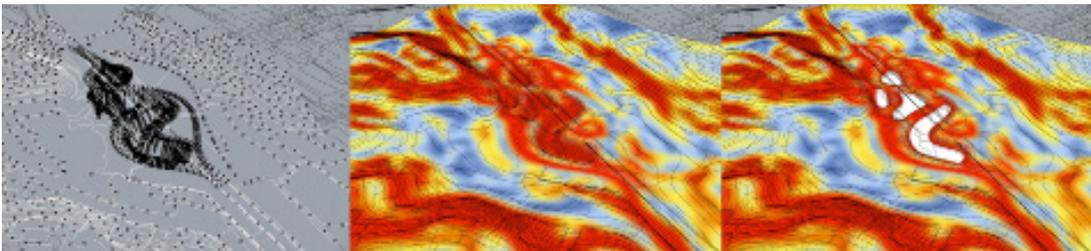


Figure 9 (a;b;c) – Final steps: (a) tessellation of topographic surface by points; (b) new topography with empty and full reservoirs (c) (white sections). Created by the authors.

By crossing the main axes and the secondary axes, a series of formal treatments and analyzes specific to computer graphics determined suitable regions within the limits of the reservation area to model new meanders in order to enhance water flow slowness and retention.

These new 3D surfaces were distinguished between small reservoirs (submerged)

and small isles (emerged) (Figure 8c).

In the last steps of the algorithm a cloud of points was generated by a decomposition of the main and secondary axes as well as the meandering regions. In addition, the points referring to the edge of the intervention area and original topography in the urban environment (Figure 9a) were also added to this

grouping. The cloud resulting from this overlapping was used to define a final topographic surface, which has been meshed by sewing among these points, proving to be a simple and robust method (Figure 9b).

For the calculation of the retention volume, the surface was extruded down, generating a complex shaped solid - called a closed brep. From this moment, by means of boolean operations of form subtraction, it is possible to find the volumes retained in the small reservoirs of the meanders, as highlighted in Figure 9c in white. The calculation was performed automatically by the algorithm, explaining the individual volumes of each reservoir and the summation (Figure 10). The parametric design process of the algorithmic model allowed a continuous workflow in which changes in the first parts of the algorithm generate a chain of repercussions, informational chaining, updating the model to its final point (Woodbury, 2010).

However, given the quantity and diversity of functions involved in the algorithm, as well as the requirement for processing power due to the complexity of the tasks involved, the operation is best done by segmentation of its informational path, thus, the user delimits the reach of the thread information in order to still enjoy the practical benefits of real-time modeling, even under a simplified condition.

4. CONCLUSION

When examining the design process for a new generation of flood risk management reservoirs in São Paulo, the water space, adaptively and intelligently remodeled for strategic reservation purposes, has transformed the landscape itself into technology, relying on the sophistication of natural systems, which presented an expected difficulty to be reproduced efficiently by artificial devices. Once the adopted design approach (the curvilinear design of anastomosed river channels) faced specific obstacles in regard to fast manipulation and adherence to performance criteria, this work investigated the definition of an artifact based on information technologies and capable to assist the design process, not only to provide an automated modeling of formal structures but mostly

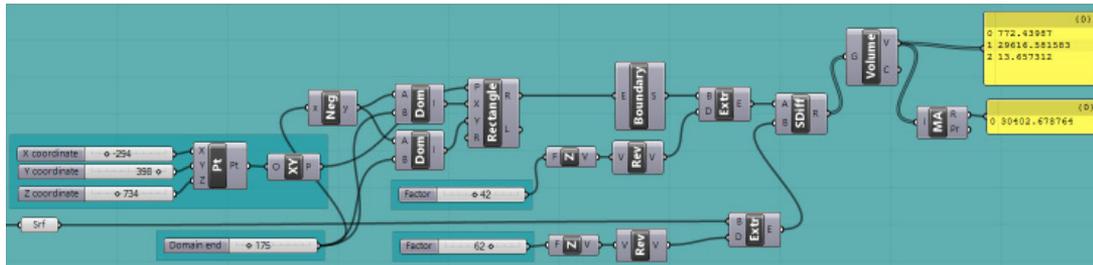


Figure 10 – Excerpt of the algorithm responsible for the calculation of the retained volume (yellow panels). Created by the authors.

to provide feedback on the performance of the researched solution. The system was able to provide a series of information that guided the proposal translation, and yet it allowed manifestations of manual expressiveness (such as the design of curves directly from the CAD system), producing a better result for the usability of the algorithm by designer. This access implied a low autonomy degree for the algorithm [3], which translated into an auxiliary behavior, restricted to the complementary representation of the model and the provision of data to the designer.

The experiment has demonstrated the parametric model capability to calculate retention volume calculation, as well as to represent the new topography generated from the initial sketches and complemented by the computational system. The need for a geometric simplification to reduce the use of resources such as computational processing and allocation of RAM was fundamental. It should be emphasized, however, that the use of such an algorithmic model has targeted the initial stages of design, when fast estimative of storage directly aided design, and a margin of error was acceptable within proper tolerance.

As possible issue for future research is the increase of the autonomy degree of the algorithm, but still saving the selection of the final version for the designer. For this, the use of stochastic patterns [4] must be considered to complement the initial sketches, or even to generate them in an automated way. Another important point identified was the potential of the use of form-finding [5] via genetic algorithms [6], so

that evolutionary optimizations act on the generation of the patterns applied to the rainfall trajectories and reservoirs, seeking to reduce the movement of sediments and maximize the retention volume. The discrepancy between landscape design model and more accurate calculations of complementary engineering designs should also be measured appropriately.

By combining performance with computational design, this work has reached a prospective language for landscape architecture in balance with the requirements of hydraulic engineering. An innovative morphology for retention reservoirs was capable to integrate the diverse functions that are expected for urban spaces, such as areas that combine the role of infrastructure with the needs of social and aesthetic use and that stimulate more vibrant and valued urban landscapes.

This convergence was achieved not only by aesthetic impulses, but through a rigorous and formally demanding investigation to escape from monofunctional regular reservoirs of concrete and experiment what natural and adaptive systems offer us best in flood control and bioremediation. With discretion and science, it was possible to reach numbers and a greater awareness of how nature works. This little access to knowledge has been enough to enable more creativity in a responsible way. This computational tool to generate hydraulic reserve spaces is part of an intense collaborative research between areas of knowledge that traditionally are not in agreement with water management - engineering and landscape architecture - and must collaborate

to finally reach a crucial moment of reconciliation and maturity for urban waters in São Paulo.

ACKNOWLEDGEMENTS

Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH), LabVerde-FAUUSP, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental-EPUSP, Águas Claras do Rio Pinheiros, Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT).

NOTES:

[1] In the General Theory of Systems, structure means a map of the connections between each of the elements that compose a given system at a specific time. In algorithms, the structure is the chaining of the functions predicted in a logical process, and that, in the language of DSR, are called connections of the internal environment of an artifact.

[2] A visual syntax language is based on the visual association of blocks, unlike scripts, which are produced through a written language. These blocks represent entities such as input parameters, functions, outputs; also presenting links to inform the relations of informational connection (what is connected to what).

[3] The autonomy degree implies the participation of the user in the operational application of the algorithm. A high degree means that human participation will be small, usually reduced to the role of esthete, critical of the suggestion provided by the machine, whereas a low grade means the opposite, which will require a greater interaction during the operation (Gianneti, 2006).

[4] Stochastic patterns involve components based on random factors in the production of results, always generating configurations that are not identical, although similar because

they share the same generative structure.

[5] Form-finding processes find responses, usually formal, when confronting different forces around an object. Analogous examples are found in the studies of Antonio Gaudi with his catenaries, whose forms were mirrored to find funicular arcs, and the minimal surfaces of Frei Otto, carried out with bubbles of soap.

[6] Genetic algorithms can be understood as tools that alter the inputs of a given equation, called here genes, so that the result of this approximate a target value, called fitness. The specific computational tool, Galapagos, directly uses concepts from the theory of evolution, derived from Biology, to find suitable solutions to fitness.

REFERENCES:

Benedict, M. A. & McMahon, E. T. (2006). *Green infrastructure: Linking landscapes and communities*. Washington, DC.: Island Press.

Bonzi, R. S. (2017). Paisagem como Infraestrutura. In Pellegrino, P. & Moura, N. (Eds). *Estratégias para uma Infraestrutura Verde*. (pp1-24) Barueri, SP: Manole.

Cantrell, B & Holzman, J (2016). *Responsive landscapes: strategies for responsive technologies in landscape*

- architecture*. New York, Routledge.
- Davis, D. (2013). *Modelled on Software Engineering: Flexible Parametric Models in the Practice of Architecture*. PhD Thesis. Melbourne: RMIT University.
- Dresch, A; Lacerda, D. & Antunes Jr., J (2015). *Design Science Research: A Method for Science and Technology Advancement*. London: Springer. ISBN 978-3-319-07374-3.
- Gianneti, C. (2006). *Estética Digital: Sintopia da Arte, a Ciência e a Tecnologia*. Belo Horizonte: C/Arte.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE (2010). *Censo Demográfico 2010*. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
- Moura, N.; Pellegrino, P; Martins, J. & Rizzi, D. (2015). Evaluation of bioretention as a best management practice for nonpoint-source pollution mitigation. In *ICUD 20017 - Proceedings and Presentations*. Retrieved from <http://www.icud2017.org/> on 2018-04-02.
- Moura, N; Pellegrino, P & Martins, J (2017). *The Jaguaré Creek Revitalization Project: Transforming São Paulo through a Green Stormwater Infrastructure*. *PROEDIA ENGINEERING*, v.198, p.894 - 906. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.165>.
- Novotny, V.; Ahern, J. & Brown, P. (2010). *Water Centric Sustainable Communities: planning, retrofitting, and building the next urban environment*. New Jersey: John Wiley Inc..
- PMSP & FCTH (2017). *Cadernos de Bacias Hidrográficas*. Retrieved from http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/obras/obras_de_drenagem/index.php?p=230496 on 2018-04-08
- Terzidis, K. (2004). *Algorithmic Design: a Paradigm Shift in Architecture?* In *Architecture in the Network Society: 22nd eCAADe Conference Proceedings* (pp201-207). Copenhagen, Denmark: Royal Danish Academy of Fine Arts.
- Vieira, J. (2008). *Teoria do Conhecimento e Arte*. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora (2nd Ed.).
- Woodbury, R. (2010). *Elements of Parametric Design*. Oxon: Routledge.

Paisagens Inteligentes: Aplicação de Modelagem Paramétrica para uma Nova Geração de Reservatórios de Controle de Enchentes em São Paulo, Brasil.

1. INTRODUÇÃO

1.1. A URBANIZAÇÃO DAS ÁGUAS SOB A ÉGIDE DAS INFRAESTRUTURAS CINZAS

As grandes metrópoles contemporâneas usualmente se consolidaram através do domínio das estruturas humanas sobre os processos naturais. Durante o século XX, sobretudo, o progresso urbano e tecnológico seguiu o modelo das substituições parciais ou completas de sistemas ambientais por soluções antropizadas, cinzas, monofuncionais e prioritariamente herméticas à natureza. Ao seguir esse paradigma, a água, principal elemento de suporte para as dinâmicas ecossistêmicas, tornou-se alvo das transformações mais impactantes. Rios e riachos foram retificados e canalizados, lagoas aterradas e grandes porções de território sofreram impermeabilizações, seja para a circulação ou para a construção de edificações. Nos movimentos históricos de assentamentos e expansões

urbanas, os recursos hídricos passaram de provedores a acessórios de drenagem e saneamento, bem como tiveram seu comportamento extremamente alterado.

Quanto ao processo de urbanização, a cidade de São Paulo se apresenta como um típico modelo de dominância antrópica. A rápida transição da condição rural para a condição urbana nos últimos dois séculos trouxe sérias consequências para sua paisagem e meio ambiente. De 31 mil em 1872, a cidade de São Paulo cresceu sete vezes em população até o final do século XIX e se tornou a metrópole mais importante da América do Sul na primeira metade do século XX. Pelo último recenseamento demográfico, este número já atingiu 11 milhões (IBGE, 2010).

Seus maiores rios, Tietê e Pinheiros, encontram-se canalizados e extremamente poluídos. A impermeabilização excessiva de suas áreas lindeiras sobrecarrega um sistema totalmente artificial de drenagem, reduzindo em sua longevidade e

eficiência, bem como diminuindo significativamente a recarga do lençol freático. A consequência mais direta disso pode ser vista nos períodos chuvosos, momento em que os noticiários são inundados por tragédias relacionadas a alagamentos. Tudo isso potencializa a poluição desses recursos hídricos, que recebem contribuições tanto concentradas como difusas, através de ligações de esgotos clandestinos ao sistema de drenagem de águas pluviais.

1.2. OPORTUNIDADES PARA INFRAESTRUTURAS VERDES

Como exceções ao paradigma cinza de urbanização, encontram-se valiosas iniciativas conciliatórias entre águas, florestas e cidades, que atualmente são celebradas como exemplos exitosos onde a paisagem e seus recursos atuam como infraestruturas sofisticadas (Bonzi, 2017). Casos como o Emerald Necklace de Boston e a Floresta da Tijuca no Rio de

Janeiro são reconhecidos pelos serviços ambientais de provimento, controle e cultura nos contextos urbanos em que estão inseridos. A interpretação visionária dessas estruturas demonstra que a identificação dessas oportunidades é uma estratégia essencial para a urbanização que se espera para o século XXI, em cujo início já se constata um movimento global de reconciliação entre os processos naturais e a urbe. Essas estratégias de infraestrutura verde têm se apresentado como uma resposta aos desafios das metrópoles contemporâneas, propondo soluções multifuncionais para o problema das águas urbanas, atuando não só na diminuição dos efeitos dos alagamentos, mas tendo também efeito benéfico na qualidade dessas águas.

Considerando os aspectos hidrológicos de quantidade e qualidade, as possíveis soluções variam de tecnologias centralizadas que tradicionalmente demonstram eficiência, como reservatórios de detenção (comumente conhecidos por piscinões) a estratégias descentralizadas com maior aderência à paisagem. Para este último, espaços abertos, com ênfase em áreas verdes já disponíveis dentro do tecido urbano, podem ser remodelados, ajustados e conectados para aumentar o amortecimento do escoamento e a retenção, tratamento e infiltração de águas pluviais. A partir de uma série de tecnologias disponíveis, este trabalho examina as Melhores Práticas de Manejo (MPM) para acessar as questões de águas pluviais devido à sua adequação aos princípios de infraestrutura verde, como multifuncionalidade, conexão, biodiversidade, estética e resiliência (Novotny et al., 2010). Considerados como Soluções Embasadas na Natureza (Nature-based Solutions - NBS), as MPM são dispersas e tipologias de gestão de drenagem no local e representam uma abordagem de desenvolvimento mais eficiente e econômica do que as abordagens tradicionais (Benedict & McMahon, 2006). Quando baseados na biorretenção, eles também são capazes de melhorar a qualidade da água e mitigar a poluição difusa que atingiria rios e rios urbanos. Neste sentido, a aplicação de uma matriz orgânica simples, composta de vegetação, solo de plantio e uma camada de substratos para a retenção de escoamento tem se mostrado eficiente na redução de cargas de poluentes não pontuais (Moura et al., 2015).

Contudo, na tomada de decisões para escolher entre as tecnologias disponíveis, o respaldo alcançado

pelas soluções convencionais e grandes obras de drenagem e controle tem justificado a inércia na transição para soluções embasadas na paisagem e de baixo impacto ou ainda na complementaridade entre técnicas de manejo. Admite-se que há lacunas a serem preenchidas quanto a 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. Ao mesmo tempo, as reflexões no âmbito da pesquisa, experimentação e até mesmo gestão urbana demonstram um direcionamento no sentido de avançar oportunidades de implementação. Recentemente, os Cadernos de Bacias Hidrográficas elaborados pelo Centro Tecnológico de Hidráulica – CTH (PMSP & FCTH, 2017), para a Prefeitura Municipal de São Paulo, apresentaram simulações paisagísticas para reservatórios de detenção. Mesmo mantendo a abordagem dos piscinões de bordas concretadas e de formato regular para garantir maior capacidade de volume, as estratégias de projeto simuladas mostraram a inserção dos reservatórios no tecido urbano não mais como obstáculos à fruição e à paisagem, mas como equipamentos conectados aos espaços livres, aptos a serem transpostos e utilizados.

1.3. A PAISAGEM COMO TECNOLOGIA

A capacidade da paisagem de reagir e trabalhar como uma estrutura para a sustentabilidade urbana depende de um novo conceito para avaliar, planejar e projetar o suporte para ecologia nas cidades. Esta teoria original alcançou um campo promissor através do processamento de dados e inteligência artificial (Cantrell & Holzman, 2016). A tecnologia atual permite simulações complexas de como as soluções propostas respondem a desafios específicos, considerando o tempo, faseamento e entropia. Se entendermos a paisagem como um sistema tecnológico leve, ela pode ser avaliada tanto por modelos matemáticos quanto por qualquer infraestrutura construída. No entanto, em vez de rigidez e esterilidade, a infra-estrutura verde proporciona um suporte vivo e adaptativo à urbanidade com maiores valores sociais e estéticos.

Uma vez que se percebe a possibilidade concreta do uso dessas tecnologias compensatórias como alternativa viável ao modelo cinza e monofuncional, enseja-se a discussão sobre como é possível potencializar sua função paisagística. O Projeto de Revitalização do Córrego Jaguaré aparece, então, como um estudo de caso interessante. A iniciativa, coordenada pela Fundação Águas Claras do Rio Pinheiros, iniciou-se no final de 2015 e tinha por objetivo planejar uma intervenção que contribuísse para a melhoria da qualidade das águas urbanas na cidade de São Paulo. O Rio Pinheiros, juntamente com o Tietê, é um dos maiores recursos hídricos da metrópole paulistana, com uma área de drenagem de 270km² (Figura 1). O Córrego Jaguaré é um de seus importantes tributários, cuja sub-bacia ocupa 1/10 da área mencionada. Seus 25km de extensão são completamente canalizados e sofrem não só com a poluição difusa, como também recebem diversas contribuições de esgotos clandestinos. Por meio um extenso diagnóstico (Moura et al., 2017) que estimou, através do padrão de ocupação do território, a carga de poluição recebida pelo recurso hídrico, o projeto propôs uma série de estratégias LID para a melhoria da qualidade das águas.

Figura 1 – Matriz Urbana da Grande São Paulo, seus principais rios (Tietê e Pinheiros) e a bacia do Jaguaré (em laranja).

Aqui, entretanto, em substituição à convencional abordagem dos piscinões retilíneos, buscou-se uma linguagem mais fluida e que pusesse se metamorfosear em um conjunto de parques paisagísticos para celebração do pulso das águas. O desenho propõe a implantação de reservatórios inline e offline como bacias temporárias e/ou permanentes que se comunicam por canais anastomosados. Para além das possibilidades estéticas, as sucessivas ramificações e 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. Nos períodos de chuva intensa, o maior volume pode ser acomodado ocupando todo o leito de inundação, evidenciando o aspecto adaptável da solução (Figura 2).

Figura 2 – Simulação das estações seca e chuvosa na área piloto do Igarapé do Jaguaré. Fonte: acervo do Projeto de Revitalização do Córrego Jaguaré.

Apesar do claro ganho paisagístico propiciado pela linguagem adotada, uma dificuldade que a mesma coloca diz respeito à manutenção dos aspectos ao atendimento de critérios de performance. As complexas formas geométricas criadas apresentam considerável dificuldade no cálculo de seus volumes pelos métodos tradicionais de projeto, suscitando a discussão sobre alternativas para contornar tal problema. Uma possibilidade (aquela que se desenvolverá no presente trabalho) está na criação de um modelo computacional paramétrico que seja capaz de fornecer um feedback quanto à capacidade de reserva obtida pelo desenho proposto, dando a possibilidade para a elaboração de um maior leque de alternativas. De outra forma, tal modelo também pode incorporar certos processos de análise, como a identificação dos fluxos de escoamento das águas e das zonas de maior declividade, que podem ser usados como input inicial do desenho. As seqüências de tratamento de apresentar a metodologia adotada para a elaboração de um dispositivo de tal espécie.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. ALGORITMOS PARA PROJETO SOB A PERSPECTIVA DA CIÊNCIA DO ARTIFICIAL

A metodologia da Design Science Research (DSR) precogniza a existência de classes de problemas que por sua vez condicionam a produção e o emprego de artefatos para auxiliar a otimização de um determinado sistema artificial. As classes de problemas são problemas em um sistema que apresentam maior ou menor grau de similaridade em função da escala de análise. Quando o grau de similaridade é alto e um artefato em particular é capaz de ser aplicado a outro problema semelhante, pode-se classificar os dois problemas distintos dentro de uma mesma classe [9]. Nesse entendimento, as intervenções paisagísticas explicadas anteriormente podem ser encaradas como uma determinada classe de problema, onde o processo de projeto pode ser generalizado através da

codificação de ações típicas em estruturas algorítmicas.

Um algoritmo é um procedimento computacional para resolver um problema em um número finito de etapas. Envolve dedução, indução, abstração, generalização e lógica estruturada. É a extração sistemática de princípios lógicos e o desenvolvimento de um plano de solução genérico. As estratégias algorítmicas utilizam a busca de padrões repetitivos, princípios universais, módulos intercambiáveis e ligações indutivas. O poder intelectual de um algoritmo reside na sua capacidade de inferir novos conhecimentos e estender certos limites do intelecto humano (Terzidis, 2004).

Na classificação de tipos de artefatos prevista pela DSR, um algoritmo pode se aproximar tanto de um método como de um modelo pois, por um lado, ele é a codificação de um processo que visa resolver uma determinada classe de problema; por outro, representa suas características através de um modelo de determinada natureza, para que a partir destes se possa diagnosticar e superar suas necessidades (Dresch et. al., 2015). Essa natureza ambivalente é realçada quando se propõe a criação de modelos projetuais controlados por algoritmos, os modelos algorítmicos, que sejam capazes de guiar a busca do projetista por soluções. 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. A condição fundamental é que o problema em questão deve apresentar um grau de similaridade razoável com os que o antecederam, de modo a não invalidar o conjunto de experiências passadas.

Uma vez que o tipo está codificado diretamente no algoritmo, ou seja, a estrutura formada por passos lógicos é o próprio tipo, o modelo algorítmico representa, na verdade, instâncias derivadas deste potencial tipológico. Pela DSR, a instância opera nos limites do ambiente real, lidando com os diversos condicionantes presentes no processo de projeto. Na prática isto se traduz na inserção de informações adicionais ao modelo, sem as quais não há condições de se caracterizar completamente a situação problemática para a qual o mesmo foi criado. Tais

informações essenciais para o modelo algorítmico são delimitações de áreas, pontos obrigatórios de entrada e saída do sistema, cotas de tais pontos, condicionantes topográficos. Essas informações compõem o conjunto de parâmetros do sistema, variáveis a cada nova situação. O modelo algorítmico tratará de associá-las às funções, que são operações lógicas, de maneira a resolver um determinado problema de natureza objetiva (Davis, 2013). Assim, é necessário ao algoritmo organizar suas funções para que sua estrutura lógica [1] apresente coerência de modo tal que seja capaz de responder ao problema para a qual foi elaborado (Woodbury, 2010).

2.2. FERRAMENTAS

A plataforma escolhida para o desenvolvimento do sistema é composta por um software de modelagem do tipo Computer-Aided Design (CAD) chamado Rhinoceros® e seu plugin de modelagem algorítmica, o Grasshopper. Ao passo que o primeiro se apresenta como um potente modelador, capaz de lidar com uma extensa gama de formatos de arquivos (útil para a importação dos dados primários do território onde se deseja intervir), o segundo permite a criação de algoritmos através de uma linguagem de sintaxe visual [2], na qual as funções são representadas por pequenas caixas e os vínculos de informação por linhas (Figura 3). Uma das principais vantagens na utilização desse tipo de sistema reside no fato de que o mesmo não exige o conhecimento prévio de nenhuma linguagem de programação específica, operando por meio de uma representação diagramática, tornando explícita a estrutura do processo. Para além disso, o plugin possui uma numerosa e ativa comunidade de desenvolvedores, sendo possível encontrar, em seus fóruns, não só um facilitado suporte para questões técnicas, como diversos complementos que expandem em muito as funcionalidades padrão do software.

Figura 3 – Diagrama representando o esquema de funcionamento de uma sintaxe de linguagem visual de programação. Fonte: elaborado pelos autores.

2.3. ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO

A etapa inicial do trabalho é caracterizada pela necessidade de apreensão dos padrões geométricos

que constituem a linguagem paisagística específica. Uma abordagem indutiva orientou o método de trabalho, composto pela realização de um estudo de caso, no qual foi apresentado um trecho do Projeto de Revitalização do Córrego Jaguaré como referência (Figura 4), bem pela condução de entrevistas para a avaliação do processo de projeto tradicional, tentando identificar quais seriam as ações típicas de projeto, quais seriam os padrões de soluções aplicados. A elaboração de croquis se mostrou de suma importância para organizar a estrutura lógica compositiva subjacente e facilitar sua posterior decomposição.

Figura 4 – Projeto de referência utilizado, desenvolvido como piloto para a avenida Politécnica. Fonte: acervo do Projeto de Revitalização do Córrego Jaguaré.

Em um segundo momento foi elaborado um protótipo passível a generalizações, sendo necessário realizar a decomposição da lógica compositiva da linguagem e sua tradução para o ambiente computacional. Esta etapa é caracterizada pelas abordagens dedutiva e abdução, uma vez que a produção do raciocínio lógico é mediada pelo domínio instrumental das ferramentas computacionais. Dada a complexidade formal dos meandros, foi realizada uma decomposição que visou a restituição dos padrões geométricos a partir dos elementos mais simples (Figura 5), de modo análogo a uma análise topológica, na qual não importa a relação métrica entre os elementos de um dado sistema, senão as conexões entre eles, resultando em uma estrutura que é respeitada independente da forma. Assim, as instâncias produzidas pelo modelo algorítmico apresentam meandros com formas específicas, mas a ênfase da representação reside na alteração célere destas formas respeitando as conexões vigentes entre os elementos.

Figura 5 – Processo de decomposição formal. Fonte: elaborado pelos autores.

Para facilitar o desenvolvimento do sistema computacional, a metodologia incorporou duas estratégias: o desenvolvimento de protótipos descartáveis nos primeiros momentos e a decomposição lógica pelo método da cascata [3], pelo qual o problema é quebrado em partes menores

(Davis, 2013). Cada parte é um trecho do algoritmo que responde a questões específicas, com potencial de ser duplicado em outros momentos, formando pequenos blocos. A formação de tais blocos caracterizam uma resposta para resolver localmente uma lista de funções necessárias para alcançar o objetivo principal do algoritmo, as chamadas ilhas de complexidade local.

Essa estratégia de gerar ilhas altamente conectadas no interior do sistema significa que este permitiu a emergência de subsistemas. A Integralidade é exatamente o parâmetro que exprime essa configuração por meio de subsistemas. Para Denbigh (1975-87), a integralidade já é grau de organização. Temos assim que, se uma forma de organização, logo uma forma elevada de complexidade, se manifestar, isso dará a partir da formação de sistemas dentro do sistema, subsistemas, portanto (Vieira, 2008).

Cada uma destas ilhas requer a formulação de estratégias específicas baseadas em raciocínio lógico; a sua implementação a partir do ambiente de programação; seu teste, enquanto protótipo, em um cenário específico e, posteriormente, generalizado para uma ampla gama de cenários. Isto cria uma situação na qual cada ilha tem um grau único de dificuldade em virtude da complexidade de cada tarefa requisitada. Ao extrapolar o seu comportamento para diferentes cenários, constatou-se eventuais conflitos de ordem técnica com outros trechos de algoritmo. A elaboração de uma determinada estratégia para resolver uma função local pode, por vezes, ser incompatível com outras, ou pode inviabilizar uma série de possíveis soluções para um problema que não foi antevisto. Dada sua extensão, a versão final do algoritmo incorporou um código de identificação dos tipos de funções das ilhas de complexidade por meio agrupamentos cromático (Figura 6).

Figura 6 – Visualização do algoritmo no ambiente de programação visual. Fonte: elaborado pelos autores.

3. RESULTADOS

O procedimento para a geração das formas requisita, em um primeiro momento, informações referentes à situação inicial do problema, como: uma poligonal

fechada 2D, representando o contorno da área de intervenção; curvas de nível com vértices em altura equivalente; segmentos de retas, representam os pontos de entrada e saída do sistema; bem como os valores de cota dos respectivos pontos. Por meio destes inputs iniciais, o algoritmo gera uma superfície topográfica que é utilizada para a análise do escoamento superficial e declividade (Figura 7). A visualização destes dados tem como objetivo a identificação dos pontos de interesse para o processo de projeto por meio de uma linguagem acessível, como regiões de possível concentração de fluxos de escoamento e áreas com declividade e acessibilidade reduzida. Ressalta-se, entretanto, que há sempre um grau de simplificação adotado pelo modelo diante da relação entre profundidade de informação normalmente encontrada nas bases de desenho urbano CAD e o poder de processamento computacional limitado.

Figura 7 – Análise das condições iniciais em três momentos: 1. definição da área de intervenção; 2. percursos do escoamento; 3. análise topográfica. Fonte: elaborado pelos autores.

A condução de testes operacionais durante o processo de elaboração do protótipo aliada às entrevistas para avaliação da interface resultou na identificação de duas principais estratégias para a simplificação da operação do modelo algorítmico. A intervenção do projetista é realizada principalmente pelo esboço manual de eixos sinuosos de canalização dentro do ambiente digital, e a vinculação destas geometrias com certas funções do algoritmo (Figura 8a). Esta abordagem facilita a transição de usuários experientes em softwares CAD tradicionais, requerendo um menor treinamento para a operação do algoritmo. Determinados cuidados também foram tomados para evitar pequenas falhas na operação derivados de especificidades técnicas alheias ao conhecimento do projetista, como a reorientação automática dos pontos iniciais e finais das curvas abertas para a correção das cotas de entrada e saída.

Os eixos são divididos em duas classes: Os principais, que derivam dos pontos de entrada e saída informados previamente; e os secundários, cujo pontos de entrada são identificados pelo próprio algoritmo e que se conectam, necessariamente, aos eixos principais. O algoritmo requer, em primeiro lugar, a inserção dos eixos

principais, que pela sua forma e declividade alteram a topografia inicial para uma nova situação. Esta, por sua vez, reorienta os fluxos de escoamento superficial e regiões de maior ou menor declividade, requerendo, portanto, uma nova iteração de análises e simulações. Em um segundo momento, o algoritmo realiza uma análise de concentração de percursos pluviais na superfície e detecta as maiores concentrações na borda da área de intervenção. Estes pontos podem ser utilizados pelo projetista como pontos de entrada dos percursos secundários, sendo necessário para isso o esboço de eixos secundários que, em sua projeção, interceptam os eixos principais (Figura 8b).

Com o cruzamento de eixos principais e eixos secundários, uma série de tratamentos formais e análises de especificidades da computação gráfica identifica regiões propícias para a modelagem dos meandros, sendo estas repartidas em vales e cristas para a criação dos volumes de retenção (Figura 8c).

Figura 8 (a;b;c) – Intervenção do projetista: (a) elaboração de um novo eixo principal; (b) análise do comportamento do escoamento superficial; (c) geração dos meandros e demarcação das valas e morros. Fonte: elaborado pelos autores.

Nos últimos passos do algoritmo uma nuvem de pontos é gerada por uma decomposição dos eixos principais e secundários, bem como pelas regiões de meandros. Adicionalmente também são adicionados a este agrupamento os pontos referentes à borda da área de intervenção e topografia original no entorno urbano (Figura 9a). A nuvem que resulta desta sobreposição é utilizada para a criação de uma superfície topográfica final, sendo esta tessellada por meio da costura entre estes pontos, provando ser um método simples e robusto (Figura 9b).

Para o cálculo do volume de retenção, a superfície é extrudada para baixo, gerando um sólido de forma complexa - chamado de closed brep, ou representação de contorno fechado. A partir deste momento, por meio de operações booleanas de subtração de forma, é possível encontrar os volumes retidos nos vales dos meandros, como destacado na Figura 9c em branco. O cálculo é realizado automaticamente pelo algoritmo, explicitando os volumes individuais

de cada reservatório e o somatório (Figura 10). O processo de projeto paramétrico do modelo algorítmico permite, um fluxo de trabalho contínuo, nos quais alterações nas primeiras partes do algoritmo geram uma cadeia de repercussões, o encadeamento informacional, atualizado o modelo até seu ponto final (Woodbury, 2010).

Figura 9 (a;b;c) – Etapas finais: (a) tessellagem de superfície topográfica por pontos; (b) nova topografia com reservatórios vazios e cheios (c) trechos em branco. Fonte: elaborado pelos autores.

Figura 10 – Trecho do algoritmo responsável pelo cálculo do volume retido (painéis amarelos). Fonte: elaborado pelos autores.

Contudo, dada a quantidade e diversidade de funções envolvidas no algoritmo, bem como o requerimento de poder de processamento decorrente da complexidade das tarefas envolvidas, a operação se dá melhor através da segmentação do seu percurso informacional, assim, o usuário delimita o alcance do encadeamento informacional de modo a ainda usufruir dos benefícios práticos de uma modelagem em tempo real, mesmo que sob uma condição simplificada.

4. CONCLUSÕES

No processo de criação de uma nova geração de piscinões para o Córrego Jaguaré, o espaço das águas, modelado de forma adaptativa e inteligente para um fim estratégico de reserva, transforma a própria paisagem em tecnologia, dispondo da sofisticação dos sistemas naturais, dificilmente reproduzida de forma eficiente por aparatos artificiais. Uma vez que partido projetual adotado (o desenho curvilíneo de canais anastomosados) enfrenta certos empecilhos quanto à sua rápida manipulação e sua aderência a critérios de performance, o trabalho propôs-se a investigar a criação de um artefato baseado em tecnologias da informação capaz de auxiliar o processo de projeto, não só propiciando uma modelagem automatizada de certas estruturas como fornecendo feedbacks a respeito do desempenho das soluções. Embora o sistema seja capaz de fornecer uma série de informações que guiam

a elaboração da proposta, o mesmo não se fecha a manifestações de expressividade manual (como o desenho de curvas diretamente do sistema CAD), produzindo um melhor resultado para a usabilidade do algoritmo pelo projetista. Esta abordagem implicou em um grau baixo de autonomia [4] do algoritmo, o que se traduz em um comportamento auxiliar, restrito à complementação da representação do modelo e ao fornecimento de dados para o projetista.

A experiência demonstrou a viabilidade do cálculo de volume armazenado, bem como da representação da nova topografia gerada a partir dos esboços iniciais e complementada pelo sistema computacional. Ressalta-se a necessidade de uma simplificação geométrica para a redução da utilização de recursos como processamento computacional e alocação de memória RAM. Deve-se se ressaltar, contudo, que 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.

Identificou-se como possível ponto para futuras pesquisas o aumento do grau de autonomia do algoritmo, reservando o critério de seleção da versão final para o projetista. Para isto, cogita-se a utilização de padrões estocásticos [5] para complementar os esboços iniciais, ou mesmo para gerá-los de maneira automatizada. Outro importante ponto identificado é o potencial o emprego do form-finding [6] via algoritmos genéticos, de maneira que as otimizações evolucionárias [7] atuem sobre a geração dos padrões aplicados aos percursos pluviais e reservatórios, buscando reduzir a movimentação de terra e maximizar o volume de retenção. A discrepância entre o modelo de projeto paisagístico e os cálculos mais precisos dos projetos complementares de engenharia também deverá ser mensurada adequadamente.

Ao aliar performance a design computacional, este trabalho alcança uma linguagem prospectiva para a arquitetura paisagística em consonância com as exigências da engenharia hidráulica, podendo ser vislumbrada uma morfologia inovadora capaz de integrar as diversas funções que se esperam para os espaços urbanos, como áreas que conjugam o papel infraestrutura com as necessidades de uso social e

estético e que estimulam paisagem urbanas mais vibrantes e valorizadas. Esta convergência que se permite antever, pode ser assim alcançada para as infraestruturas de manejo de águas, que apesar de não ter como impulso inicial uma busca estética em si, podem atingi-la através de uma investigação criteriosa e formalmente exigente, escapando dos pequenos canteiros retangulares que, experimentalmente, reproduziram o que sistemas naturais e adaptativos nos oferecem de melhor quanto à biorretenção. Com critério e ciência, foi possível chegar a números e a uma maior consciência de como a natureza funciona. Esse pequeno acesso ao conhecimento já foi suficiente para possibilitar mais criatividade de uma forma responsável. Esta ferramenta computacional para gerar espaços hidráulicos de reservação insere-se numa intensa pesquisa colaborativa entre áreas do conhecimento que tradicionalmente não estão em acordo em relação ao manejo das águas – engenharias e arquitetura paisagística – devendo colaborar para atingir finalmente um momento crucial de reconciliação e maturidade para as águas urbanas em São Paulo.

AGRADECIMENTOS

Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH), LabVerde-FAUUSP, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental-EPUSP, Águas Claras do Rio Pinheiros, Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT).

NOTAS

[1] Na Teoria Geral dos Sistemas, estrutura significa um mapa das conexões entre cada um dos elementos que constituem um determinado sistema em um momento específico (VIEIRA, 2008). Nos algoritmos, a estrutura é o encadeamento das funções previstas em um processo lógico, e que, na linguagem da DSR, são chamadas de conexões do ambiente interno de um artefato.

[2] Uma linguagem de sintaxe visual é baseada na associação visual de blocos, ao contrário dos scripts, que são produzidos através de uma linguagem escrita. Estes blocos representam entidades como parâmetros de entrada (inputs), funções, informações de saída (outputs); apresentando também vínculos para informar as relações de conexão informacional (quem está conectado a o quê).

[3] A metodologia da cascata vem da Engenharia de Softwares, no qual um problema maior é quebrado em partes menores, definindo claramente quais informações cada uma delas precisa receber e o que irá repassar para a próxima parte.

[4] O grau de autonomia implica na participação do usuário na aplicação operacional do algoritmo. Um grau alto significa que a participação humana será pequena, normalmente

reduzida ao papel de esteta, crítico da sugestão fornecida pela máquina, enquanto que um grau baixo significa o oposto, que será necessário uma interação maior durante a operação (GIANNETTI, 2006).

[5] Padrões estocásticos envolvem componentes baseados em fatores aleatórios na produção de resultados, sempre gerando configurações que não são idênticas, embora similares pois partilham a mesma estrutura generativa.

[6] Processos de form-finding encontram respostas, normalmente formais, ao confrontar diferentes forças em torno de um objeto. Exemplos analógicos são encontrados nos estudos de Antônio Gaudí com suas catenárias de correntes, cujas formas eram espelhadas para encontrar arcos funiculares, e as superfícies mínimas de Frei Otto, realizadas com bolhas de sabão.

[7] Algoritmos genéticos podem ser entendidos como ferramentas que alteram os inputs de uma dada equação, chamados aqui de genes, para que o resultado desta se aproxime de um valor alvo, chamado de fitness. A ferramenta específica, Galapagos, utiliza diretamente conceitos da teoria da evolução, derivada da Biologia, para encontrar soluções adequadas ao fitness.