

Modelagem da Informação Aplicada à Paisagem (LIM): um quadro referencial para o projeto de paisagens responsivas

Landscape Information Modeling (LIM): a framework for responsive landscape design

Modelado de Información del Paisaje (LIM): un marco para el diseño de paisajes responsivos

Tainah Frota Carvalho* 

Universidade Federal do Ceará; Departamento de Arquitetura e Urbanismo e *Design*; Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo e *Design*.
Fortaleza (CE), Brasil.
tainahcarvalhoarq@gmail.com

Newton Célio Becker de Moura 

Universidade Federal do Ceará; Departamento de Arquitetura e Urbanismo e *Design*; Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo e *Design*.
Fortaleza (CE), Brasil.

* Autora correspondente.

CRediT

Contribuição de autoria: Concepção; Análise; Coleta de dados; Investigação; Metodologia; Redação – rascunho original; Redação – revisão e edição: MOURA, T. F.; Concepção; Metodologia; Supervisão; Redação – revisão e edição: MOURA, N. C. B.

Conflitos de interesse: Os autores certificam que não há conflito de interesse.

Financiamento: Não possui.

Aprovação de ética: Os autores certificam que não houve necessidade de aprovação de Comitê de Ética.

Uso de I.A.: Os autores certificam que não houve uso de inteligência artificial na elaboração do trabalho.

Editores responsáveis: Daniel Sant'Ana (Editor-Chefe); Luciana Saboia F. Cruz (Editora Associada); Leandro S. Cruz (Editor Associado); Paola C. Ferrari (Editora Associada); Pedro G. Cardoso (Assistente editorial).

Resumo

O avanço das tecnologias informacionais demanda novos paradigmas no planejamento urbano, especialmente na abordagem paisagística. Projetos de paisagens responsivas utilizam modelagem informacional para conceber ambientes urbanos dinâmicos, nos quais o meio construído interage continuamente com a paisagem natural. Este artigo explora a dimensão teórica da Modelagem da Informação Aplicada à Paisagem (*Landscape Information Modeling* – LIM) por meio de uma revisão sistemática de referenciais consolidados e produções científicas recentes. A metodologia fez uma seleção de artigos publicados até 2024, com ênfase no período de 2000 a 2024, dentro do qual identificou 1.647 estudos, dos quais 15 foram selecionados para análise detalhada. A pesquisa discute as potencialidades e limitações do LIM na prática, destacando sua inovação em comparação com metodologias tradicionais. Como principal resultado, propõe-se um quadro referencial para a aplicação do LIM no projeto da paisagem, evidenciando suas contribuições para o planejamento urbano. Este estudo busca consolidar o conceito como referência teórica e contribuir para o aprimoramento das práticas contemporâneas de planejamento e projeto da paisagem.

Palavras-Chave: Paisagens responsivas; Modelagem da Informação Aplicada à Paisagem; Planejamento Urbano; Tecnologias informacionais; Revisão sistemática; *Design* da Paisagem.

Abstract

Responsive landscape projects use information modeling to design dynamic urban environments, where the built environment continuously interacts with the natural landscape. This article explores the theoretical dimension of Landscape Information Modeling (LIM) through a systematic review of established references and recent scientific productions. The advancement of information technologies demands new paradigms in urban planning, particularly in landscape approaches. The adopted methodology encompasses a systematic review of articles published until 2024, focusing on the period from 2000 to 2024, identified 1,647 studies, from which 15 were selected for detailed analysis. The research discusses the potentialities and limitations of LIM in practice, highlighting its innovation compared to traditional methodologies. As a result, a framework for applying LIM in landscape design is proposed, demonstrating its contributions to urban planning. This study aims to consolidate the concept as a theoretical reference and contribute to the enhancement of contemporary landscape planning and design practices.

Keywords: Responsive landscapes; Landscape Information Modeling (LIM); Urban Planning; Informational technologies; Systematic review; Landscape Design.

Resumen

Los proyectos de paisajes responsivos utilizan la modelización informacional para diseñar entornos urbanos dinámicos, donde el entorno construido interactúa continuamente con el paisaje natural. Este artículo explora la dimensión teórica de la Modelización de la Información Aplicada al Paisaje (*Landscape Information Modeling* – LIM) a través de una revisión sistemática de referencias consolidadas y producciones científicas recientes. El avance de las tecnologías informacionales exige nuevos paradigmas en la planificación urbana, especialmente en el enfoque paisajístico. La metodología direcciones una revisión sistemática de artículos publicados hasta 2024, con énfasis en el período 2000-2024, identificó 1.647 estudios, de los cuales 15 fueron seleccionados para un análisis detallado. La investigación discute las potencialidades y limitaciones del LIM en la práctica, destacando su innovación en comparación con metodologías tradicionales. Como principal resultado, se propone un marco para la aplicación del LIM en el diseño del paisaje, evidenciando sus contribuciones a la planificación urbana. Este estudio busca consolidar el concepto como referencia teórica y contribuir al mejoramiento de las prácticas contemporáneas de planificación y diseño del paisaje.

Palabras clave: Paisajes responsivos; Modelado de Información Aplicado al Paisaje; Planificación Urbana; Tecnologías informacionales; Revisión sistemática; Diseño de Paisajes.

1 Introdução

Modelos para visualização e simulação de cenários e análise de dados não são novos no campo do planejamento e projeto da paisagem. Seus primeiros anos coincidiram com o início da era das visualizações digitais e, a partir de então, eles têm contribuído não apenas para avanços na representação, avaliação e tomada de decisões, mas também para estabelecer novas éticas que foram progressivamente perseguidas desde as primeiras abordagens à ecologia (Lange, 2011). Após a metodologia de análise de adequação de uso do solo de Ian McHarg (1995), com a aplicação da tecnologia da computação no planejamento de paisagem, a disponibilidade de Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) e a criação de novas legislações ambientais para a prevenção e recuperação de impactos ambientais, amplas possibilidades tornaram-se disponíveis para profissionais de paisagismo avaliarem e agirem em escalas maiores, conectando as dimensões ambientais e de projeto da paisagem (Yang; Li, 2016).

Contudo, a interface básica comumente utilizada dos SIGs carece de ferramentas simples para a projeção de cenários e para simplificar a sistematização de padrões urbanos, sendo mais evidente no planejamento da paisagem, especialmente em escalas detalhadas. O SIG, muitas vezes utilizado em fases de projeto em larga escala, seguido por programas de *Design* Assistido por Computador (CAD) tradicionais para detalhamentos mais precisos, enfrenta o desafio da natureza estática do *design* em ambiente urbano, incapaz de refletir mudanças automáticas nos *inputs*. Isso é particularmente problemático para o planejamento urbano, considerando a dinâmica constante das cidades diante de eventos recorrentes como secas e enchentes.

No campo da Arquitetura e Engenharia, o *Design* Assistido por Computador (CAD) surgiu no início da década de 1960 como interface gráfica voltada ao *design* de edifícios, oferecendo liberdade criativa na interação homem-computador, embora limitado à representação vetorial. Em 1975, a proposta da Modelagem da Informação da Construção (BIM) superou essa limitação, a partir do lançamento do *ArchiCAD* em 1983. Desde que o BIM surgiu, uma série de informações que permaneciam ocultas ou perdidas em processos de *design* tradicionais tornaram-se acessíveis (Eastman *et al.*, 2008; Penttillä, 2006). Beirão (2012) propôs o conceito de *City Information Modeling* (CIM), um modelo híbrido entre SIG e CAD voltado à modelagem urbana, capaz de integrar diferentes camadas territoriais e gerar cenários de forma mais rápida e eficaz, conectando bancos de dados, *softwares* CAD e interfaces visuais de programação (Lima, 2017; Sousa, 2018).

Atualmente, os projetos para paisagens responsivas (Cantrell; Holzman, 2015) utilizam modelagem paramétrica para conceber uma paisagem urbana não estática, na qual o ambiente urbano interage de forma dinâmica com a paisagem natural em constante mutação. A adoção de sistemas baseados em tecnologias da informação representa um avanço significativo para os profissionais envolvidos na gestão e no planejamento das cidades contemporâneas (Moura *et al.*, 2018; Lima; Freitas, 2016). A modelagem da informação (MI) surge como um campo promissor de pesquisa e prática, permitindo simulações complexas das soluções propostas considerando tempo, faseamento e entropia (Cantrell; Holzman, 2015).

São necessários novos paradigmas no planejamento urbano, especialmente no que diz respeito à paisagem urbana. Este artigo tem como objetivo explorar a dimensão teórica da Modelagem da Informação Aplicada à Paisagem (*Landscape Information Modeling* – LIM)

por meio de uma revisão sistemática de referenciais consolidados e produções científicas recentes. Espera-se que este trabalho contribua para o avanço do planejamento urbano ao consolidar o conceito de Modelagem da Informação Aplicada à Paisagem (LIM) como uma abordagem inovadora para o projeto de paisagens responsivas. Além de propor um quadro referencial para sua aplicação, a pesquisa evidencia as potencialidades e limitações do LIM, fornecendo uma base teórica para futuras investigações e aprimoramento das práticas paisagísticas contemporâneas.

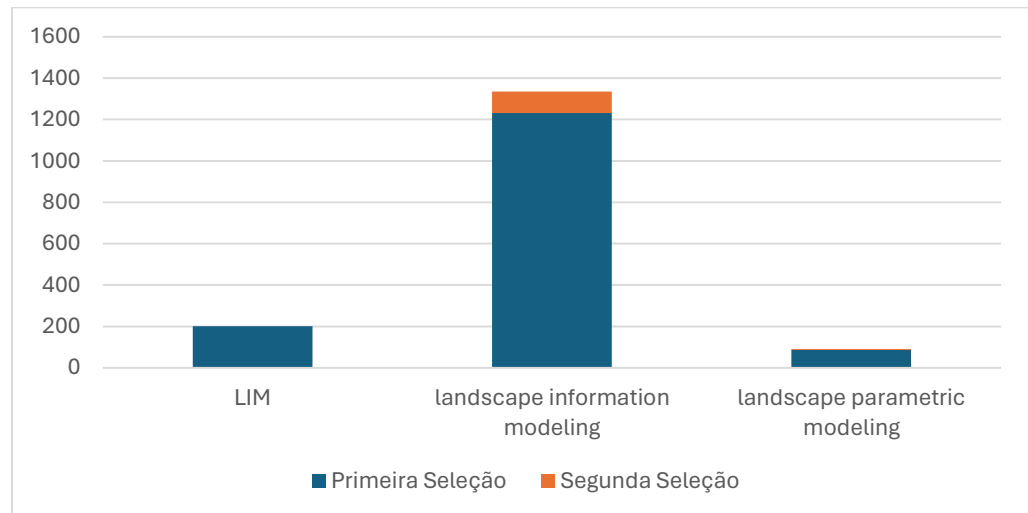
2 Metodologia

Primeiramente, realizou-se uma revisão não linear com sete artigos selecionados por sua relevância teórica e potencial de contribuição, mesmo fora dos critérios tradicionais de revisão sistemática (ver Quadro 1). Em um segundo momento, foram conduzidas duas buscas sistemáticas nos portais Science Direct (com recorte temporal entre 2019 e 2024) e Capes Periódicos (sem limitador de tempo). Foram aplicados os critérios:

- Exclusivamente artigos de pesquisa;
- Idioma em inglês ou português;
- Publicações em periódicos revisados por pares;
- Exclusão de revistas com temas não correlatos como matemática e agricultura.

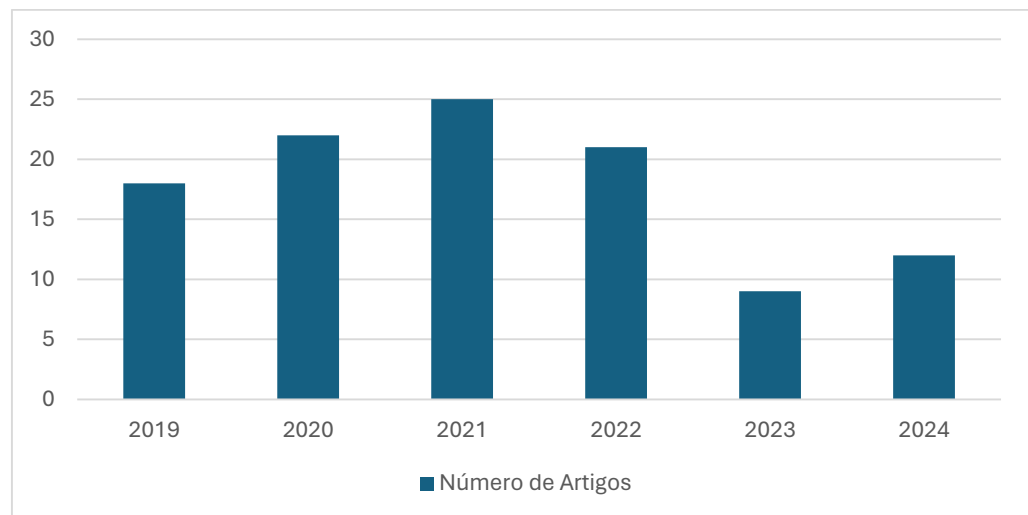
Como palavras-chave foram utilizadas: “LIM”, “*Landscape Information Modeling*”, “Modelagem da Informação da Paisagem”, “Modelagem da Informação Aplicada à Paisagem” e “*Landscape Parametric Modeling*”. Nesta busca, foram encontrados, inicialmente, 1.647 resultados (Figuras 1 a 4).

Figura 1: Seleção de artigos por palavra-chave no portal ResearchGate.



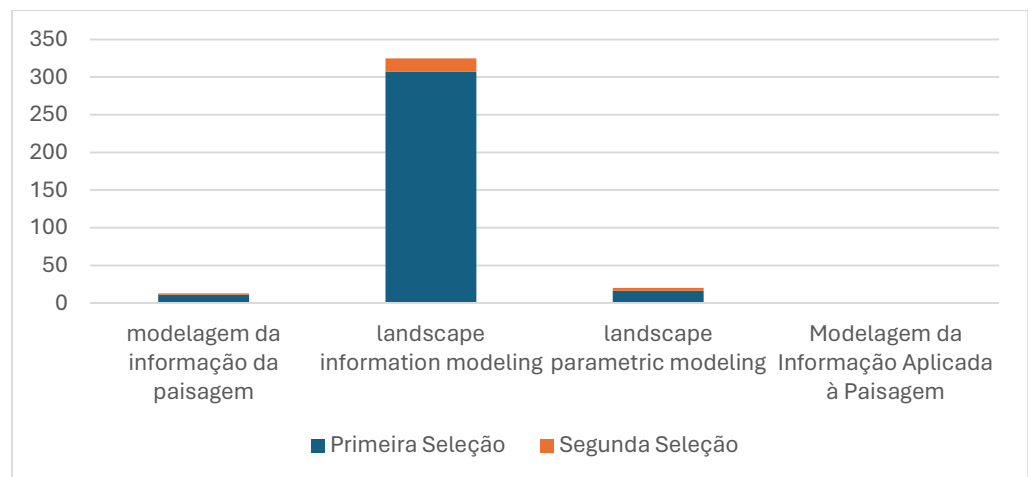
Fonte: Autores (2025).

Figura 2: Número de artigos da terceira seleção por ano, selecionados no portal ResearchGate.



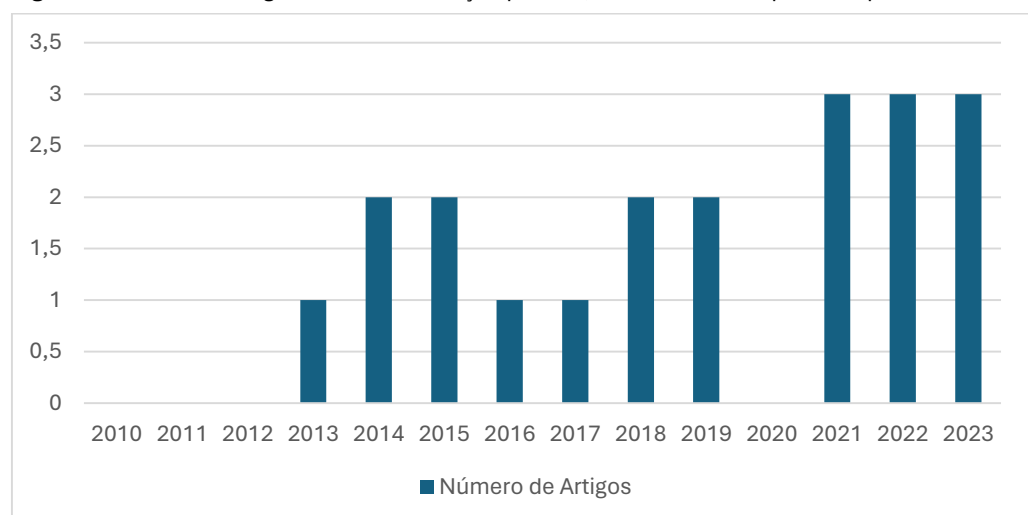
Fonte: Autores (2025).

Figura 3: Seleção de artigos por palavra-chave no portal Capes Periódicos.



Fonte: Autores (2025).

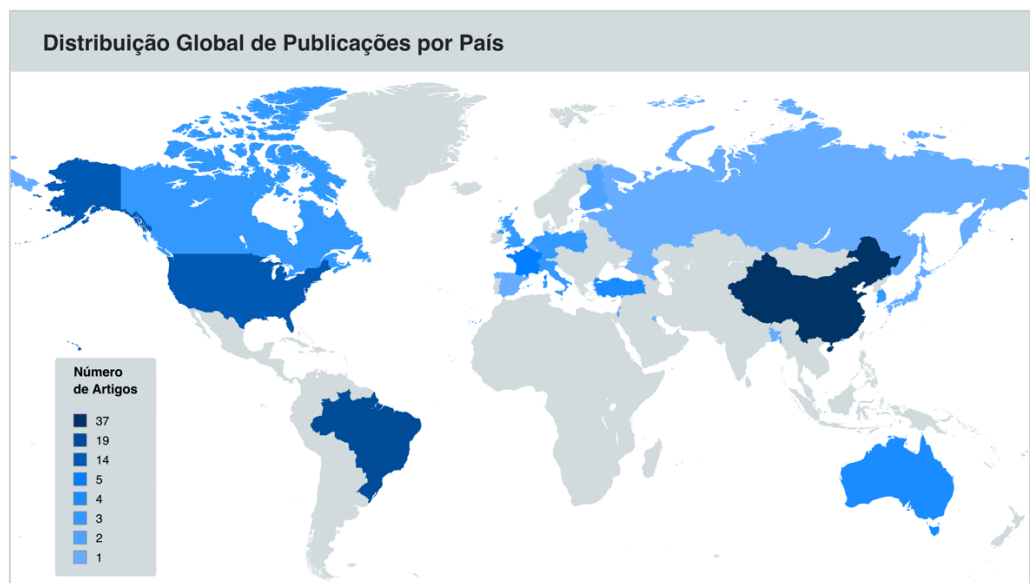
Figura 4: Número de artigos da terceira seleção por ano, selecionados no portal Capes Periódicos.



Fonte: Autores (2025).

Após o levantamento inicial de artigos, em um terceiro momento, procedeu-se a uma seleção subjetiva com base na leitura dos títulos e resumos. Nesse estágio, foram selecionados os artigos que abordavam ou teriam relevância no tema da modelagem da informação da paisagem urbana, uma vez que este é o foco específico deste trabalho. A revisão resultou em 123 artigos provenientes de diferentes revistas ao redor do mundo (Figura 5). Por fim, foram selecionados 15 artigos considerados relevantes para o estudo: os 7 inicialmente escolhidos na revisão não linear e outros 8 provenientes da triagem dos 123 artigos identificados na etapa sistemática (Quadro 1). A partir da análise desses trabalhos, foi possível estruturar uma definição consolidada do conceito de Modelagem da Informação Aplicada à Paisagem (LIM), destacando seus principais fundamentos teóricos, aplicabilidades e limitações.

Figura 5: Distribuição Global de Publicações por país de afiliação do autor principal (dos 123 artigos selecionados).



Fonte: Autores (2025), com uso do programa MapChart.

Quadro 1: Metodologia e resultado dos artigos considerados relevantes para o entendimento do LIM.

Ano	Autor(es)	Metodologia	Resultados sobre o LIM
2019	Baeza <i>et al.</i>	<i>Framework</i> de modelagem de vulnerabilidade urbana com base em decisões institucionais.	Enfatiza a exploração de incertezas e a mediação entre <i>stakeholders</i> em cenários urbanos.
2019	Hou <i>et al.</i>	Simula processos de águas pluviais com SWMM e SIG, usando modelo de janela-dividida.	Propõe integração 4D entre SIG e SWMM para representação espaço-temporal detalhada
2020	Ma <i>et al.</i>	Ferramenta de realidade virtual aplicada à dinâmica de infraestrutura urbana.	Facilita a visualização espacial e tomada de decisão para gestão de infraestrutura.
2020	Rasoulkhani <i>et al.</i>	Simula interação entre risco, infraestrutura e tomada de decisão com modelo computacional estático.	Integra elementos humanos e ambientais em cenários de resiliência urbana.
2020	Wanghe <i>et al.</i>	<i>Toolbox</i> de código aberto no ArcGIS com base no modelo gravitacional.	Facilita o mapeamento de corredores verdes urbanos com parâmetros personalizáveis.
2021	Sandre; Pellegrino.	Plataforma digital colaborativa com simulação 3D de espaços projetados.	Oferece estrutura integrada para visualização e avaliação de projetos paisagísticos
2021	Borkowski; Wyszomirski.	Expansão dos modelos IFC para integração com dados GIS.	Propõe uso conjunto de BIM e SIG na modelagem da paisagem.
2021	Gobeawan <i>et al.</i>	Fluxo de trabalho entre BIM e <i>Grasshopper</i> para incorporação de vegetação.	Promove interoperabilidade e cria bibliotecas de vegetação parametrizadas.
2021	Guo <i>et al.</i>	Estudo do <i>design</i> paramétrico na arquitetura paisagística com base em big data.	Potencializa integração com SIG para análises urbanas em múltiplas escalas.
2021	Hadar <i>et al.</i>	Integra dados empíricos ecológicos e imagens com modelagem 3D.	Traduz conhecimento científico em modelos aplicáveis à gestão e planejamento.
2021	Na.	Análise comparativa de <i>workflows</i> paramétricos e tradicionais.	Sugere bibliotecas BIM para elementos naturais visando maior precisão.
2022	Li <i>et al.</i>	Avalia vistas urbanas com CIM e aprendizado de máquina.	Gera índices visuais automatizados para qualificar ambientes construídos.
2022	Hughes <i>et al.</i>	Visualização 4D da evolução da paisagem ao longo de milênios.	Evidencia como dados históricos influenciam percepção e gestão ambiental.
2023	Chen; Zheng; Yan.	Modelagem paramétrica de distritos históricos com algoritmos genéticos.	Equilibra herança urbana e demandas contemporâneas com precisão espacial.
2024	Sharifi <i>et al.</i>	Revisão sobre IA em gêmeos digitais e aplicações em drenagem urbana.	Otimiza decisões em tempo real e planejamento com suporte de IA.

Fonte: Autores (2025).

3 Resultados

O LIM tem evoluído desde a década de 1970, impulsionado pela necessidade de conectar dados provenientes de diferentes fontes, como levantamentos topográficos, fotografias aéreas e informações arquivadas (Earle; Brownlea; Rose, 1979). Inicialmente, a falta de dados adequados sobre variáveis exógenas comprometia a eficácia dos modelos de simulação para o gerenciamento do uso da terra. Com os avanços tecnológicos, surgiram novas abordagens para aprimorar a representação topográfica digital e ampliar as possibilidades da modelagem paisagística, destacando-se a colaboração entre cientistas da computação e especialistas em planejamento urbano para o desenvolvimento de métodos algorítmicos mais eficazes (Ervin, 2001).

A integração de visualizações 3D e SIGs foi um marco importante para a modelagem da paisagem, permitindo representações mais realistas e acessíveis tanto para especialistas quanto para o público em geral (Lange, 2001). Esses modelos foram posteriormente associados a simulações de enchentes, mudanças climáticas e fatores econômicos, tornando-se ferramentas essenciais para o planejamento urbano sustentável (Lange, 2011). Além disso, o urbanismo paisagístico paramétrico se consolidou como uma abordagem inovadora, utilizando algoritmos evolutivos para otimizar planos diretores com base em critérios como sustentabilidade e densidade populacional (Yazici, 2016). Na Figura 6 é possível observar graficamente o uso de palavras-chave nos artigos estudados, entre elas: *geoprocessing*, *landscape model*, *simulation* e *geografic information system*.

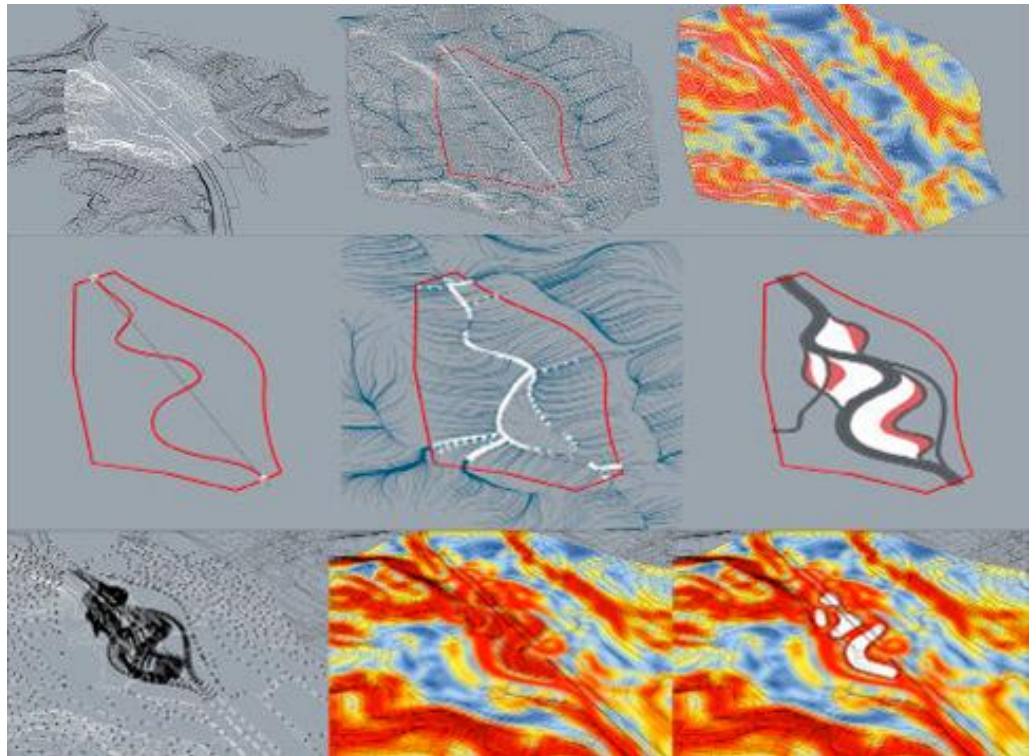
Figura 6: O estudo gerou 548 palavras-chave (dos 123 artigos selecionados), sendo exibidas na imagem apenas aquelas mencionadas duas vezes ou mais. As palavras-chave mais utilizadas estão representadas em fonte maior.



Fonte: Autores (2025), com uso do programa *Wordclouds*.

A modelagem da paisagem também passou a incorporar elementos ecológicos e de conservação, permitindo uma melhor compreensão das interações entre biodiversidade e mudanças espaciais ao longo do tempo (Scheller, 2017). Estudos recentes destacam o uso da modelagem paramétrica para otimizar infraestruturas urbanas, como bacias de retenção (Figura 7), unindo engenharia hidráulica e arquitetura paisagística para criar soluções mais eficientes e integradas (Moura *et al.*, 2018). Outros modelos exploram a vulnerabilidade urbana resultante de decisões sociopolíticas, defendendo abordagens que possibilitem uma análise ampla de cenários futuros e fomentem discussões entre os *stakeholders* (Baeza *et al.*, 2019).

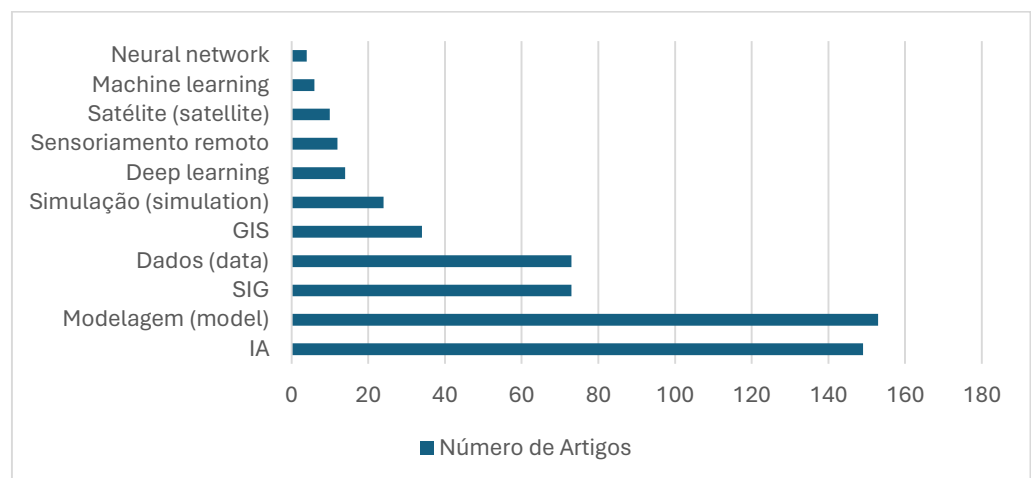
Figura 7: Exemplo de processo de modelagem paramétrica de um rio naturalizado e bacia de retenção na cidade de São Paulo.



Fonte: Moura *et al.* (2018).

A incorporação de novas tecnologias, como realidade virtual e inteligência artificial (Figura 8), ampliou as possibilidades de visualização e análise da dinâmica das infraestruturas urbanas (Ma *et al.*, 2020). Ferramentas digitais, como plataformas colaborativas e *frameworks* integrados, têm sido desenvolvidas para compatibilizar elementos construídos e processos naturais, facilitando a tomada de decisão em projetos paisagísticos (Sandre; Pellegrino, 2021). Além disso, o avanço da interoperabilidade entre sistemas SIG e BIM possibilitou uma maior precisão na modelagem da informação aplicada à paisagem, promovendo a integração de dados ecológicos, urbanos e arquitetônicos em um único ambiente digital (Borkowski; Wyszomirski, 2021).

Figura 8: Gráfico da frequência de uso de tecnologias nos 123 artigos selecionados.



Fonte: Autores (2025).

O futuro da modelagem da paisagem caminha para um uso cada vez mais sofisticado de dados espaciais, associando camadas de SIG, imagens de satélite e inteligência artificial para a análise de padrões ecológicos e urbanos (Guo *et al.*, 2021). A tendência é que as metodologias se tornem mais dinâmicas e interativas, permitindo simulações precisas (Figura 9) e a adaptação de estratégias de planejamento às mudanças climáticas e demandas sociais. Com a evolução das tecnologias e a integração de diferentes disciplinas, a modelagem da informação aplicada à paisagem começa a se estabelecer como uma ferramenta promissora para o desenvolvimento de cidades mais resilientes e sustentáveis.

Figura 9: Exemplo da criação de gêmeo digital para a cidade de Zurique.



Fonte: Sharifi *et al.* (2024).

Chegou-se a algumas características pertinentes à Modelagem da Informação Aplicada à Paisagem. Primeiramente, que uma metodologia que utilize de ferramentas LIM:

- Deve trabalhar com diferentes escalas, tendo como base uma abordagem GIS, mas que também se utiliza de modelagem 3D em diferentes escalas;
- Exige o uso de dados atualizados e, preferencialmente, alimentados em tempo real para garantir impacto real e positivo nos projetos;
- Estará atrelada à intercomunicação entre diferentes programas, sendo esta interação não-linear e particular à cada caso;
- Tem a modelagem paramétrica e/ ou a modelagem com o uso de inteligência artificial como fator fundamental para entender e, consequentemente, para projetar paisagens complexas e em constante mudança.

No que diz respeito à integração entre diferentes escalas de projeto da paisagem, a MI requer estágios complementares de modelagem de acordo com o nível desejado de complexidade. Os programas de MI têm sido direcionados principalmente para o próprio edifício como objeto. No entanto, quando se trata de integração com a paisagem, pelo menos dois níveis diferentes de processo de planejamento e modelagem são necessários. Eles podem ser categorizados como escala cidade/ vizinhança e escala edifício, exigindo uma interface entre procedimentos computacionais paralelos e programas diferentes, no qual, por sua vez, é o GIS uma aplicação típica para escalas maiores e programas BIM para o *design* de objetos (Jusuf *et al.*, 2017).

Essa operação complementar indica que, em relação à abordagem imperativa de múltiplas escalas, as demandas de planejamento e projeto da paisagem ainda não são adequadamente atendidas por um único programa ou processo. A complementação é indispensável ao lidar com múltiplas escalas e paisagens altamente complexas e multiescalares do ponto de vista da modelagem (Lange, 2001). Uma operação em dois níveis é o requisito mínimo para aplicar a MI à paisagem.

Assim, é possível assumir que modelar manualmente o ambiente virtual, que é a abordagem CAD tradicional, não é a mais adequada para a paisagem, e uma abordagem baseada em GIS deve ser aliada a uma abordagem baseada em 3D para objetos da paisagem. Além disso, a integração entre o planejamento e projeto da paisagem ou entre diferentes escalas exige uma interface que pode não ser linear entre vários programas e/ou *plugins*.

Em segundo lugar, a MI deve ser baseada em dados e utilizar informações em constante atualização, quando pertinente. As tecnologias atuais, como o uso de imagens de satélite atualizadas anualmente, ressaltam a importância de aproveitar esses recursos para a proposição de *designs* mais adequados e eficientes para a paisagem. Além disso, é fundamental que se faça uso desses dados antes, durante e após a criação do *design*, a partir de indicadores personalizados para cada situação. Isso é imprescindível para a elaboração de projetos mais resilientes que, como mencionado anteriormente, demandam adaptação constante, considerando, inclusive, as alterações exponenciais na paisagem decorrentes das mudanças climáticas. A parametrização e a inteligência artificial têm o potencial de se tornarem aliadas em um planejamento da paisagem inteligente e reativo, em contraposição aos modelos tradicionais.

Em terceiro lugar, a MI incorpora processos dinâmicos para o *design* e permite a visualização de várias possibilidades antes de chegar ao resultado ideal. Essa dinâmica surge da modelagem paramétrica com base no princípio de que cada modelo é construído com entidades cujos atributos podem ser fixos ou variáveis. Atributos fixos são controlados e correspondem à forma, materiais, desempenho e custos (Eastman *et al.*, 2008), enquanto atributos ou parâmetros variáveis são as regras que definem o comportamento geométrico (linhas, superfícies, volumes e suas associações) e o comportamento não geométrico (materiais, quantitativos, desempenho etc.) dos atributos fixos, permitindo que objetos se ajustem automaticamente de acordo com as mudanças de controle e contexto. Modelos digitais de paisagem, seja para inferência visual, simulação e compreensão do comportamento ou outros aspectos invisíveis da paisagem, requerem abstrações e simplificações (Ervin, 2001).

Por fim, considerando a essência em constante mudança da paisagem, a modelagem paramétrica e a inteligência artificial são ferramentas promissoras não apenas para incorporar dinamismo aos processos de planejamento e projeto da paisagem, mas também para alcançar modelos dinâmicos em que as interações entre paisagem, sociedade e ambiente podem ser representadas com mais precisão por meio de funções e algoritmos.

Tais características não são originais, pois cada uma foi inferida de pesquisas e práticas anteriores. No entanto, reuni-las como um conjunto de estratégias integradas é pertinente para a aplicação do LIM em um estudo de caso e para reflexões visando replicá-las em outras situações. Para alcançar um dos objetivos deste trabalho, elas visam reforçar que a computação oferece mais oportunidades e novos modos de pensar para expandir as

ferramentas de *design*, fluxos de trabalho e metodologias de planejamento e projeto da paisagem.

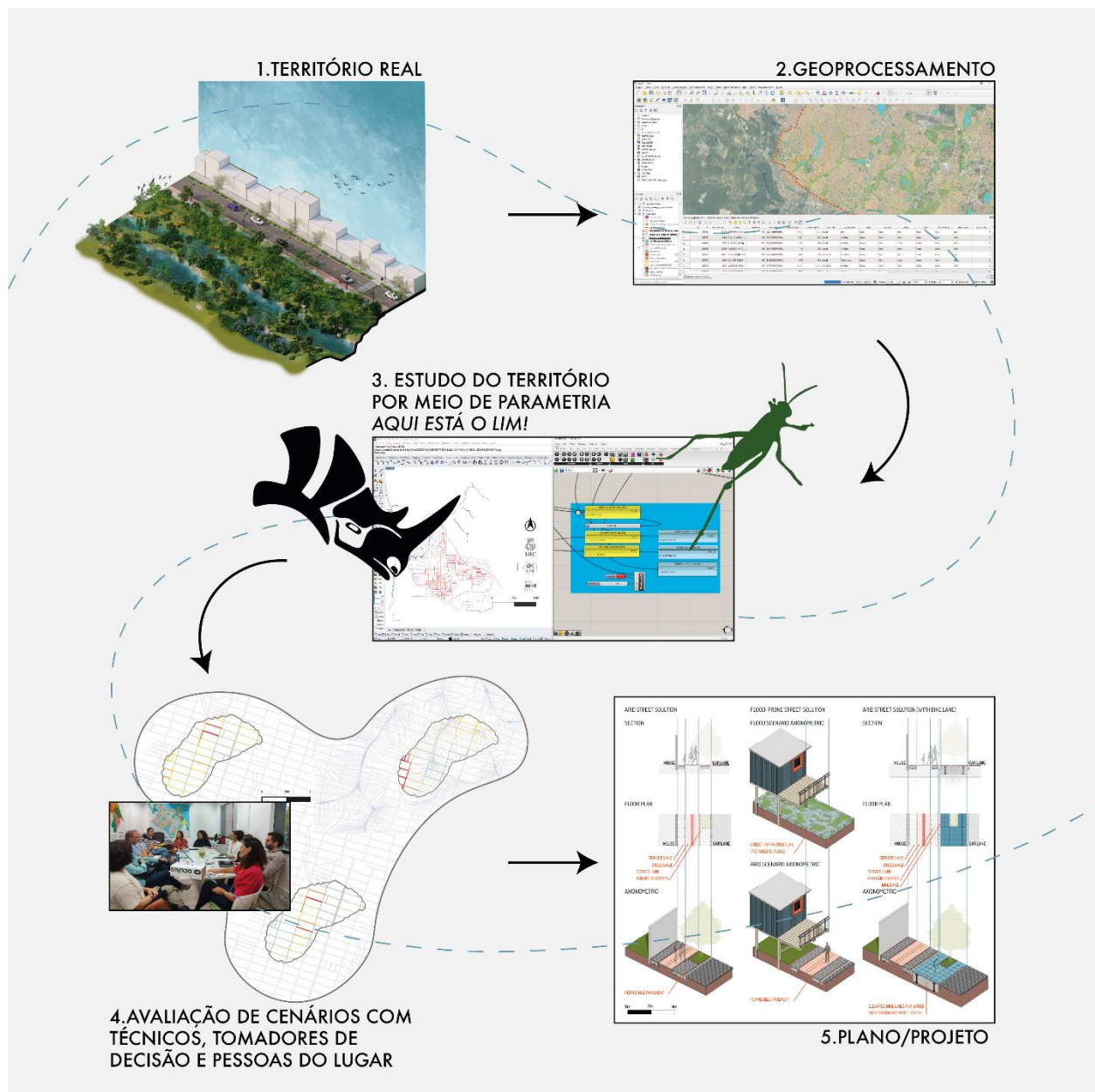
Em acordo com Cantrell, Martin e Ellis (2017), as soluções para as demandas e desafios futuros da paisagem devem deixar para trás as profissões atuais encantadas com a representação do *design* e da estética e, em vez disso, aproveitar o potencial e a natureza colaborativa do *design* com uma conexão entre as realidades virtuais e físicas. O LIM, portanto, é uma oportunidade de visualização, mas não restrita a ela, pois incorpora informações à modelagem, as quais se referem a processos naturais e implicam uma abordagem abrangente visando atingir o equilíbrio entre as estruturas dos sistemas artificial e natural que nos sustentam.

Vale ressaltar que, nesta pesquisa, o LIM é compreendido como uma ferramenta de grande potencial para aprimorar a eficácia de projetos da paisagem e estudos paisagísticos. No entanto, é importante distinguir o conceito de ferramenta do de metodologia de projeto. Uma metodologia de projeto consiste em um conjunto estruturado de princípios, diretrizes e etapas que orientam o desenvolvimento de uma proposta. Ela envolve um raciocínio processual, fundamentado em teorias, abordagens conceituais e estratégias aplicáveis ao contexto específico do projeto (Lawson, 2005).

Por outro lado, uma ferramenta como o LIM refere-se a um meio ou recurso utilizado dentro de uma metodologia para facilitar determinadas etapas do processo projetual (Lawson, 2005). O LIM oferece suporte computacional avançado para a modelagem e gestão de informações espaciais e ambientais. No entanto, ele não define, por si só, os caminhos e critérios de decisão dentro do projeto, mas sim fornece dados e recursos que podem ser utilizados em metodologias diversas. Dessa forma, embora o LIM possua um grande potencial de aplicação em projetos paisagísticos, sua efetividade depende da integração com uma metodologia adequada.

A Figura 10 ilustra essa relação de complementaridade entre o LIM e as abordagens metodológicas de projeto. Nesta perspectiva, o projeto de paisagem é compreendido como uma sequência processual composta por cinco etapas principais: (1) levantamento de dados do território real, incluindo aspectos físicos, sociais e ambientais; (2) geoprocessamento e análise espacial desses dados; (3) aplicação de ferramentas de LIM para estruturação e integração da informação; (4) criação e discussão de cenários projetuais a partir da simulação de alternativas; e (5) definição da proposta final de intervenção. Esse modelo visa integrar diferentes metodologias projetuais, reforçando a importância da participação de técnicos, tomadores de decisão e das pessoas do lugar nos processos de formulação e escolha das soluções, reconhecendo o caráter colaborativo e situado do planejamento da paisagem.

Figura 10: Ilustração do processo de planejamento e decisão com o uso do LIM. De cima para baixo: território, dados georreferenciados, algoritmo, cenários possíveis, cenário escolhido.



Fonte: Autores (2025).

4 Considerações Finais

O artigo apresenta o LIM a partir de uma revisão sistemática da literatura reunindo as referências mais pertinentes ao tema e que fundamentaram a definição das quatro características do LIM apontadas nos resultados. A partir dessa análise, o LIM passou a ser enquadrado como uma ferramenta, ou seja, um recurso capaz de modificar e aprimorar metodologias tradicionais, mas que, por si só, não se constitui como uma metodologia de projeto.

Nesse contexto, o LIM surge como uma abordagem promissora para enfrentar desafios urbanos no campo do projeto da paisagem, contribuindo para o desenvolvimento de cidades mais responsivas. Como ferramenta inteligente, sua capacidade de trabalhar

com dados em constante atualização permite maior adaptabilidade às dinâmicas urbanas contemporâneas, ampliando seu potencial para promover soluções mais eficientes e resilientes.

O objetivo desta pesquisa foi explorar a dimensão teórica da Modelagem da Informação Aplicada à Paisagem por meio de uma revisão sistemática de referenciais consolidados e produções científicas recentes. A partir dessa abordagem teórica, embasada em referências acadêmicas, foi possível demonstrar que o LIM possui um potencial significativo para tornar as cidades mais responsivas e preparadas para lidar com mudanças e desafios urbanos.

Por fim, considerando a evolução das tecnologias e das demandas urbanas, esta pesquisa pode se expandir e se especializar à medida que novos pesquisadores tragam diferentes perspectivas e desafios. O LIM tem o potencial de abordar uma ampla gama de questões relacionadas à paisagem urbana, especialmente com os avanços em aprendizado de máquina, que podem torná-lo ainda mais autônomo e eficiente no futuro.

Agradecimentos

Agradecemos à Universidade Federal do Ceará (UFC), em especial ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo e *Design* (PPGAU+D), por proporcionar o ambiente acadêmico e os recursos necessários ao desenvolvimento desta pesquisa. Expressamos nossa gratidão aos professores e pesquisadores vinculados à Linha 3 – Modelagem e *Design* da Informação, cuja atuação teórica e metodológica foi fundamental para a construção das bases conceituais e operacionais deste estudo.

Referências

- BAEZA, A; BOJORQUEZ-TAPIA, L. A.; JANSSEN, M. A.; EAKIN, H. Operationalizing the feedback between institutional decision-making, socio-political infrastructure, and environmental risk in urban vulnerability analysis. **Journal of Environmental Management**, v. 241, p. 407-417, jul. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.138>. Acesso em: 16 jun. 2025.
- BEIRÃO, J. CityMaker: designing grammars for Urban Design. **A+BE – Architecture and the Built Environment**, n. 5, 2012. DOI: <https://doi.org/10.7480/abe.2012.5.44>. Acesso em: 16 jun. 2025.
- BORKOWSKI, A. S.; WYSZOMIRSKI, M. Landscape Information Modelling: an important aspect of BIM modelling, examples of cubature, infrastructure, and planning projects. **Geomatics, Landmanagement and Landscape**, v. 1, p. 7-22, 2021. DOI: <https://doi.org/10.15576/GLL/2021.1.7>. Acesso em: 16 jun. 2025.
- CANTRELL, B. E.; HOLZMAN J.; **Responsive landscapes**: strategies for responsive technologies in Landscape Architecture. Londres: Routledge, 2015.
- CANTRELL, B.; MARTIN, L. J.; ELLIS, E. C. Designing autonomy: opportunities for new wildness in the Anthropocene. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 32, n. 3, p. 156-166, mar. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.12.004>. Acesso em: 16 jun. 2025.

- CHEN, Y.; ZHENG, L.; YAN, L. Research on the intelligent generation of the spatial form of the island city historic district based on parameterization: taking Macau Taipa Village as an example. **Journal of Asian Architecture and Building Engineering**, v. 23, n. 3, p. 1094-1125, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1080/13467581.2023.2257274>. Acesso em: 16 jun. 2025.
- EARLE, T. R.; BROWNLEA, A. A.; ROSE, C. W. Information for landscape modelling: a catchment case study. **Landscape Planning**, v. 5, n. 4, p. 281-309, fev. 1979. DOI: [https://doi.org/10.1016/0304-3924\(79\)90016-9](https://doi.org/10.1016/0304-3924(79)90016-9). Acesso em: 16 jun. 2025.
- EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM handbook: a guide to Building Information Modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors**. Hoboken: Wiley, 2008.
- ERVIN, S. M. Digital landscape modeling and visualization: a research agenda. **Landscape and Urban Planning**, v. 54, n. 1-4, p. 49-62, maio 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(01\)00125-6](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(01)00125-6). Acesso em: 16 jun. 2025.
- GOBEAWAN et al. IFC-Centric vegetation modelling for BIM. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, v. VIII-4/W2-2021, p. 91-98, 7 out. 2021.
- GUO, S.; TANG, J.; LIU, H.; GU, X. Study on Landscape Architecture model design based on Big Data intelligence. **Big Data Research**, v. 25, p. 100219, 15 jul. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bdr.2021.100219>. Acesso em: 16 jun. 2025.
- HADAR, L.; ORENSTEIN, D. E.; CARMEL, Y.; MULDER, J.; KIRCHHOFF, A.; PEREVOLOTSKY, A.; OSEM, Y. Envisioning future landscapes: a data-based visualization model for ecosystems under alternative management scenarios. **Landscape and Urban Planning**, v. 215, p. 104214, nov. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104214>. Acesso em: 16 jun. 2025.
- HUGHES, D.; PARKIN, G.; AMEZAGA, J.; LARGE, A.; LINEY, K.; SENIOR, A.; GODDARD, A. The influence of 4D landscape visualisation on attitudes to reservoir renaturalisation. **Landscape and Urban Planning**, v. 221, p. 104372, maio 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104372>. Acesso em: 16 jun. 2025.
- HOU, J.; MAO, H.; LI, J.; SUN, S. Spatial simulation of the ecological processes of stormwater for sponge cities. **Journal of Environmental Management**, v. 232, p. 574-583, fev. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.111>. Acesso em: 16 jun. 2025.
- JUSUF, S.; MOUSSEAU, B.; GODFROID, G.; SOH JIN HUI, V. Integrated modeling of CityGML and IFC for city/neighborhood development for urban microclimates analysis. **Energy Procedia**, v. 122, p. 145-150, set. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.329>. Acesso em: 16 jun. 2025.
- LANGE, E. The limits of realism: perceptions of virtual landscapes. **Landscape and Urban Planning**, v. 54, n. 1-4, p. 163-182, maio 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(01\)00134-7](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(01)00134-7). Acesso em: 16 jun. 2025.

- LANGE, E. 99 volumes later: we can visualise. Now what?. **Landscape and Urban Planning**, v. 100, n. 4, p. 403-406, abr. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.02.016>. Acesso em: 16 jun. 2025.
- LAWSON, Bryan. **How designers think: the design process demystified**. Cambridge: Cambridge University Press, 2006.
- LI, M.; XUE, F.; WU, Y.; YEH, A. A room with a view: automatic assessment of window views for high-rise high-density areas using City Information Models and deep transfer learning. **Landscape and Urban Planning**, v. 226, p. 104505, out. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104505>. Acesso em: 16 jun. 2025.
- LIMA, M. Q. C. **Ver a cidade: modelagem da informação para regulação de assentamentos informais**. 2017. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo e Design) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/27517>. Acesso em: 16 jun. 2025.
- LIMA, M. Q. C.; FREITAS, C. F. S. Modelagem paramétrica e os limites dos mecanismos tradicionais de regulação da forma urbana. **Revista Políticas Públicas & Cidades**, v. 4, n. 1, 117-138, jul. 2016. DOI: <https://doi.org/10.23900/2359-1552.2016v4n1p117>. Acesso em: 16 jun. 2025.
- MA, Y.; WRIGHT, J.; GOPAL, S.; PHILLIPS, N. Seeing the invisible: from imagined to virtual urban landscapes. **Cities**, v. 98, p. 102559, mar. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.102559>. Acesso em: 16 jun. 2025.
- McHARG, I. **Design with nature**. Nova York: John Wiley, 1995.
- MOURA, N. B.; PELLEGRINO, P.; MARTINS, J. R. S.; RAVIOLO, B.; MOREIRA, E. Intelligent landscapes: application of parametric modeling for a new generation of flood risk management reservoirs in São Paulo city, Brazil. **DISEGNARECON**, v. 11, n. 20, jun. 2018. DOI: <https://doi.org/10.20365/disegnarecon.20.2018.11>. Acesso em: 16 jun. 2025.
- NA, Sungjin. Case analysis and applicability review of parametric design in landscape architectural design. **Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture**, v. 49, n. 2, p. 1-16, 2021. DOI: <https://doi.org/10.9715/KILA.2021.49.2.001>. Acesso em: 16 jun. 2025.
- PENTTILÄ, H. Describing the changes in architectural information technology to understand design complexity and free-form architectural expression. **Journal of Information Technology in Construction (ITcon)**, v. 11, n. 29, p. 395-408, 12 jun. 2006.
- RASOULKHANI, K.; MOSTAFAVI, A.; PRESA REYES, M.; BATOULI, M. Resilience planning in hazards-humans-infrastructure nexus: a multi-agent simulation for exploratory assessment of coastal water supply infrastructure adaptation to sea-level rise. **Environmental Modelling & Software**, v. 125, p. 104636, mar. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2020.104636>. Acesso em: 16 jun. 2025.
- SANDRE, A. A.; PELLEGRINO, P. R. M. Modelagem da Informação da Paisagem – Landscape Information Modeling (LIM). **Pós – Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP**, v. 27, n. 51, p. e168291, 8 jan.

2021. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2317-2762.posfau.2020.168291>. Acesso em: 16 jun. 2025.

SCHELLER, R. Landscape modeling. **Reference Module in Life Sciences**, 2017.

SHARIFI, A.; BERIS, A. T.; JAVIDI, A. S.; NOURI, M.; LONBAR, A. G.; AHMADI, M. Application of artificial intelligence in digital twin models for stormwater infrastructure systems in smart cities. **Advanced Engineering Informatics**, v. 61, p. 102485, ago. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2024.102485>. Acesso em: 16 jun. 2025.

SOUSA, C. E. M. **Modelando a percepção: o ambiente do patrimônio cultural edificado na regulação da forma urbana**. 2018. 74 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo e Design) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/37245>. Acesso em: 16 jun. 2025.

WANGHE, K.; GUO, X.; WANG, M.; ZHUANG, H.; AHMAD, S.; KHAN, T. U.; XIAO, Y.; LUAN, X.; LI, K. Gravity model toolbox: an automated and open-source ArcGIS tool to build and prioritize ecological corridors in urban landscapes. **Global Ecology and Conservation**, v. 22, p. e01012, jun. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01012>. Acesso em: 16 jun. 2025.

YANG, B.; LI, S. J. Design with nature: Ian McHarg's ecological wisdom as actionable and practical knowledge. **Landscape and Urban Planning**, v. 155, p. 21-32, nov. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.04.010>. Acesso em: 16 jun. 2025.

YAZICI, Sevil. A parametric Landscape Urbanism method: the search for an optimal solution. **A/Z – ITU Journal of Faculty of Architecture**, v. 13, n. 3, p. 155-165, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5505/itujfa.2016.94546>. Acesso em: 16 jun. 2025.