

Análise bibliométrica sobre urbanização, mudança do uso do solo e serviços ecossistêmicos no planejamento urbano e regional

Walter Manuel Hoyos-Alayo ¹*

¹Doutor em Ciências Ambientais, Universidad Tecnológica del Perú, Perú. (*Autor correspondiente: c23712@utp.edu.pe)

Histórico do Artigo: Submetido em: 25/01/2026 – Revisado em: 11/02/2026 – Aceito em: 14/02/2026

RESUMO

A urbanização e a mudança do uso do solo impõem pressões crescentes sobre os serviços ecossistêmicos e tensionam o planejamento urbano e regional, o que dificulta decisões baseadas em evidências comparáveis entre territórios. O objetivo geral foi descrever e analisar quantitativamente a evolução da pesquisa sobre urbanização, mudança do uso do solo e serviços ecossistêmicos no planejamento urbano e regional. Aplicou-se cartografia bibliométrica com enfoque quantitativo, exploratório, longitudinal e retrospectivo, a partir de uma busca reproduzível na base Scopus executada em 23 de janeiro de 2026, sem restrição de idioma ou período. As análises foram conduzidas nos softwares Bibliometrix e VOSviewer, com aplicação das leis de Lotka e Bradford e do método RPYS. O corpus reuniu 676 documentos publicados entre 2007 e 2026, distribuídos em 214 fontes, com crescimento anual de 11,19%, 2.685 autores, média de 4,51 coautores por documento e 32,69% de coautoria internacional. O período de 2022 a 2025 concentrou 57,5% das publicações, e o ano de 2025 alcançou 146 artigos. A China liderou a produção com 320 documentos, e oito periódicos concentraram 33,6% do total. A média de citações foi de 31,34 por documento, com idade média de 4,68 anos. O mapa temático posicionou os serviços ecossistêmicos como eixo articulador do campo e evidenciou frentes recentes em sensoriamento remoto, modelagem de cenários e clima urbano. Conclui-se que o campo apresenta maturidade operativa, elevada colaboração e rápida consolidação temática, com demanda por padronização de métricas para fortalecer sua tradução em decisões de ordenamento territorial e resiliência urbana.

Palavras-Chaves: Infraestrutura verde, Modelagem de cenários, Planejamento territorial, Sensoriamento remoto, Urbanização.

Bibliometric analysis of urbanisation, land-use change and ecosystem services in urban and regional planning

ABSTRACT

Urbanisation and land-use change exert increasing pressures on ecosystem services and strain urban and regional planning, hindering evidence-based decisions that are comparable across territories. The general objective was to describe and quantitatively analyse the evolution of research on urbanisation, land-use change and ecosystem services in urban and regional planning. A bibliometric mapping approach was applied, with a quantitative, exploratory, longitudinal and retrospective design, based on a reproducible Scopus search executed on 23 January 2026, without language or time restrictions. Analyses were conducted using Bibliometrix and VOSviewer, with application of Lotka's and Bradford's laws and RPYS. The corpus comprised 676 documents published between 2007 and 2026, distributed across 214 sources, with an annual growth rate of 11.19%, 2,685 authors, 4.51 co-authors per document, and 32.69% international co-authorship. The period 2022–2025 accounted for 57.5% of publications, and 2025 reached 146 articles. China led production with 320 documents, and eight journals concentrated 33.6% of the total. The mean citation rate was 31.34 per document, and the average age was 4.68 years. The thematic map positioned ecosystem services as the central integrative axis and identified recent fronts in remote sensing, scenario modelling and urban climate. The field exhibits operational maturity, high collaboration and rapid thematic consolidation, alongside a need to standardise metrics to strengthen translation into spatial planning decisions and urban resilience.

Keywords: Green infrastructure, Remote sensing, Scenario modelling, Territorial planning, Urbanisation.

Hoyos-Alayo, W. M. (2026). Análise bibliométrica sobre urbanização, mudança do uso do solo e serviços ecossistêmicos no planejamento urbano e regional. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v.14, n.1, p.209-236.



Análisis bibliométrico sobre urbanización, cambio de uso del suelo y servicios ecosistémicos en la planificación urbana y regional

RESUMEN

La urbanización y el cambio de uso del suelo generan presiones crecientes sobre los servicios ecosistémicos y tensionan la planificación urbana y regional, lo que dificulta decisiones basadas en evidencia comparables entre territorios. El objetivo general fue describir y analizar cuantitativamente la evolución de la investigación sobre urbanización, cambio de uso del suelo y servicios ecosistémicos en la planificación urbana y regional. Se aplicó cartografía bibliométrica con enfoque cuantitativo, exploratorio, longitudinal y retrospectivo, a partir de una búsqueda reproducible en Scopus ejecutada el 23 de enero de 2026, sin restricción de idioma ni periodo, con análisis en Bibliometrix y VOSviewer, y aplicación de las leyes de Lotka y Bradford y de RPYS. El corpus reunió 676 documentos publicados entre 2007 y 2026, distribuidos en 214 fuentes, con crecimiento anual de 11.19%, 2685 autores, 4.51 coautores por documento y 32.69% de coautoría internacional; el periodo 2022 a 2025 concentró 57.5% de las publicaciones y 2025 alcanzó 146 artículos. China lideró la producción con 320 documentos; ocho revistas concentraron 33.6% del total. El promedio de citas fue 31.34 por documento y la edad media 4.68 años. El mapa temático ubicó a los servicios ecosistémicos como eje articulador y evidenció frentes recientes en teledetección, modelación de escenarios y clima urbano. Se concluye que el campo presenta madurez operativa, alta colaboración y rápida consolidación temática, con necesidad de estandarizar métricas para fortalecer su traducción a decisiones de ordenamiento territorial y resiliencia urbana.

Palabras clave: Infraestructura verde, Modelación de escenarios, Planificación territorial, Teledetección, Urbanización.

1. Introdução

A urbanização já domina a organização territorial e redefine as pressões sobre o solo e os ecossistemas (Gatty et al., 2025). No âmbito da abordagem global Degree of Urbanisation, estima-se que 45 % da população viva em cidades, 36 % em áreas urbanas intermediárias e 19 % em áreas rurais (Koenig et al., 2026). No mesmo período, o solo urbanizado por pessoa aumentou de 44 m² em 2000 para 63 m² em 2020, o que reflete a expansão física do tecido urbano com intensidade superior ao crescimento demográfico em diversos contextos (Refsnider et al., 2026; Zhang et al., 2026). Essa dinâmica eleva a demanda por solo periurbano, tensiona corredores ecológicos e desloca usos agrícolas e naturais em escalas metropolitanas e regionais (Deng et al., 2026).

Projeções recentes indicam que a mudança do uso do solo associada à expansão urbana continuará a se acelerar se as tendências atuais forem mantidas (Li et al., 2025). Com modelos espaciais probabilísticos, estimou-se que até 2030 a cobertura urbana aumentaria em 1,2 milhões de km², quase triplicando a área urbana global registrada em torno de 2000, com impactos diretos em hotspots de biodiversidade e na biomassa tropical (He et al., 2026; McDonald et al., 2018). Em paralelo, reconstruções globais de superfície construída reportam que a área urbanizada passou de 274.700 km² em 1975 para 921.100 km² em 2025, o que evidencia uma duplicação longa e sustentada do espaço construído em escala planetária (He et al., 2019; N. Li et al., 2025).

Esse processo ocorre sobre uma base territorial já intensamente transformada por atividades humanas (Rahmat et al., 2026). Em 2024, estimativas globais reportaram 15 milhões de km² de terras agrícolas, equivalentes a 12 % da superfície terrestre livre de gelo, e 28 milhões de km² de pastagens, equivalentes a 22 % (Ahmed & Jahan, 2026). Essa ocupação prévia do território condiciona a disponibilidade de solo para expansão urbana e amplia conflitos por água, solos férteis e conectividade ecológica, em especial nas periferias metropolitanas onde convergem agricultura intensiva, infraestrutura e áreas naturais remanescentes (Altuwaijri et al., 2025).

A perda ou degradação de serviços ecossistêmicos transforma a mudança do uso do solo em um problema econômico, sanitário e de segurança hídrica, não apenas ecológico (Mir & Brouwer, 2025). Uma atualização de valoração global estimou o valor anual agregado dos serviços ecossistêmicos em 125 trilhões de dólares por ano em 2025 e quantificou perdas anuais associadas à mudança do uso do solo entre 1997 e 2024 na faixa de 4,3 a 20,2 trilhões de dólares por ano, conforme pressupostos de valores unitários e cobertura

(Bizuyayehu et al., 2025; S. Das et al., 2026). Esses valores não substituem a contabilidade biofísica, mas descrevem a magnitude dos custos sociais decorrentes da redução da regulação climática, da provisão e depuração de água, do controle de erosão, da polinização e da recreação (Palafox-Juárez et al., 2025; Reyes-Sánchez et al., 2025).

A evidência também vincula urbanização, carbono e clima por meio de métricas diretas (Zhang et al., 2026). Relata-se que as áreas urbanas respondem por mais de 70 % das emissões de CO₂ provenientes da queima de combustíveis fósseis e que a expansão urbana nos trópicos contribui com cerca de 5 % das emissões anuais associadas à mudança do uso do solo (Feng et al., 2025). Em estimativas de biomassa, a conversão de áreas com alta probabilidade de urbanização no cinturão tropical associou-se a uma perda de 1,38 PgC, comparável a cerca de 5 % das emissões por desmatamento tropical e mudança do uso do solo (Yang et al., 2023). Essas relações reforçam o papel do planejamento urbano e regional como ferramenta de mitigação e adaptação, baseada em decisões espaciais sobre adensamento, infraestrutura e conservação (Sakala & Santos, 2025).

Em cidades e regiões, o planejamento já dispõe de indicadores quantitativos de serviços ecossistêmicos com capacidade de apoiar decisões (Rochner et al., 2025). Na regulação microclimática, uma avaliação em 601 cidades europeias em 2021 estimou um resfriamento médio de 1,07 °C proporcionado pela infraestrutura verde urbana, com máximos de 2,9 °C, e indicou que é necessária ao menos 16 % de cobertura arbórea para reduzir 1 °C da temperatura urbana no verão (Marando et al., 2022). Na qualidade do ar, estimativas para os Estados Unidos reportaram a remoção anual de 711.000 toneladas de poluentes atmosféricos por árvores urbanas, com benefício monetário estimado em 3,8 bilhões de dólares por ano em 2024 (Shania Mathew et al., 2025; Vannucci et al., 2025). Na drenagem urbana, um metanálise global recente reportou reduções médias de 51 % no escoamento superficial e entre 38 e 55 % nas cargas de poluentes com soluções baseadas em infraestrutura verde (Kaminsky et al., 2025).

Apesar dessa capacidade de mensuração, persistem lacunas entre ciência e prática na integração sistemática dos serviços ecossistêmicos em instrumentos de planejamento, orçamentos e investimento público (Waylen et al., 2026). Em resposta, a literatura propõe estruturas de capital natural orientadas à decisão, com ênfase na rastreabilidade de pressupostos, na comparabilidade espacial e na avaliação de trade-offs entre alternativas de uso do solo (Koenig et al., 2026). Essa abordagem exige articular evidência biofísica, econômica e social em escalas relevantes para o ordenamento territorial, o transporte, a habitação e a gestão de bacias hidrográficas, com ferramentas que conectem mapas de cobertura às funções ecossistêmicas e a indicadores urbanos (Gebu et al., 2019; Saiful Islam et al., 2026).

O tema alinha-se de forma direta aos compromissos globais de desenvolvimento sustentável e a metas explícitas orientadas à gestão territorial. O ODS 11 inclui a meta 11.3, que propõe fortalecer a urbanização inclusiva e sustentável e a capacidade para um planejamento integrado e sustentável dos assentamentos humanos até 2030, e a meta 11.6, que propõe reduzir o impacto ambiental per capita das cidades, com atenção à qualidade do ar e à gestão de resíduos até 2030 (Altuwaijri et al., 2025; A. Das et al., 2026). O ODS 13 incorpora a meta 13.2, que propõe integrar medidas de mudança do clima em políticas, estratégias e planejamento (Tadesse et al., 2025). O ODS 15 incorpora a meta 15.9, que propõe integrar valores de ecossistemas e biodiversidade no planejamento nacional e local e nos processos de desenvolvimento (Manna et al., 2025). Esses objetivos demandam evidência rastreável sobre como a urbanização e a mudança do uso do solo afetam os serviços ecossistêmicos e sobre como intervenções urbanas e regionais melhoram resultados mensuráveis (Pan et al., 2025).

Abordar o caráter multidimensional da urbanização, da mudança do uso do solo e dos serviços ecossistêmicos no planejamento urbano e regional, com o propósito de orientar decisões territoriais baseadas em evidência, exige primeiro uma leitura ampla do desenvolvimento teórico, metodológico e aplicado do campo nas últimas décadas. Nesse sentido, a pergunta central de pesquisa é qual é o nível de desenvolvimento científico sobre urbanização, mudança do uso do solo e serviços ecossistêmicos no planejamento urbano e

regional e como ele evoluiu ao longo do tempo. A partir dessa questão, formula-se o objetivo geral de analisar quantitativamente a evolução da pesquisa sobre urbanização, mudança do uso do solo e serviços ecossistêmicos no planejamento urbano e regional, identificando padrões temporais, geográficos e temáticos, redes de colaboração e fontes influentes, para fortalecer a tomada de decisão em planejamento urbano e regional orientada à sustentabilidade e à resiliência territorial.

2. Material e Métodos

Aplicou-se uma cartografia bibliométrica baseada em modelos estatísticos e matemáticos para examinar a produção científica, o impacto de citações e os padrões de colaboração sobre urbanização, mudança do uso do solo e serviços ecossistêmicos no planejamento urbano e regional. Esse enfoque permite identificar tendências temporais, autores e instituições influentes, redes de cooperação e frentes emergentes, com foco na relação entre expansão urbana, transformações de cobertura, provisão de serviços ecossistêmicos e decisões de ordenamento territorial.

Seguindo Luna-Morales et al. (2023), o procedimento integrou quatro etapas: i) definição da pergunta geral e de doze perguntas específicas de pesquisa, ii) seleção da base de dados de referência, iii) construção de uma equação de busca reproduzível e iv) análise estatística e visualização de metadados. O estudo adotou escopo quantitativo, exploratório descritivo, não experimental, longitudinal e retrospectivo. A análise reconstruiu a trajetória da literatura desde os primeiros registros até o recorte temporal do estudo e identificou pontos de inflexão, consolidação temática e mudanças na orientação do campo em direção a instrumentos de planejamento e gestão territorial, em consonância com Bellido-Valdiviezo et al. (2023) e García et al. (2025).

A busca foi executada em 23 de janeiro de 2026 na base Scopus, selecionada por sua cobertura multidisciplinar e pela qualidade dos metadados sobre autores, afiliações, países, referências e palavras-chave, necessários para análises de produtividade, impacto e colaboração científica. Não se estabeleceram restrições de idioma nem de período de publicação, com o objetivo de maximizar a recuperação do campo e captar tanto contribuições iniciais quanto tendências recentes.

Para responder à pergunta central, formularam-se doze questões específicas que organizam as análises bibliométricas e a apresentação dos resultados: i) como evoluiu temporalmente a produção científica sobre urbanização, mudança do uso do solo e serviços ecossistêmicos no planejamento urbano e regional?, ii) quais tipos de documentos predominam e qual é seu peso relativo no período analisado?, iii) quais áreas temáticas estão mais associadas no Scopus e como se distribuem?, iv) quais instituições e países lideram a produção e qual é sua contribuição relativa?, v) quem são os autores mais influentes e como se caracterizam suas trajetórias e colaborações?, vi) em que medida a produtividade autoral se ajusta à Lei de Lotka e o que isso indica sobre a concentração da liderança científica?, vii) quais periódicos concentram a maior difusão de pesquisas sobre urbanização, mudança do uso do solo e serviços ecossistêmicos no planejamento urbano e regional?, viii) como se organiza o núcleo de periódicos segundo a Lei de Bradford e suas zonas de difusão?, ix) qual é o nível de colaboração internacional entre países e instituições?, x) o que a Reference Publication Year Spectroscopy, RPYS, revela sobre as raízes históricas e os anos de maior impacto?, xi) quais publicações seminais, métodos ou marcos normativos explicam os picos de citação detectados na RPYS? e xii) quais tendências e linhas emergentes orientam a agenda futura segundo a dinâmica de palavras-chave e o mapa temático?

A consulta recuperou 676 registros, exportados em formato CSV para revisão. Em seguida, a revisão e a normalização dos metadados foram realizadas no Microsoft Excel, conforme descrito na Tabela 1, seguindo recomendações de Osemwegie et al. (2023).

Tabela 1 – Base de dados, descritores e análises qualitativas executadas
Table 1 – Database, descriptors and qualitative analyses performed

Base	Descritores (estratégia)	Análises qualitativas executadas
Scopus	TITLE-ABS-KEY ((urbanization OR urbanisation OR "urban expansion" OR "urban growth" OR "urban sprawl" OR "built-up" OR "impervious surface*" OR "urban land") AND (("land" W/2 "use" W/1 chang*) OR ("land" W/2 "cover" W/1 chang*) OR lulc OR lucc OR "land conversion" OR "landscape change") AND ("ecosystem service*" OR "urban ecosystem service*" OR ("ecosystem" W/2 "service*") OR "nature-based solution*" OR "green infrastructure" OR ncp OR "nature's contributions to people" OR esv) AND ("urban planning" OR "regional planning" OR "spatial planning" OR ("land" W/2 "use" W/1 planning) OR "land-use planning" OR "territorial planning" OR "metropolitan planning" OR "urban policy" OR "regional policy"))	Remoção de duplicatas após a exportação em CSV. Crivagem por título, resumo e palavras-chave para confirmar a presença simultânea de urbanização, mudança do uso ou cobertura, serviços ecossistêmicos e planejamento urbano ou regional. Exclusão de documentos fora do escopo. Revisão de consistência de metadados, título, resumo, palavras-chave, autores, afiliações, país, ano, DOI e tipo documental. Normalização manual de nomes de autores, instituições e países para evitar fragmentação de registros. Depuração e padronização de palavras-chave para agrupar sinônimos e variantes e correção de erros tipográficos.

Fonte: Elaborado pelos autores

Source: Prepared by the authors

Na fase de normalização, homogeneizaram-se nomes de autores, instituições e países, padronizaram-se afiliações e depuraram-se palavras-chave para agrupar sinônimos e corrigir erros tipográficos. Esse passo reduziu vieses no cálculo de produtividade, citações e colaboração e fortaleceu a comparabilidade entre unidades de análise.

O processamento bibliométrico foi desenvolvido no RStudio com o pacote Bibliometrix 5.1.1 (Aria & Cuccurullo, 2024) para estimar a produtividade de autores, países e instituições, calcular indicadores de impacto como número de citações e índices h, g e m, e construir redes de coautoria. Para responder às questões sobre concentração de autoria e de canais de difusão, avaliou-se a produtividade autoral à luz da Lei de Lotka, que descreve a distribuição de produtividade científica em que a frequência de autores com n publicações decresce de forma aproximada à razão inversa de n^2 . Isso permite verificar o grau de concentração do campo entre poucos autores recorrentes e uma cauda longa de contribuições únicas (Taha et al., 2026).

Em paralelo, organizou-se o núcleo de periódicos segundo a Lei de Bradford, que ordena as fontes em zonas de produtividade decrescente e delimita um núcleo responsável pela maior parcela de artigos. Isso descreve a concentração e a dispersão editorial da difusão científica no tema (Khired & Taha, 2026).

A visualização e o mapeamento de redes foram executados no VOSviewer para gerar mapas de coocorrência de palavras-chave, acoplamento bibliográfico e colaboração internacional, com normalização pela força de associação, seguindo Sulphery et al. (2024) e Van Eck & Waltman (2024). Essa análise permitiu delimitar clusters temáticos vinculados à expansão urbana e às superfícies construídas, à dinâmica LULC (Land use and land cover) e à modelagem espacial, à valoração e ao mapeamento de serviços ecossistêmicos, à infraestrutura verde e às soluções baseadas na natureza, à governança territorial e à avaliação de cenários para suporte a políticas urbanas e regionais.

Além disso, aplicou-se a Reference Publication Year Spectroscopy, RPYS, para identificar raízes históricas e picos de citação associados a publicações seminais, marcos conceituais e métodos que estruturam o campo (Moid et al., 2025). A leitura integrada de produtividade, citações, redes e clusters permitiu descrever a estrutura intelectual da área, sua evolução temática e os padrões de colaboração entre autores, instituições e países.

Para sustentar a discussão, o estudo articulou a síntese quantitativa do corpus completo com um recorte interpretativo de estudos âncora. O corpus bibliométrico não foi reduzido para a etapa de discussão. As referências mobilizadas foram selecionadas no próprio corpus por critérios reprodutíveis: i) posição no ranking de citações globais e de citações locais extraído no Bibliometrix, para capturar trabalhos que estruturam o campo, ii) recência, com ênfase em publicações dos últimos três anos alinhadas às frentes emergentes identificadas no VOSviewer, e iii) representatividade por cluster, de modo a cobrir os principais eixos temáticos e métodos predominantes, como simulação de LULC e modelagem de serviços ecossistêmicos. Esse procedimento caracteriza uma síntese interpretativa orientada por evidência bibliométrica, e não uma revisão narrativa independente.

Por fim, com base nesse marco, construiu-se um comparativo como produto metodológico orientado à comparabilidade, ao reunir indicadores associados à urbanização e à mudança do uso do solo, juntamente com métricas de serviços ecossistêmicos aplicadas no planejamento urbano e regional, incorporando sua fórmula, variáveis mínimas e critérios de classificação. Isso facilita a replicação de medições e o alinhamento de avaliações entre cidades, regiões e escalas de ordenamento territorial.

3. Resultados

3.1 Análise bibliométrica

A Figura 1 sintetiza a linha de base do corpus analisado sobre urbanização, mudança do uso do solo e serviços ecossistêmicos no planejamento urbano e regional. O período de 2007 a 2026 reúne 676 documentos distribuídos em 214 fontes, com taxa anual de crescimento de 11,19%. Esse volume e sua expansão sustentada sustentam um campo com massa crítica suficiente para análises de tendências, liderança e estrutura temática.

Figura 1 – Indicadores bibliométricos gerais do corpus

Figure 1 - General bibliometric indicators of the corpus



Fonte: Síntese das principais informações produzidas no Bibliometrix, com base nos metadados extraídos da Scopus

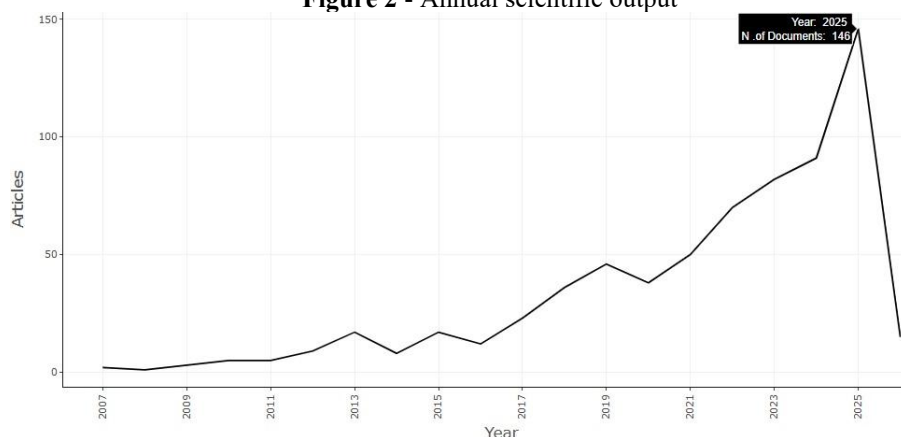
Source: Summary of key information produced in Bibliometrix, based on metadata extracted from Scopus

A estrutura de autoria evidencia colaboração intensa. O corpus integra 2.685 autores, registra 4,51 coautores por documento e atinge 32,69% de coautoria internacional. A produção de autoria única fica restrita a 17 documentos, o que caracteriza um domínio orientado a equipes, redes e trabalho interinstitucional.

O impacto médio e a atualidade do conjunto reforçam sua utilidade para inferir influência científica recente. A idade média do documento é de 4,68 anos e a média de citações chega a 31,34 por documento, com suporte em 5.136 referências. Em paralelo, 1.908 palavras-chave de autores descrevem diversidade conceitual, com implicações diretas para a interpretação posterior de clusters e dinâmicas temáticas.

A Figura 2 evidencia crescimento sustentado da produção anual entre 2007 e 2025. A fase inicial apresenta baixa intensidade, com 1 a 17 artigos por ano entre 2007 e 2016. A partir de 2017 registra-se aceleração.

Figura 2 – Produção científica anual
Figure 2 - Annual scientific output



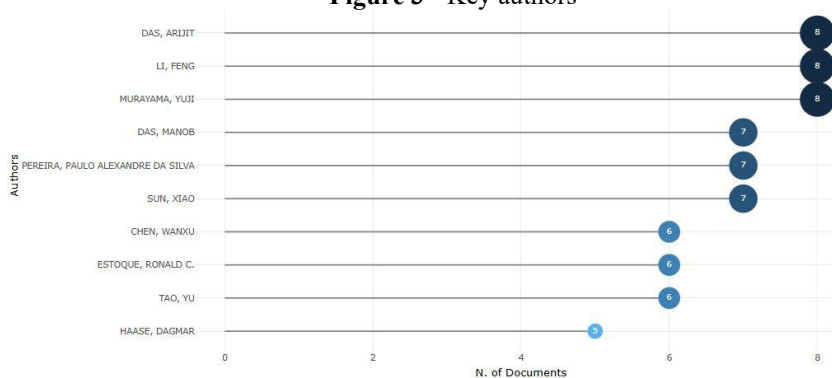
Fonte: Elaborado no Bibliometrix, com base nos metadados extraídos da Scopus

Source: Produced in Bibliometrix, based on metadata extracted from Scopus

O período de 2022 a 2025 concentra 389 publicações, equivalente a 57,5% do total. O máximo ocorre em 2025, com 146 artigos, 60,4% acima de 2024, com 91. Esse padrão reflete transição de exploração para consolidação, com rápida expansão nos anos recentes. O valor de 2026 cai para 15 artigos devido ao recorte temporal do estudo em janeiro de 2026, por isso não é comparável com anos completos.

A Figura 3 mostra liderança autoral distribuída, sem domínio marcado de um único pesquisador.

Figura 3 – Autores relevantes
Figure 3 - Key authors



Fonte: Elaborado no Bibliometrix, com base nos metadados extraídos da Scopus

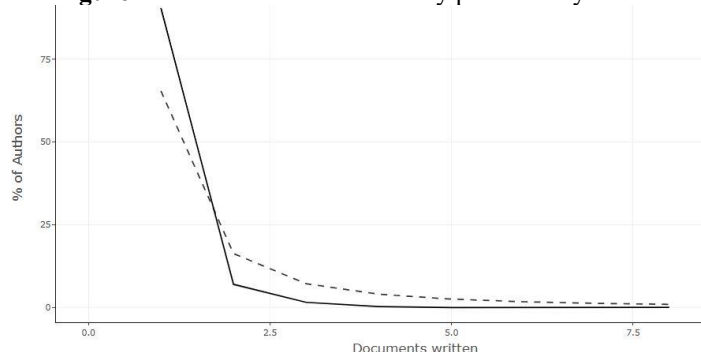
Source: Produced in Bibliometrix, based on metadata extracted from Scopus

Os autores com maior produtividade alcançam 8 documentos, em um primeiro grupo formado por Das, Arijit, Li, Feng e Murayama, Yuji. Um segundo grupo aparece com 7 documentos, composto por Das, Manob, Pereira, Paulo Alexandre da Silva e Sun, Xiao. Em seguida, Chen, Wanxu, Estoque, Ronald C. e Tao, Yu apresentam 6 documentos, enquanto Haase, Dagmar completa o conjunto com 5 documentos.

Esse padrão indica baixa concentração da produção no campo. Os dez autores mais produtivos acumulam 68 documentos, cerca de 10,1% do total do corpus, e o máximo individual de 8 documentos equivale a 1,18% do total. A métrica fracionada reforça o papel da coautoria. Murayama, Yuji registra 2,73 documentos fracionados, Das, Arijit e Estoque, Ronald C. 2,33, e Li, Feng 1,93, o que sugere contribuições em equipes de tamanhos distintos e colaboração como modo dominante de publicação nessa linha de pesquisa.

A Figura 4 evidencia produtividade autoral altamente concentrada em contribuições únicas. Dos 2.685 autores, 2.431 publicaram 1 documento, equivalente a 90,5%.

Figura 4 – Distribuição dos autores segundo sua produtividade. Lei de Lotka
Figure 4 - Distribution of authors by productivity. Lotka's law



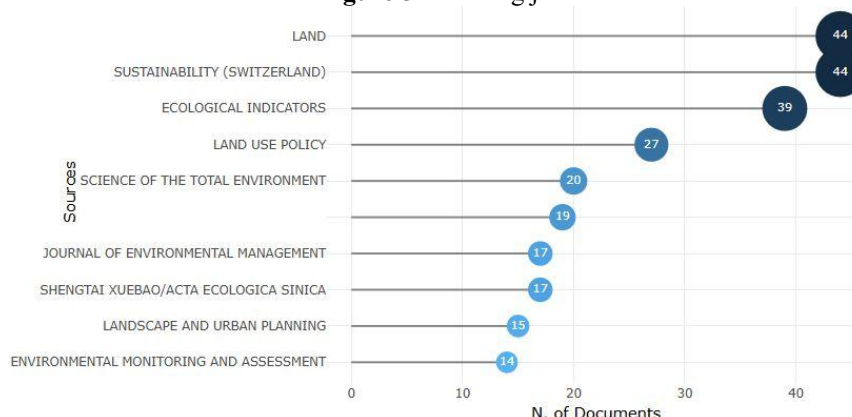
Fonte: Elaborado no Bibliometrix, com base nos metadados extraídos da Scopus
Source: Produced in Bibliometrix, based on metadata extracted from Scopus

Apenas 254 autores alcançaram 2 ou mais documentos, 9,5% do total. A queda é acentuada a partir de 2 documentos, com 190 autores, 7,1%. Em seguida observa-se um trecho de baixa frequência, com 44 autores com 3 documentos, 1,6%, e 9 autores com 4 documentos, 0,3%. O extremo superior fica restrito a 11 autores com 5 a 8 documentos, 0,41%.

A comparação entre a distribuição observada e a curva teórica de Lotka mostra desvio claro. O modelo teórico atribui 65,5% a autores com 1 documento, enquanto a evidência empírica alcança 90,5%. Em paralelo, o modelo espera proporções maiores em 2 a 4 documentos, frente a valores observados menores. Esse ajuste sugere um campo com ampla entrada de autores ocasionais e uma fração reduzida de contribuintes recorrentes, coerente com um domínio interdisciplinar em expansão, no qual a consolidação da liderança se distribui em uma cauda longa de produtividade.

A Figura 5 identifica o núcleo de periódicos que concentra a difusão do campo. LAND e Sustainability (Switzerland) lideram com 44 documentos cada, seguidas por Ecological Indicators com 39 e Land Use Policy com 27.

Figura 5 – Principais periódicos
Figure 5 - Leading journals



Fonte: Elaborado no Bibliometrix, com base nos metadados extraídos da Scopus
Source: Produced in Bibliometrix, based on metadata extracted from Scopus

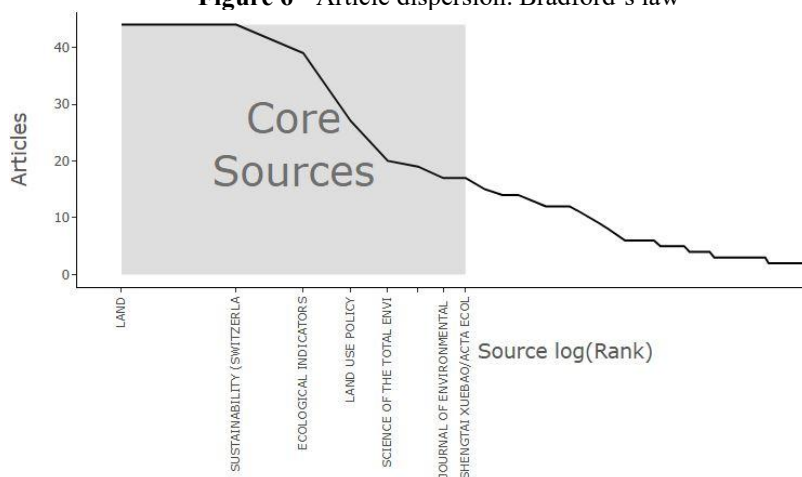
Esse bloco superior posiciona a produção em periódicos centrados em ciência do solo, sustentabilidade, indicadores e políticas de uso do solo, em coerência com um enfoque que conecta dinâmicas LULC e avaliação de serviços ecossistêmicos a decisões de planejamento.

Em um segundo nível aparecem Science of the Total Environment com 20 documentos e uma fonte adicional com 19 documentos no mesmo intervalo do gráfico. Em seguida situam-se Journal of Environmental Management e Shengtaixuebao Acta Ecologica Sinica com 17 documentos cada, Landscape and Urban Planning com 15 e Environmental Monitoring and Assessment com 14. No conjunto, essas dez fontes acumulam 256 documentos, 37,9% do corpus, o que confirma um padrão misto. Há um núcleo dominante de periódicos, mas a maior parte da produção se distribui fora desse núcleo, consistente com a diversidade disciplinar reportada no estudo.

A Figura 6 mostra a dispersão de artigos por fonte segundo a Lei de Bradford. Oito periódicos compõem o núcleo e concentram 227 artigos, 33,6% do total.

Figure 6 - Article dispersion. Bradford's law

Figure 6 - Article dispersion. Bradford's law



Fonte: Elaborado no Bibliometrix, com base nos metadados extraídos da Scopus

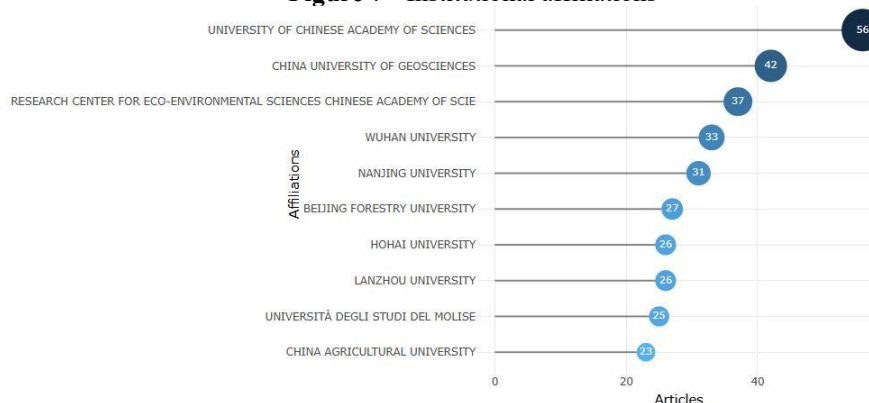
Source: Produced in Bibliometrix, based on metadata extracted from Scopus

Nesse núcleo destacam-se LAND e Sustainability (Switzerland) com 44 artigos cada, Ecological Indicators com 39, Land Use Policy com 27, Science of the Total Environment com 20, uma fonte sem rótulo com 19, e Journal of Environmental Management e Shengtaixuebao Acta Ecologica Sinica com 17 cada.

Fora do núcleo, a produção se distribui em duas zonas de difusão com esforço editorial crescente. A Zona 2 requer 32 fontes para reunir outros 227 artigos, 33,6%. A Zona 3 necessita de 174 fontes para completar 222 artigos, 32,8%. Essa relação 8, 32 e 174 mostra queda rápida da produtividade por periódico e ampla difusão do tema em um conjunto grande de fontes, coerente com seu caráter interdisciplinar.

A Figura 7 mostra concentração institucional marcada na liderança da produção. University of Chinese Academy of Sciences lidera com 56 artigos associados.

Figura 7 – Afiliações institucionais
Figure 7 - Institutional affiliations



Fonte: Elaborado no Bibliometrix, com base nos metadados extraídos da Scopus

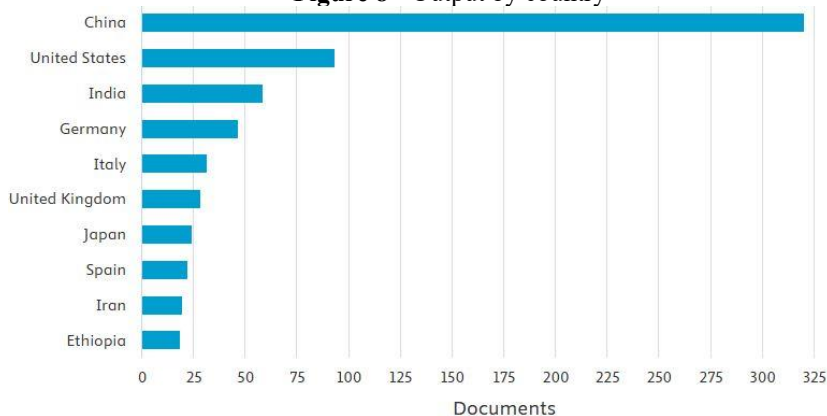
Source: Produced in Bibliometrix, based on metadata extracted from Scopus

China University of Geosciences ocupa o segundo lugar com 42, e o Research Center for Eco-Environmental Sciences Chinese Academy of Sciences aparece em terceiro com 37. Em seguida vêm Wuhan University com 33 e Nanjing University com 31. A diferença entre o primeiro e o segundo lugar é de 14 artigos, o que confirma vantagem sustentada do principal nó institucional.

O perfil geográfico da liderança é nítido. Nove das dez afiliações mais produtivas pertencem à China, com presença adicional de Università degli Studi del Molise, com 25 artigos associados. O restante do top 10 inclui Beijing Forestry University com 27, Hohai University e Lanzhou University com 26 cada, e China Agricultural University com 23. No conjunto, as dez instituições somam 326 artigos associados, o que equivale a 11,1% de todas as ocorrências de afiliação registradas. Esse padrão reforça que o avanço do campo se apoia em polos institucionais capazes de integrar geociências, ecologia, água, agricultura e planejamento territorial.

A Figura 8 evidencia concentração nacional clara da produção. A China lidera com 320 documentos, seguida pelos Estados Unidos com 93 e pela Índia com 58.

Figura 8 – Produção por país
Figure 8 - Output by country



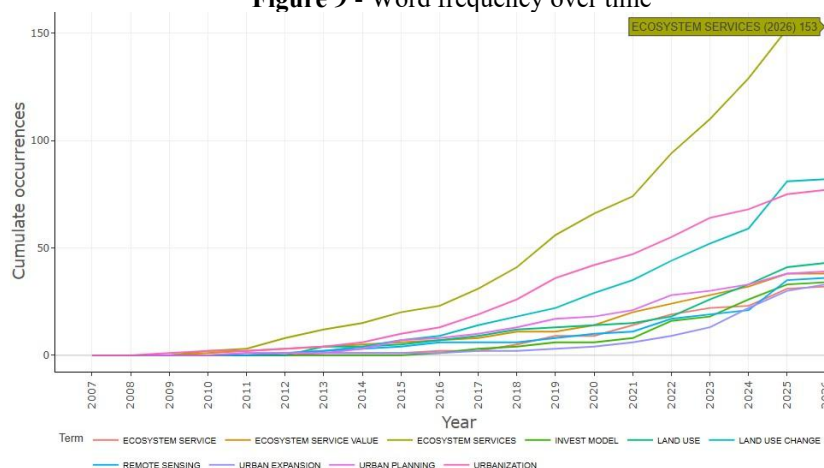
Fonte: Analyze results da Scopus

Source: Scopus Analyse results

A China supera os Estados Unidos em 227 documentos, equivalente a 3,44 vezes seu volume, o que caracteriza liderança sustentada do país neste corpus. O segundo bloco reúne contribuições relevantes da Europa e da Ásia. A Alemanha registra 46 documentos, a Itália 31 e o Reino Unido 28. O Japão contribui com 24, a Espanha com 22 e o Irã com 19. A Etiópia aparece com 18 documentos e completa o grupo apresentado. Esses dez países somam 659 documentos associados, que representam 66,0% do total de ocorrências por país no conjunto, o que confirma que o campo se apoia em poucos polos nacionais e se estende, em seguida, para uma cauda ampla de contribuições.

A Figura 9 apresenta a trajetória acumulada dos termos que estruturam o campo e evidencia mudança de escala a partir de 2017.

Figura 9 – Frequência de palavras ao longo do tempo
Figure 9 - Word frequency over time



Fonte: Elaborado no Bibliometrix, com base nos metadados extraídos da Scopus

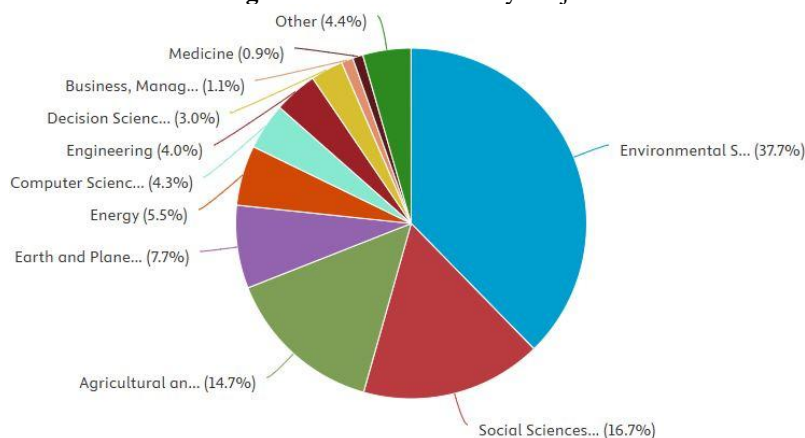
Source: Produced in Bibliometrix, based on metadata extracted from Scopus

O termo dominante é Ecosystem services, que passa de 23 ocorrências acumuladas em 2016 para 153 em 2026, com 85,0% de suas ocorrências concentradas após 2016. Essa curva define o eixo conceitual da literatura e confirma que a discussão se organiza em torno de uma abordagem integrada de serviços, e não de formulações isoladas.

Em um segundo nível consolidam-se termos que conectam pressão territorial e processos urbanos. Land use change atinge 82 ocorrências em 2026 e urbanization 77, com saltos recentes que intensificam a agenda empírica. Land use chega a 43 e urban planning a 39, o que sugere incorporação progressiva da dimensão de planejamento como marco de aplicação. Ecosystem service value estabiliza em 38, com crescimento sustentado desde 2019.

O padrão metodológico torna-se mais visível a partir de 2021. Remote sensing sobe para 36 e InVEST model para 34 em 2026, com impulso marcado em 2025, quando remote sensing cresce de 21 para 35 e land use change de 59 para 81. Urban expansion também acelera e chega a 33. O valor reduzido de 2026 em várias curvas decorre do recorte temporal do estudo, por isso a interpretação se concentra no intervalo 2021 a 2025. A Figura 10 mostra que o campo se articula, sobretudo, a partir de Environmental Science, com 517 atribuições temáticas, 37,7% do total.

Figura 10 – Publicações por área de conhecimento
Figure 10 - Publications by subject area



Fonte: Análise results da Scopus

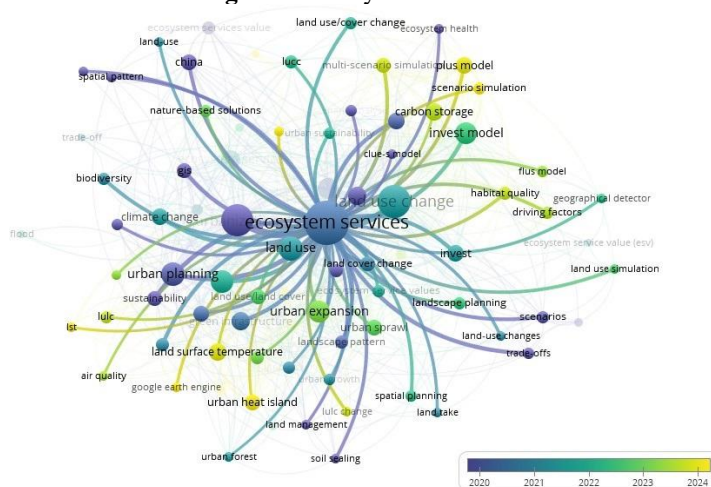
Source: Scopus Analyse results

Social Sciences contribui com 229, 16,7%, e Agricultural and Biological Sciences com 201, 14,7%. Essas três áreas reúnem 69,0% das atribuições, o que confirma que a literatura combina avaliação ambiental, decisões territoriais e processos biofísicos do uso do solo.

Em um segundo nível aparecem Earth and Planetary Sciences com 105, 7,7%, e Energy com 76, 5,5%. Em seguida surgem Computer Science com 59, 4,3%, Engineering com 55, 4,0%, e Decision Sciences com 41, 3,0%, o que reflete o peso de enfoques instrumentais como análise espacial, modelagem e suporte à decisão. Business, Management and Accounting representa 15, 1,1%, e Medicine 13, 0,9%. O grupo Other soma 61 atribuições, 4,4%, e integra áreas de menor frequência.

A Figura 11 confirma que o campo se organiza em torno de um eixo central definido. Ecosystem services atua como nó articulador e conecta, com vínculos dominantes, a land use change, land use, land cover change e land use cover change.

Figura 11 – Coocorrência de palavras-chave
Figure 11 - Keyword co-occurrence



Fonte: Elaborado no VOSviewer, com base nos metadados extraídos da Scopus

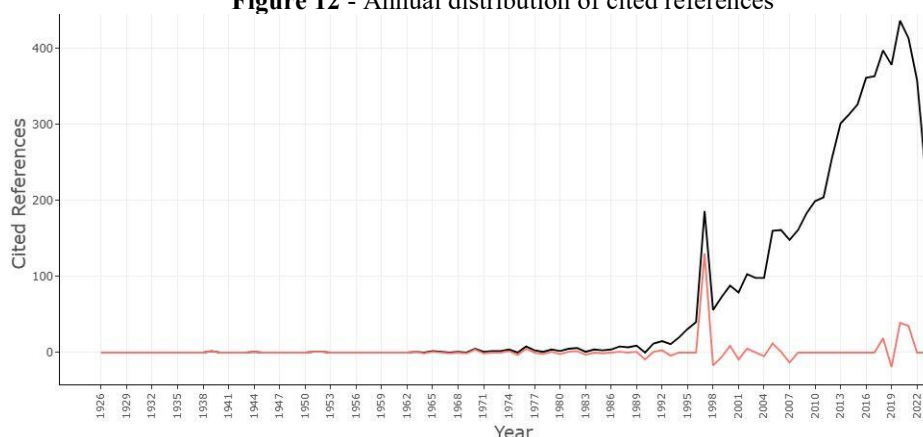
Source: Produced in VOSviewer, based on metadata extracted from Scopus

Essa estrutura indica que a literatura não trata urbanização e serviços ecossistêmicos como linhas paralelas, e sim como um sistema integrado no qual mudanças de cobertura e uso do solo explicam a variação na provisão, regulação e suporte ecossistêmico, com ancoragem em escalas urbanas e regionais.

A camada temporal do mapa mostra uma inflexão metodológica e aplicada recente. Os termos mais novos se agrupam em torno de modelagem de cenários e ferramentas operacionais, como *scenario simulation*, *multi-scenario simulation*, *plus model*, *flus model* e *invest model*, com saídas associadas a *carbon storage* e *habitat quality*. Em paralelo, emerge uma frente urbano-climática com *land surface temperature*, *urban heat island*, *air quality* e o uso de plataformas como *google earth engine*, enquanto *urban expansion*, *urban sprawl* e *urban planning* conectam esse bloco a decisões de planejamento e à avaliação de trade-offs e driving factors.

A Figura 12 apresenta a Reference Publication Year Spectroscopy e descreve a distribuição anual das referências citadas segundo seu ano de publicação.

Figura 12 – Distribuição anual das referências citadas
Figure 12 - Annual distribution of cited references



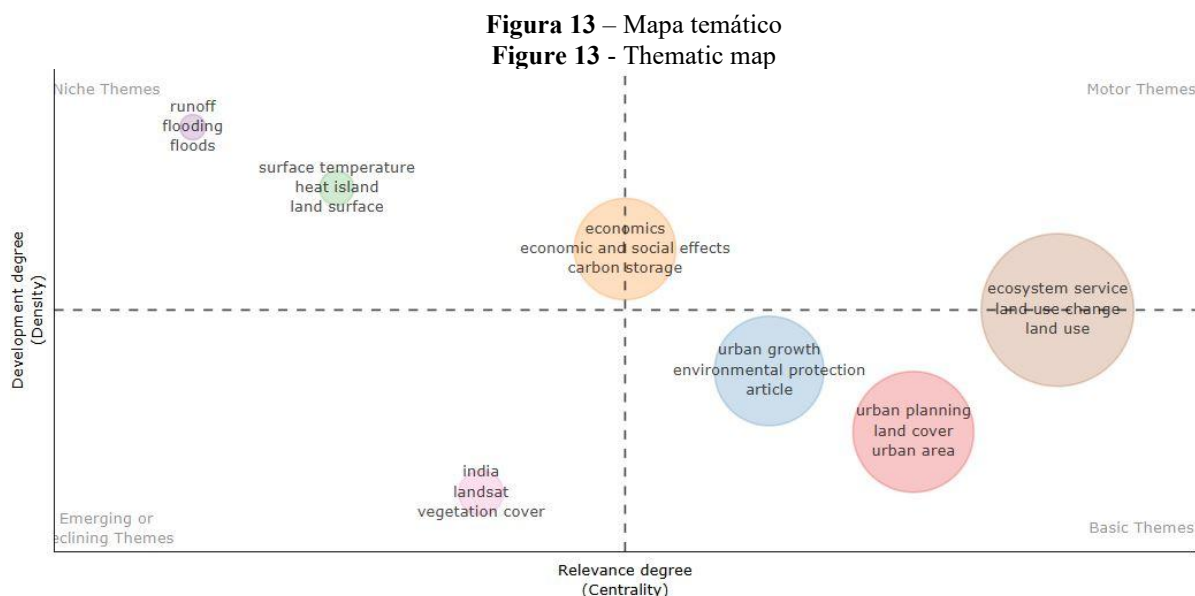
Fonte: Elaborado no Bibliometrix, com base nos metadados extraídos da Scopus
Source: Produced in Bibliometrix, based on metadata extracted from Scopus

O padrão indica base histórica de baixa intensidade até o início da década de 1990 e aceleração posterior que se torna dominante desde 2010. Em termos de volume, o sistema de citação se intensifica de forma sustentada na última década. Passa de 199 referências citadas em 2010 para mais de 300 por ano a partir de 2013. Atinge o máximo em 2020 com 436, seguido por 2021 com 413 e 2018 com 397. Esse comportamento confirma que o campo se apoia em literatura recente, com rápida acumulação de métodos, dados e aplicações.

A análise de picos identifica anos que funcionam como âncoras conceituais e metodológicas. O ponto de inflexão mais nítido ocorre em 1997, com 186 referências citadas e a maior desviação em relação à mediana local, o que revela um conjunto de trabalhos seminais. Nesse ano destacam-se contribuições ligadas à valoração e à relevância social dos serviços ecossistêmicos, lideradas por Costanza, Robert com 111 citações locais, seguidas por *Nature's services* com 27 e uma introdução à economia ecológica com 6.

Um segundo pico estruturante aparece em 2005 com 160 referências citadas, associado a marcos integradores sobre ecossistemas e bem-estar humano, com 26 citações locais, e a sínteses sobre consequências globais da mudança do uso do solo, com 13, junto a aportes sobre efeitos de padrões urbanos, com 12. Os picos recentes de 2018 e 2020 conectam o núcleo conceitual a uma agenda aplicada, com referências orientadas à avaliação espacial, cenários e degradação associada a uso do solo e clima, enquanto a queda em 2023, com 237 referências citadas, decorre da recência da literatura desse ano e do menor tempo de incorporação em listas de referência.

A Figura 13 delimita a estrutura temática do campo por centralidade e densidade e evidencia um núcleo dominante com alta conectividade.



O cluster ecosystem service concentra a maior massa temática, com 3.579 ocorrências, 50,4% do total por cluster, e exibe a maior centralidade, 16,291, com densidade 17,549. Seus termos líderes incluem ecosystem service, land use change, land use e urbanization, o que confirma que a literatura articula o planejamento urbano e regional a partir da interação entre mudanças de uso do solo e provisão de serviços ecossistêmicos.

Nesse quadro, o quadrante de temas motores, no topo à direita, não apresenta um cluster plenamente estabelecido. Nenhum cluster supera simultaneamente os pontos de corte do mapa, centralidade 7,208 e densidade 17,549. Ainda assim, o sistema apresenta dois candidatos de fronteira. Ecosystem service situa-se no limiar de densidade e mantém a maior centralidade, enquanto economics está no limiar de centralidade e alcança densidade 18,096. Essa configuração sugere temas em transição, com forte articulação estrutural ou coesão interna, que ainda não convergem para um motor inequívoco segundo os critérios do mapa.

No quadrante de temas básicos situam-se urban planning e urban growth, com alta centralidade e densidade abaixo do ponto de corte. Urban planning reúne 1.397 ocorrências, 19,7%, com centralidade 12,579 e densidade 14,864, dominada por urban planning, land cover, urban area, remote sensing e climate change. Urban growth soma 999 ocorrências, 14,1%, com centralidade 10,771 e densidade 15,704, com foco em urban growth, environmental protection, ecosystem, conservation of natural resources e urban ecosystem. Sua posição reflete temas transversais que conectam múltiplas sublinhas e, por isso, mantêm espaço para aumentar coesão conceitual e consistência metodológica.

Os temas de nicho aparecem bem desenvolvidos, porém com baixa conexão ao núcleo. Runoff apresenta a maior densidade, 21,917, com centralidade 1,190 e 83 ocorrências, organizado em torno de runoff, flooding e floods. Surface temperature também se especializa, com densidade 18,159, centralidade 1,264 e 108 ocorrências, dominada por surface temperature, heat island e land surface temperature. No quadrante emergente, ou de baixa tração, aparece india, com centralidade 1,992, densidade 12,313 e 147 ocorrências,

associado a landsat, vegetation cover, ndvi e machine learning, o que delineia uma frente aplicada e localizada que ainda não se integra de forma consistente ao núcleo central.

3.2 Indicadores e operacionalização de variáveis para a análise territorial integrada

A Tabela 2 reúne indicadores operacionais, rastreáveis e comparáveis para quantificar urbanização, mudança do uso do solo e serviços ecossistêmicos com enfoque no planejamento urbano e regional. O conjunto prioriza métricas com respaldo empírico e uso recorrente na literatura, de modo que os resultados sejam replicáveis entre cidades, regiões e escalas de análise. Cada indicador define com precisão o construto avaliado e o vincula a decisões típicas de ordenamento territorial, controle da expansão, gestão de infraestrutura verde e avaliação de impactos.

Tabela 2 – Indicadores operacionais, fórmulas e variáveis consideradas para urbanização, mudança no uso do solo e serviços ecossistêmicos no planejamento urbano e regional

Table 2 – Operational indicators, formulae and variables considered for urbanisation, land-use change and ecosystem services in urban and regional planning

Indicador	Mede	Fórmula operativa	Variáveis consideradas	Autor
Urbanização				
Proporção de área construída	Pressão espacial da urbanização no território de análise	$PBA = \frac{A_{built}}{A_{total}}$	A_built, área construída ou impermeabilizada (km ²) A_total, área total do limite do estudo (km ²)	(Hassan & Ibrahim, 2024)
Taxa anual de expansão urbana	Velocidade de mudança da área urbana entre duas datas, comparável entre territórios	$r = \frac{\ln\left(\frac{A_2}{A_1}\right)}{t_2 - t_1} \times 100$	r, taxa de expansão anual (%) A1, área urbana em t1 (km ²) A2, área urbana em t2 (km ²) t1, ano inicial (ano) t2, ano final (ano) ln, logaritmo natural (sem unidade) 100, fator de conversão para porcentagem (sem unidade)	(Puyravaud, 2003)
NDBI	Intensidade relativa de superfícies construídas em imagens de satélite	$NDBI = \frac{SWIR - NIR}{SWIR + NIR}$	SWIR, refletância no infravermelho de onda curta (sem unidade) NIR, refletância no infravermelho próximo (sem unidade)	(Zha et al., 2003)
IBI	Delimitação de solo construído, reduzindo confusão com vegetação e água	$IBI = \frac{NDBI - \frac{NDVI + MNDWI}{2}}{NDBI + \frac{NDVI + MNDWI}{2}}$ $NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$ $MNDWI = \frac{Green - SWIR}{Green + SWIR}$	NDBI (sem unidade) NDVI (sem unidade) MNDWI (sem unidade) NIR, refletância infravermelha próxima (sem unidade) SWIR, refletância infravermelha de onda curta (sem unidade) Red, refletância vermelha (sem unidade) Green, refletância verde (sem unidade) 2, fator médio (sem unidade)	(Xu, 2008)

WUP	Intensidade de proliferação urbana, integrando quantidade urbanizada, dispersão e consumo de solo por habitante	$WUP = UP \cdot w(DIS) \cdot w(LUP)$ $LUP = \frac{A_{urban}}{Pop}$	UP, permeabilidade urbana (sem unidade)	(Jaeger & Schwick, 2014)
			DIS, dispersão do padrão urbano (sem unidade)	
			LUP, uso do solo por habitante (m ² .pessoa ⁻¹)	
			w(DIS), ponderação aplicada a DIS (sem unidade)	
Eficiência do uso do solo urbano	Relação entre expansão urbana e crescimento populacional, útil para avaliar sprawl e desempenho de políticas de solo	$LCR = \frac{\ln\left(\frac{U_2}{U_1}\right)}{t_2 - t_1}$ $PGR = \frac{\ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)}{t_2 - t_1}$ $LCRPGR = \frac{LCR}{PGR}$	w(LUP), ponderação aplicada a LUP (sem unidade)	(Han et al., 2020)
			Variáveis auxiliares para LUP	
			A _{urban} , área urbanizada (m ²)	
			Pop, população residente (pessoas)	
			U1, área urbana em t1 (km ²)	
			U2, área urbana em t2 (km ²)	
			P1, população em t1 (pessoas)	
			P2, população em t2 (pessoas)	
			t1, ano inicial (ano)	
			t2, ano final (ano)	
			ln, logaritmo natural (sem unidade)	
			LCR, taxa de consumo de solo (ano ⁻¹)	
Mudança líquida por classe	Ganho ou perda absoluta de uma cobertura, base para balanço territorial e metas de ordenamento	$\Delta A_i = A_{i,2} - A_{i,1}$	ΔA _i , variação líquida da área da classe i (km ²)	(Kantousan et al., 2010)
			A _{i1} , área da classe i em t1 (km ²)	
			A _{i2} , área da classe i em t2 (km ²)	
			i, classe de cobertura ou uso (categoria, sem unidade)	
Probabilidade de transição Markov	Estabilidade ou conversão entre classes, útil para cenários prospectivos	$p_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_j a_{ij}}$	p _{ij} , probabilidade de transição de i para j (sem unidade)	(Pontius Jr. & Li, 2010)
			a _{ij} , área que muda de i para j entre t1 e t2 (km ²)	
			Σ _j a _{ij} , soma das áreas que saem de i para todas as classes j (km ²)	
			i, classe de origem (categoria, sem unidade)	
			j, classe de destino (categoria, sem unidade)	
			κ, coeficiente kappa (sem unidade)	
Kappa de concordância	Qualidade da classificação de mapas de uso do solo, condição para inferência de mudanças	$\kappa = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e}$	P _o , concordância observada (proporção, sem unidade)	(Blume et al., 2018)
			P _e , concordância esperada por acaso (proporção, sem unidade)	

LEI	Tipo de crescimento urbano, preenchimento, borda ou isolado, útil para controle de expansão e zoneamento	$LEI = 100 \cdot \frac{A_0}{A_0 + A_v}$	LEI, índice (0 a 100) A ₀ , área de vizinhança da nova mancha urbana em contato com a área urbana pré-existente (m ²) A _v , área de vizinhança da nova mancha urbana em contato com a área não urbana (m ²) 100, fator de escala (sem unidade)	(Liu et al., 2010)
Tamanho de malha efetivo m _{eff}	Fragmentação do território por infraestrutura, barreiras ou urbanização, com efeito na conectividade	$m_{eff} = \frac{1}{A_{total}} \sum_k a_k^2$	m _{eff} , tamanho efetivo da malha (m ²) A _{total} , área total da paisagem (m ²) a _k , área da malha ou mancha k (m ²) k, índice da malha ou mancha (categoria, sem unidade)	(Jaeger, 2000)
Densidade de fragmentos PD	Intensidade de fragmentação pelo número de fragmentos por unidade de área	$PD = \frac{N}{A_{total}} \times 10,000 \times 100$	PD, densidade de manchas (manchas · 100 ha ⁻¹) N, número total de manchas (contagem, sem unidade) A _{total} , área total da paisagem (m ²) 10.000, conversão de m ² para ha (m ² · ha ⁻¹) 100, conversão para 100 ha (sem unidade)	(Shumin & Dandan, 2026)
Densidade de borda ED	Complexidade do mosaico e potencial efeito de borda, útil para avaliar pressão sobre habitats e corredores	$ED = \frac{E_{total}}{A_{total}} \times 10,000$	ED, densidade de borda (m · ha ⁻¹) E _{total} , comprimento total das bordas (m) A _{total} , área total da paisagem (m ²) 10.000, conversão de m ² para ha (m ² · ha ⁻¹)	(Zhang et al., 2026)
Serviços ecossistêmicos				
Valor dos serviços ecossistêmicos, ESV	Valor agregado de serviços ecossistêmicos estimado por área e valor unitário por cobertura	$ESV = \sum_k (A_k \cdot VC_k)$	ESV, valor total (US\$ · ano ⁻¹) A _k , área de cobertura ou bioma k (ha) VC _k , valor unitário (US\$ · ha ⁻¹ · ano ⁻¹) k, categoria de cobertura ou bioma (categoria, sem unidade)	(Tan et al., 2026)
Carbono total armazenado	Serviço de regulação climática por estoque de carbono espacializado	$C_{total} = \sum_{celda} [(C_{above} + C_{below} + C_{soil} + C_{dead}) \cdot A_{celda}]$	C _{total} , carbono total (Mg C) C _{above} , carbono da biomassa aérea (Mg C · ha ⁻¹) C _{below} , carbono da biomassa subterrânea (Mg C · ha ⁻¹) C _{soil} , carbono no solo (Mg C · ha ⁻¹) C _{morto} , carbono da matéria orgânica morta (Mg C · ha ⁻¹) A _{célula} , área da célula ou pixel (ha) célula, unidade espacial de cálculo (categoria, sem unidade)	(Li et al., 2023)
Rendimento hídrico anual	Oferta hídrica anual para bacias e sub-bacias sob cenários de uso do solo	$Y = P - AET$	Y, rendimento hídrico anual (mm · ano ⁻¹) P, precipitação anual (mm · ano ⁻¹)	(Redhead et al., 2016)

		AET, evapotranspiração real anual (mm·ano ⁻¹)	
Exportação de nutrientes para cursos d'água	Carga exportada para a rede hídrica, útil para avaliar depuração e medidas de controle	$L_{out} = \sum_{celda} (L_{load} \cdot NDR)$	L_out, carga total exportada (kg·ano ⁻¹) L_load, carga gerada por célula (kg·ano ⁻¹) NDR, razão de entrega para o curso de água (sem unidade) célula, unidade espacial de cálculo (categoria, sem unidade) (Redhead et al., 2018)
Remoção de contaminantes do ar por vegetação	Remoção por deposição, suporte para infraestrutura verde	$F = V_d \cdot C$	F, fluxo de remoção (µg·m ⁻² ·s ⁻¹) V_d, velocidade de deposição (m·s ⁻¹) C, concentração do contaminante (µg·m ⁻³) (Nowak et al., 2006)
Mitigação da ilha de calor urbana	Efeito da infraestrutura verde na redução térmica, útil para desenho urbano e adaptação climática	$\Delta T = T_{noGI} - T_{withGI}$	ΔT, redução da temperatura (°C) T_semIG, temperatura sem infraestrutura verde (°C) T_comIG, temperatura com infraestrutura verde (°C) (Wang & Huang, 2026)
Índice de conectividade hidrossedimentar, IC	Conectividade do escoamento superficial e potencial transporte de sedimentos, suporte para controle de erosão e planejamento de bacias urbanas	$IC = \log_{10} \left(\frac{D_{up}}{D_{dn}} \right)$ $D_{up} = \bar{W} \cdot \bar{S} \cdot \sqrt{A}$ $D_{dn} = \sum_i \left[\frac{d_i}{W_i \cdot S_i} \right]$	IC, índice de conectividade (sem unidade) D_up, componente ascendente (m) D_dn, componente descendente (m) A, área contribuinte ascendente (m ²) √A, raiz quadrada de A (m) W̄, fator médio de ponderação ascendente por cobertura ou rugosidade (sem unidade) S̄, inclinação média ascendente (m·m ⁻¹) d_i, comprimento do segmento i na trajetória descendente em direção ao sumidouro ou leito (m) W_i, fator de ponderação do segmento i (sem unidade) S_i, inclinação do segmento i (m·m ⁻¹) Σ_i, soma ao longo da trajetória descendente (sem unidade) log ₁₀ , logaritmo base 10 (sem unidade) (Borselli et al., 2008)

Fonte: Elaborado pelos autores

Source: Prepared by the authors

Em urbanização, os indicadores capturam intensidade e dinâmica do crescimento urbano por razões de área e taxas baseadas em logaritmos, e fortalecem a detecção espacial com índices espectrais aplicáveis ao sensoriamento remoto. Isso permite medir tanto o aumento do solo construído quanto seu padrão espacial, aspecto central para diagnosticar dispersão e consumo de solo. Em mudança do uso do solo, combinam-se métricas de balanço por classe, transições entre coberturas e desempenho de classificação, juntamente com medidas de fragmentação e tipo de expansão. Essa integração permite distinguir mudanças líquidas de

mudanças estruturais e, ao mesmo tempo, avaliar configurações da paisagem associadas a conectividade, bordas e pressões sobre áreas periurbanas.

Em serviços ecossistêmicos, os indicadores cobrem provisão e regulação, incluindo valoração econômica, estoque de carbono, rendimento hídrico, exportação de nutrientes, remoção de contaminantes atmosféricos e mitigação térmica. Com isso, a evidência vai além do mapeamento de coberturas e traduz mudanças territoriais em efeitos funcionais relevantes para bem-estar, adaptação e gestão de risco.

4. Discussão

A leitura integrada do desempenho bibliométrico indica que o campo consolidou volume, continuidade temporal e diversidade disciplinar, e avançou para uma agenda orientada a problemas de decisão (Bhuin & Yarrakula, 2026; Ng et al., 2026). Esse movimento acompanha a incorporação de marcos de valoração e de relevância social dos serviços ecossistêmicos, que estabilizaram a linguagem do campo e ampliaram sua interface com políticas e planejamento (Mhelembe et al., 2026). A convergência entre crescimento sustentado de publicações, amplitude documental e cooperação científica observadas nas Figuras 1 e 2 sustenta um deslocamento de diagnósticos descritivos para análises capazes de avaliar impactos, compensações e cenários (A. Das et al., 2026; Lu et al., 2026). Esse trânsito é central para o planejamento urbano e regional, no qual a evidência precisa sustentar comparações espaciais e temporais com critérios explícitos, rastreáveis e reproduzíveis (Zhang et al., 2026). Nessa direção, o campo passa a demandar protocolos que conectem mapas, modelos e indicadores a decisões territoriais específicas, como adensamento, contenção de expansão e priorização de infraestrutura verde (Jiang et al., 2026).

A estrutura de autoria reforça a necessidade de cautela epistemológica e metodológica. A combinação entre concentração moderada de produtividade e predominância de contribuições únicas, evidenciada nas Figuras 3 e 4, sugere abertura temática com risco de fragmentação conceitual (Aghazadeh et al., 2026). Em campos com alta entrada de novos grupos, é comum coexistirem definições concorrentes e escolhas operacionais distintas para medir o mesmo construto, o que desloca a divergência do plano conceitual para o plano de mensuração (Noort et al., 2026). Em termos operacionais, essa condição explica a coexistência de métricas heterogêneas para urbanização, mudança do uso do solo e serviços ecossistêmicos, mesmo quando se analisam fenômenos similares (Deng et al., 2026; Rahmat et al., 2026). Para o planejamento, a consequência é direta. Integrar resultados torna-se complexo quando os estudos não alinham definições operacionais, escalas e unidades (Cuchi et al., 2026). Assim, a padronização de indicadores emerge como requisito técnico para converter evidência dispersa em insumos comparáveis (Ahmed & Jahan, 2026). Essa necessidade se torna mais evidente quando estudos articulam cadeias modelagem-índice-valoração, nas quais pequenas diferenças de classificação, resolução espacial ou parâmetros mudam a magnitude final do efeito reportado (Rega et al., 2026).

O padrão editorial mostrado nas Figuras 5 e 6 confirma que a difusão do conhecimento ocorre em um sistema de periódicos com padrões variados; essa dispersão amplia o alcance interdisciplinar e facilita a transferência para comunidades de solo, sustentabilidade, modelagem e políticas públicas. Ao mesmo tempo, aumenta a variabilidade nas práticas de reporte (Hasan et al., 2026; Lai & Zoppi, 2026). Em um campo no qual a replicabilidade depende de equações, resoluções espaciais, períodos de análise e pressupostos de classificação, a omissão de detalhes metodológicos reduz a reutilização dos resultados (Gatty et al., 2025; He et al., 2026). Parte do amadurecimento recente do campo está associada a estudos que investem em validação empírica e transparência de parâmetros, sobretudo quando modelos passam a ser usados como suporte a políticas, como ocorre nas aplicações e validações do InVEST em escalas nacionais (Chow et al., 2026). A discussão bibliométrica indica que o progresso futuro dependerá de práticas editoriais mais consistentes na declaração de métodos e pressupostos, condição indispensável para a síntese aplicada (Bhuin & Yarrakula, 2026). Nesse ponto, a fluidez da agenda depende menos de novas ferramentas e mais de padrões de reporte

que permitam comparação direta entre estudos. Nesse ponto, a fluidez da agenda depende menos de novas ferramentas e mais de padrões de reporte que permitam comparação direta entre estudos (Fan et al., 2026).

As assimetrias geográficas observadas nas Figuras 7 e 8 não refletem apenas desigualdade de capacidade científica. Elas também expressam prioridades de pesquisa associadas a contextos específicos de urbanização, marcos regulatórios e disponibilidade de dados (Sun et al., 2026). A concentração da produção em certos países tende a coincidir com maior acesso a sensores remotos, séries temporais extensas e tradição em modelagem espacial (Yan et al., 2026). Esse padrão introduz vieses quando se extrapolam resultados para regiões com trajetórias urbanas distintas. Do ponto de vista do planejamento, a evidência reforça a necessidade de estudos comparativos que explicitem limites de validade, documentem contextos institucionais e adaptem indicadores a realidades ambientais diversas (A. Das et al., 2026; N. Li et al., 2025). Isso inclui explicitar o que é transferível entre cidades e o que depende do regime de governança, do sistema de dados e do tipo de urbanização, compacta, dispersa ou policêntrica, por exemplo (Martínez-Ripoll et al., 2026).

A evolução temática identificada nas Figuras 9, 10 e 11 mostra integração progressiva entre processos biofísicos e marcos de decisão. O fortalecimento de termos associados a sensoriamento remoto, análise espacial e avaliação de cenários indica um giro para ferramentas operacionais (Miao et al., 2025). Esse giro responde à demanda do planejamento urbano e regional, que requer métricas capazes de avaliar impactos cumulativos da mudança do uso do solo sobre a provisão de serviços ecossistêmicos (Handore, 2025; Marando et al., 2022). Em termos práticos, a convergência metodológica aparece quando estudos combinam simulação de transições de uso do solo e módulos de serviços, como o acoplamento de PLUS e InVEST para carbono e habitat, com maior capacidade de produzir cenários comparáveis e discutíveis em instrumentos de ordenamento (Bae et al., 2026). Ainda assim, a discussão mostra que a adoção de ferramentas avançadas nem sempre se acompanha de critérios homogêneos de validação, o que limita a comparação entre estudos e contextos (Arsiso, 2025). O campo ganha poder explicativo quando explicita incerteza, calibração e validação, e perde força quando trata cenários como resultados finais sem auditoria dos pressupostos (Laumonier et al., 2026).

A análise histórica de referências, refletida na Figura 12, ajuda a explicar a coexistência entre fundamentos conceituais estáveis e rápida inovação metodológica; essa dualidade aporta solidez teórica, mas gera descontinuidades na mensuração quando novos enfoques substituem métricas anteriores sem testes de equivalência (Fakana et al., 2025; Pan et al., 2025). Esse ponto se torna crítico em séries temporais e comparações entre cidades, quando mudanças observadas podem refletir mudança de método e não mudança real do sistema (Lovrics et al., 2026). Para o planejamento, comparar períodos ou cidades exige controles de consistência que permitam distinguir mudanças reais de efeitos metodológicos; sem esses controles, aumenta de forma significativa o risco de interpretar artefatos como tendências reais (Lyu & Li, 2025). Uma implicação é que estudos com maior influência tendem a ser aqueles que combinam inovação com continuidade de métricas e com testes de sensibilidade, porque permitem acumulação de evidência ao longo do tempo (Aghazadeh et al., 2026).

A organização temática mostrada na Figura 13 confirma a centralidade dos serviços ecossistêmicos como eixo integrador do campo, com subcampos densos e baixa articulação transversal (Rahmat et al., 2026). Essa estrutura indica que o conhecimento avança em profundidade em temas específicos, como clima urbano, hidrologia ou biodiversidade, mas requer marcos de síntese que conectem resultados biofísicos a instrumentos de ordenamento territorial (Manna et al., 2025; Rahmat et al., 2026). Para o planejamento urbano e regional, esse achado destaca um desafio central; traduzir evidência especializada em regras de decisão exige integrar indicadores, escalas e objetivos de política em um mesmo marco analítico (Lai & Zoppi, 2026; Reyes-Sánchez et al., 2025). A evidência mais útil para decisão tende a combinar indicadores de forma coerente, por exemplo, expansão urbana, fragmentação e perdas de serviços, e não apenas aprofundar um único domínio sem conexão com objetivos de política (Yan et al., 2026).

Nesse cenário, a Tabela 2 assume papel estratégico como ponte entre a estrutura intelectual do campo e seu uso operacional. Ao reunir indicadores de urbanização, transição do uso do solo, fragmentação e serviços ecossistêmicos com fórmulas e unidades explícitas, ela viabiliza auditoria de cálculos, replicabilidade e comparações entre escalas (Hasan et al., 2026; Hassan & Ibrahim, 2024). Esse tipo de padronização dialoga com métricas já consolidadas para caracterizar dispersão urbana e eficiência do uso do solo, e cria condições para que estudos distintos se tornem comparáveis sem perda do contexto local (A. Das et al., 2026; Lu et al., 2026). Essa operacionalização permite avançar de mapas e narrativas para métricas verificáveis para avaliar alternativas de adensamento, controle da expansão, conservação periurbana e desenho de soluções baseadas na natureza; seu valor reside em traduzir a síntese bibliométrica em instrumentos aplicáveis sem perder rigor (Altuwaijri et al., 2025; Arsiso, 2025).

5. Conclusão

A análise bibliométrica confirma que a pesquisa sobre urbanização, mudança do uso do solo e serviços ecossistêmicos no planejamento urbano e regional atingiu um nível de desenvolvimento sólido e acelerado. O corpus reuniu 676 documentos publicados entre 2007 e 2026, distribuídos em 214 fontes, com taxa anual de crescimento de 11,19%. A produção recente concentrou-se em 2022 a 2025, com 57,5% dos artigos, e 2025 alcançou 146 publicações, o que caracteriza uma transição de enfoques exploratórios para uma agenda aplicada e orientada a decisões territoriais.

A estrutura do campo caracteriza-se por elevada colaboração científica. O conjunto agregou 2.685 autores, média de 4,51 coautores por documento e 32,69% de coautoria internacional, enquanto a autoria única ficou restrita a 17 documentos. Ao mesmo tempo, 90,5% dos autores publicaram apenas um estudo, e a distribuição observada apresentou desajuste em relação à Lei de Lotka. Esse padrão indica ampla entrada de equipes e reforça o risco de fragmentação metodológica quando definições operacionais, escalas e unidades variam entre estudos.

A difusão do conhecimento combinou concentração e dispersão. O núcleo editorial reuniu 8 periódicos responsáveis por 33,6% do corpus, porém a literatura manteve ampla capilaridade em muitas fontes, o que sustenta interdisciplinaridade e heterogeneidade de reporte. O impacto médio foi de 31,34 citações por documento, com idade média de 4,68 anos, o que descreve influência recente. A liderança geográfica também se mostrou concentrada. A China liderou a produção com 320 documentos, seguida pelos Estados Unidos com 93 e pela Índia com 58, delineando polos de evidência que condicionam a transferibilidade para regiões com trajetórias urbanas e disponibilidade de dados distintas.

Do ponto de vista intelectual e temático, a RPYS evidenciou raízes conceituais e metodológicas que sustentam a agenda atual, enquanto o mapa temático posicionou os serviços ecossistêmicos como eixo articulador do campo e destacou frentes recentes em sensoriamento remoto, modelagem de cenários e clima urbano. Nesse contexto, a sistematização de indicadores operacionais, rastreáveis e comparáveis fortalece a tradução da evidência científica em instrumentos de ordenamento territorial, investimento público e resiliência urbana, com métricas consistentes para avaliar impactos e comparar alternativas de planejamento urbano e regional.

6. Referências

Aghazadeh, F., Rahimi, A., Ioja, C., Tahooni, M., Asadzadeh Akbari, M., Ondrejicka, V., & Finka, M. (2026). Assessing land use changes effect on urban green spaces and built-up areas summer cooling capacity. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 23(2). <https://doi.org/10.1007/s13762-025-06968-3>

- Ahmed, T., & Jahan, I. (2026). Geospatial simulation of land use change and ecosystem services in Chattogram, Bangladesh using PLUS model (2000–2060). **International Journal of Environmental Science and Technology**, 23(1). <https://doi.org/10.1007/s13762-025-06791-w>
- Altuwaijri, H. A., Kafy, A. A., Rahaman, Z. A., Miah, M. T., Raiyan, R., Nath, H., & Jodder, P. K. (2025). Predicting Spatiotemporal Dynamics of Land Use Influenced Thermal Patterns Using Remote Sensing-based Machine Learning Algorithms. **Rangeland Ecology and Management**, 103, 8-27. <https://doi.org/10.1016/j.rama.2025.06.017>
- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2024). **bibliometrix: Comprehensive Science Mapping Analysis [Software]**. <https://cran.r-project.org/web/packages/bibliometrix/index.html>
- Arsiso, B. K. (2025). Urban land cover transformations and thermal dynamics through integrated LULC, UHI, and ecological vulnerability assessment using remote sensing indices in the City of Addis Ababa, Ethiopia. **Sustainable Cities and Society**, 135. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2025.107017>
- Bae, J. Y., Teitelbaum, E., Jacoby, S. F., & Aviv, D. (2026). Community-based solar-powered and open-air cooling shelter for urban heat mitigation. **Sustainable Cities and Society**, 137. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2026.107153>
- Bellido-Valdiviezo, O., Cardoza-Sernaqué, M. A., Cardoza-Sernaqué, L. S., Gamarra-Mendoza, S., Estrada-Espinoza, J. A., Torres-Solano, C. G., Bolaño García, M., & Zavala Palacios, A. (2023). **Digital Citizenship: A bibliographic Review of the Publications in Scopus from 2017 to 2022. 2023-July**. Scopus.
- Bhuin, P., & Yarrakula, K. (2026). Spatiotemporal dynamics of land use transitions and surface thermal patterns in the Mahananda river basin. **Theoretical and Applied Climatology**, 157(1). <https://doi.org/10.1007/s00704-025-05996-w>
- Bizuayehu, G., Gashu, K., & Debebe, B. (2025). Urban green space ecosystem service value under land use/land cover change dynamics in Gondar City, Northwest Ethiopia. **Urban Agriculture and Regional Food Systems**, 10(1). <https://doi.org/10.1002/uar2.70033>
- Blume, J., Ruano, A. L., Wang, S., Jackson, D. J., Tylleskär, T., & Strand, L. I. (2018). Oral medicine acceptance in infants and toddlers: Measurement properties of the caregiver-administered Children's acceptance tool (CareCAT). **BMC Pediatrics**, 18(1). <https://doi.org/10.1186/s12887-018-1080-4>
- Borselli, L., Cassi, P., & Torri, D. (2008). Prolegomena to sediment and flow connectivity in the landscape: A GIS and field numerical assessment. **Catena**, 75(3), 268-277. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2008.07.006>
- Chow, F. C., Granerod, J., Kim, C. Y., Nurye, T., & Thakur, K. T. (2026). The global threat of vaccine-preventable neurological diseases. **Nature Reviews Neurology**, 22(2), 110-122. <https://doi.org/10.1038/s41582-025-01172-w>
- Cuchi, T., Martins-Neto, R. P., & Bobrowski, R. (2026). From the Capital to the Interior: Urban Planning's Impact on Forests and Landscape Metrics in South Brazil. **Land Degradation and Development**, 37(1), 104-119. <https://doi.org/10.1002/ldr.70098>
- Das, A., Poddar, S., Mallick, J., Hang, H. T., & Talukdar, S. (2026). Urban ecological risk and social vulnerability assessment for equitable climate resilience planning in Siliguri, India. **Sustainable Cities and Society**, 136. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2025.107113>

- Das, S., Sarkar, P. P., Hossain, M., Islam, J., Mithun, Sk., Chatterjee, U., & Ghosh, A. (2026). Urban dynamics and its impact on urban ecosystem services: A study of Asansol Municipal Corporation. **Discover Applied Sciences**, 8(1). <https://doi.org/10.1007/s42452-025-07984-1>
- Deng, K., Zhang, Y., Chen, J., Meng, Z., & Luo, Y. (2026). Coupled PMF and urban–rural gradient index (URGI) analysis for source apportionment of heavy metals in surface water: A case study of the Fu River, China. **Environmental Geochemistry and Health**, 48(2). <https://doi.org/10.1007/s10653-025-02974-z>
- Fakana, S. T., Yaliso, A. Y., Falt, F. F., & Fakana, M. M. (2025). Dynamics of ecosystem services values in response to land use land cover change in Wolaita Zone, Ethiopia. **Environmental Systems Research**, 14(1). <https://doi.org/10.1186/s40068-025-00437-z>
- Fan, B. E., Tan, J. H. M., & Tan, D. S.-Y. (2026). COVID-19 and Anticoagulant Use: Did the Pandemic Push DOACs Ahead of Warfarin? **Seminars in Thrombosis and Hemostasis**, 52(1), 139-143. <https://doi.org/10.1055/a-2667-6770>
- Feng, L., Jiang, J., Hu, J., & Chen, T. (2025). Predicting the impact of dynamic global urban expansion on urban soil organic carbon. **Scientific Reports**, 15(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-85753-1>
- García, L. K. O., Alayo, W. M. H., Taboada, S. L. V., & Benites, N. I. P. (2025). Bibliometric analysis on bridging the digital divide among university students: trends and prospects. **Revista Conhecimento Online**, 1, 193-220. Scopus. <https://doi.org/10.25112/rco.v1.3963>
- Gatty, D. C. R., Veiga, J. C., Pereira, D. S., & Contrera, F. A. L. (2025). Unfavorable urban climatic conditions affects colony performance of an amazonian stingless bee (Apidae: Meliponini). **Insectes Sociaux**, 72(4), 487-498. <https://doi.org/10.1007/s00040-025-01030-4>
- Gebru, M., Holden, S. T., & Tilahun, M. (2019). Tenants' land access in the rental market: Evidence from northern Ethiopia. **Agricultural Economics (United Kingdom)**, 50(3), 291-302. <https://doi.org/10.1111/agec.12484>
- Han, S., Sun, B., & Zhang, T. (2020). Mono- and polycentric urban spatial structure and PM2.5 concentrations: Regarding the dependence on population density. **Habitat International**, 104. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2020.102257>
- Handore, K. (2025). Assessing Impacts of Urban Expansion on Carbon Stock and Sequestration for Kokan Division, Maharashtra, India. **Environmental Research, Engineering and Management**, 81(4), 7-20. <https://doi.org/10.5755/j01.erem.81.4.41315>
- Hasan, F., Makhtoumi, Y., & Chen, G. (2026). Impact of Land Use and Land Cover Changes on Ecosystem Services: A Multi-Module InVEST-LCM Analysis. **Earth Systems and Environment**. <https://doi.org/10.1007/s41748-025-00995-3>
- Hassan, A. D., & Ibrahim, M. M. (2024). From space to place: Mapping poverty in Turkish regions with NASA's global gridded relative deprivation index. **Spatial Information Research**, 32(5), 541-555. <https://doi.org/10.1007/s41324-024-00579-9>
- He, C., Liu, Z., Gou, S., Zhang, Q., Zhang, J., & Xu, L. (2019). Detecting global urban expansion over the last three decades using a fully convolutional network. **Environmental Research Letters**, 14(3). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaf936>

- He, C., Xie, W., & Li, H. (2026). Dynamic Changes and Prediction of Land Use Driven by Socioeconomic Activities in Bazhong City, Southwest China (2004–2024). **Sustainability (Switzerland)**, 18(1). <https://doi.org/10.3390/su18010073>
- Jaeger, J. A. G. (2000). Landscape division, splitting index, and effective mesh size: New measures of landscape fragmentation. **Landscape Ecology**, 15(2), 115-130. <https://doi.org/10.1023/A:1008129329289>
- Jaeger, J. A. G., & Schwick, C. (2014). Improving the measurement of urban sprawl: Weighted Urban Proliferation (WUP) and its application to Switzerland. **Ecological Indicators**, 38, 294-308. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.11.022>
- Jiang, X., Li, Y., & Zhao, X. (2026). Addressing ocean noise pollution in the artificial intelligence era: Regulatory challenges and future responses. **Marine Policy**, 186. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2025.107021>
- Kaminsky, E., Griebler, C., Englisch, C., Steiner, C., Formanek, C., Buga-Nyéki, E., Knoeller, K., Laaha, G., Sandén, H., & Stumpp, C. (2025). Recharge and redox processes drive urban groundwater quality in Vienna's shallow aquifers. **Journal of Hydrology**, 662. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2025.133931>
- Kantoussan, J., Marc Ecoutin, J., Fontenelle, G., Morais, L. T. de, & Laë, R. (2010). Ecological indicators based on trophic spectrum as a tool to assess ecosystems fishing impacts. **Ecological Indicators**, 10(5), 927-934. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.02.002>
- Khired, Z. A., & Taha, M. M. E. (2026). Mapping the integration of artificial intelligence in knee replacement surgery: A data-driven bibliometric analysis with emphasis on robotic innovation. **Journal of Robotic Surgery**, 20(1). <https://doi.org/10.1007/s11701-025-03103-9>
- Koenig, X. G. H., Meisel, N., & Deenapanray, P. N. K. (2026). Generating societal value from natural capital on corporate-owned land: A real estate case study from Mauritius. **Journal of Environmental Management**, 398. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.128418>
- Lai, S., & Zoppi, C. (2026). Role of Spatial Planning in Addressing Climate Challenges: A Study Concerning the Functional Urban Area of Cagliari. En SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology: Part F1115 (pp. 115-126). **Springer Science and Business Media Deutschland GmbH**. https://doi.org/10.1007/978-3-032-06617-6_10
- Laumonnier, J., Alcouffe, L., Vendittelli, F., Covis, S., Bernard, S., Nacher, M., Elenga, N., & Osei, L. (2026). Perinatal challenges for mothers of Haitian origin and their newborns in French Guiana: A historical cohort from 2013 to 202. **BMJ Open**, 16(1). <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2024-098713>
- Li, N., Feng, Y., Diao, W., Sun, X., Cheng, L., & Fu, K. (2025). DeepGolf: A fine-grained perception framework for golf course distribution in the real world based on multi-source remote sensing data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 136. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2025.104394>
- Li, P., Chen, J., Li, Y., & Wu, W. (2023). Using the InVEST-PLUS Model to Predict and Analyze the Pattern of Ecosystem Carbon storage in Liaoning Province, China. **Remote Sensing**, 15(16). <https://doi.org/10.3390/rs15164050>

- Li, P.-C., Dey, S., & Merwade, V. (2025). Analyzing the effects of data splitting and covariate shift on machine learning based streamflow prediction in ungauged basins. **Journal of Hydrology**, 653. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2025.132731>
- Lovrics, O., Kirkwood, D., Coroneos, C. J., Pond, G., Hodgson, N., Doumouras, A. G., Bogach, J., Levine, M., & Parvez, E. (2026). Reconstructive surgery and immigration status among females with breast cancer. **Canadian Journal of Surgery**, 69(1), E38-E47. <https://doi.org/10.1503/cjs.012324>
- Liu, X., Li, X., Chen, Y., Tan, Z., Li, S., & Ai, B. (2010). A new landscape index for quantifying urban expansion using multi-temporal remotely sensed data. **Landscape Ecology**, 25(5), 671-682. <https://doi.org/10.1007/s10980-010-9454-5>
- Lu, J., Liu, X., Zhu, D., & Zhang, S. (2026). Unveiling multiscale and nonlinear effects of land use change drivers through interpretable machine learning model: Insights from “Ecological-cost and Economic-benefit” trade-off perspective. **Environmental Impact Assessment Review**, 118. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2025.108254>
- Luna-Morales, M. E., Pérez-Angón, M. Á., & Luna-Morales, E. (2023). Strengthen of a Scientific Field in Latin America: Evolutionary Computation. **Journal of Scientometric Research**, 12(2), 264-274. Scopus. <https://doi.org/10.5530/jscires.12.2.025>
- Lyu, K., & Li, Z. (2025). Scenario based assessment of carbon storage and habitat quality under land use change in Shandong Province China. **Scientific Reports**, 15(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-25097-y>
- Manna, S., Chattopadhyay, D., Das, S., & Singh, T. P. (2025). Urban heat island assessment with LST-LULC change analysis using Google Earth Engine in Delhi-NCR. En J. Um, A. Nath, B. Koley, & T. Choudhury (Eds.), **Geospatial Techniques in Climate Change Monitoring and Environmental Mapping: Advances and Applications** (pp. 129-157). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-36396-2.00003-2>
- Marando, F., Heris, M. P., Zulian, G., Udías, A., Mentaschi, L., Chrysoulakis, N., Parastatidis, D., & Maes, J. (2022). Urban heat island mitigation by green infrastructure in European Functional Urban Areas. **Sustainable Cities and Society**, 77. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103564>
- Martínez-Ripoll, J. M., de la Fuente Robles, Y., & García-Domingo, M. (2026). The segmentation of the Argentine healthcare system in the care of patients with epidermolysis bullosa: Challenges and proposals for a comprehensive model. **Journal of Community Genetics**, 17(1). <https://doi.org/10.1007/s12687-025-00840-0>
- McDonald, R. I., Güneralp, B., Huang, C.-W., Seto, K. C., & You, M. (2018). Conservation priorities to protect vertebrate endemics from global urban expansion. **Biological Conservation**, 224, 290-299. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.06.010>
- Mhelembe, T., Ramroop, S., & Habyarimana, F. (2026). Determinants of childhood anaemia in Nigeria: A public health perspective using quantile regression analysis. **BMC Public Health**, 26(1). <https://doi.org/10.1186/s12889-025-25989-8>
- Miao, L., Wang, J., Wu, K., Xu, H., Sun, X., Lu, G., & Kwan, M.-P. (2025). Spatiotemporal hybrid deep learning for estimating and analyzing carbon stocks: A case study in Jiangsu province, China. **International Journal of Digital Earth**, 18(1). <https://doi.org/10.1080/17538947.2025.2534008>

- Mir, K., & Brouwer, R. (2025). Testing the effect of ecosystem service and land classification on global values of forested watershed ecosystem services. **Forest Policy and Economics**, 181. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2025.103667>
- Moid, A., Raza, M. M., Javed, M., & Jahan, K. (2025). Global research mapping in records and archives management: An investigation. **Global Knowledge, Memory and Communication**, 74(9-10), 2946-2961. <https://doi.org/10.1108/GKMC-08-2023-0307>
- Ng, Y. L., Lim, M. H., Huang, Y. F., & Lee, Y. L. (2026). Thermal intensification and urban land cover change in Southeast Asian capitals: Over three decades of satellite observations and trend analysis. **Npj Urban Sustainability**, 6(1). <https://doi.org/10.1038/s42949-025-00315-8>
- Noort, C. van, Prall, M. C., Asif, F., & Coelho, N. F. (2026). Conceptualizing the interplay between blue justice, blue economy, and blue governance. **Marine Policy**, 184. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2025.106939>
- Nowak, D. J., Crane, D. E., & Stevens, J. C. (2006). Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. **Urban Forestry and Urban Greening**, 4(3-4), 115-123. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2006.01.007>
- Osemwegie, O. O., Olaniran, A. F., Folorunsho, J. O., Nwonuma, C. O., Ojo, O. A., Adetunde, L. A., Alejlowo, O. O., Oluba, O. M., & Daramola, F. Y. (2023). Preliminary bibliometrics of plant-derived health foods over the last decade in the scopus database. **African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development**, 23(8), 24363-24382. Scopus. <https://doi.org/10.18697/ajfand.123.22765>
- Palafox-Juárez, E. B., Callejas-Jiménez, M. E., Herrera-Silveira, J. A., Teutli-Hernández, C., Camacho-Valdez, V., & López-Martínez, J. O. (2025). Effects of land use change on ecosystem services in freshwater wetlands in Bacalar, Mexico. **PeerJ**, 13(3). <https://doi.org/10.7717/peerj.18954>
- Pan, H., Han, X., Zhu, J., Lv, L., & Wang, X. (2025). Incorporating Future Ecosystem Services to Assess the Progress of Sustainable Development Goals in Southern Jiangsu, China. **Land**, 14(11). <https://doi.org/10.3390/land14112295>
- Pontius Jr., R. G., & Li, X. (2010). Land transition estimates from erroneous maps. **Journal of Land Use Science**, 5(1), 31-44. <https://doi.org/10.1080/17474230903222473>
- Puyravaud, J.-P. (2003). Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. **Forest Ecology and Management**, 177(1-3), 593-596. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00335-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00335-3)
- Rahmat, S., Rashid, M., & Mithun, S. (2026). From Green to Grey: The Effect of Urbanization on Biophysical Landscape of Delhi. **International Journal of Environmental Research**, 20(1). <https://doi.org/10.1007/s41742-025-00964-8>
- Redhead, J. W., May, L., Oliver, T. H., Hamel, P., Sharp, R., & Bullock, J. M. (2018). National scale evaluation of the InVEST nutrient retention model in the United Kingdom. **Science of the Total Environment**, 610-611, 666-677. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.092>
- Redhead, J. W., Stratford, C., Sharps, K., Jones, L., Ziv, G., Clarke, D., Oliver, T. H., & Bullock, J. M. (2016). Empirical validation of the InVEST water yield ecosystem service model at a national scale. **Science of the Total Environment**, 569-570, 1418-1426. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.227>

- Refsnider, J. M., Santoro, A., Gordon, K. A., Sturm, A. L., & Beatty, S. J. (2026). A Comparison of Immune Function and Physiological Stress in Three Populations of the Southwestern Snake-Necked Turtle (*Chelodina oblonga*) Along an Urbanisation Gradient. **Austral Ecology**, 51(1). <https://doi.org/10.1111/aec.70173>
- Rega, E., Wittemans, K., Lee, M. K., Aerts, R., Dewaelheyns, V., & Somers, B. (2026). The urban green equity index: A supply-demand framework for evaluating health-relevant urban green space equity. **Urban Forestry and Urban Greening**, 118. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2026.129289>
- Reyes-Sánchez, J. D. J., Ortega, S. N. T., Luján, J. M. B., García-Camacho, M. A., & Davalos, J. P. R. (2025). Strengthening Strategic Competencies for Decision-Making in the Construction of a Sustainable and Resilient Future. En C. R. Gh. Popescu (Ed.), Addressing Sustainable Development Goals Through Competency-Based Education (pp. 213-240). **IGI Global**. <https://doi.org/10.4018/979-8-3373-3720-3.ch008>
- Rochner, M. L., Moriarty, K. J., & Weatherbee, S. (2025). Dendrochronological analyses of tree growth and climate response across an urban-rural gradient, Louisville, Kentucky. **Urban Forestry and Urban Greening**, 104. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2024.128592>
- Saiful Islam, A. H. M., Monirul Islam, Md., Jannat, A., Shishir Ahamed, M., & Shahriar, S. M. (2026). Beyond rainfall and fertilizer: Autoregressive distributed lag insights on population, greenhouse gas emissions, and wheat sustainability in Bangladesh. **Environmental and Sustainability Indicators**, 29. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2025.101098>
- Sakala, D., & Santos, M. J. (2025). Projected land-use change emissions surpass climate change-induced carbon sinks in Sub-Saharan African biomes. **Global Environmental Change**, 94. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2025.103039>
- Shania Mathew, M., Ramli, N., & Mohamed Noor, N. (2025). Linking urban tree coverage with PM10 and PM2.5 pollution concentration in Malaysia. **E3S Web Conf.**, 659. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202565901005>
- Shumin, L., & Dandan, M. (2026). Integrating Ecological Function Evaluation Into Rural Revitalization: A Sustainable Development Model Of Cultural And Environmental Synergy. **Journal of Applied Science and Engineering**, 30. https://doi.org/10.6180/jase.202607_30.002
- Sulphey, M. M., AlKahtani, N. S., Senan, N. A. M., & Adow, A. H. E. (2024). A bibliometric study on organization citizenship behavior for the environment. **Global Journal of Environmental Science and Management**, 10(2), 891-906. Scopus. <https://doi.org/10.22035/gjesm.2024.02.29>
- Sun, X., Li, G., Ren, X., Zhang, M., Wang, J., Zhao, Q., Wang, L., & Gong, Y. (2026). Multi-scenario simulation and driving mechanisms of carbon storage under urban expansion: A case study of the alluvial/sedimentary sand land in the ancient course of the Yellow River. **Modeling Earth Systems and Environment**, 12(1). <https://doi.org/10.1007/s40808-025-02601-x>
- Tadesse, T. A., Ayele, N. A., Reda, T. M., & Jothimani, M. (2025). Assessing urban heat island effects in Addis Ababa, Ethiopia using remote sensing and LULC analysis: Implications for sustainable development. **Scientific African**, 30. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2025.e03081>
- Taha, M. M. E., Abdelwahab, S. I., Sahli, K. A., Assiri, A., Farasani, A., Qadri, M., Alarifi, A., Khardali, A., Moshi, J. M., Alshahrani, S., & Shubaily, H. M. (2026). Global bibliometric analysis of molecular imaging-

- guided robotic-assisted surgery: Publication dynamics, thematic evolution, authorship patterns, and disciplinary landscape development (1982–2025). **Journal of Robotic Surgery**, 20(1). <https://doi.org/10.1007/s11701-025-03039-0>
- Tan, J., Zhu, D., Han, Y., Liu, W., & Mu, Y. (2026). Economic valuation of ecosystem service bundles based on landscape pattern evolution in karst plateaus. **Ecological Indicators**, 182. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.114543>
- Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2024). **VOSviewer—Visualizing scientific landscapes (Versión 1.6.20) [Software]**. Centre for Science and Technology Studies (CWTS). <https://www.vosviewer.com/>
- Vannucci, P. F., Kianmehr, A., Pawlak, C. C., Faiola, C. L., Wilson, J. P., & Berelson, W. M. (2025). The role of urban forest composition in modulating summertime air quality in Los Angeles. **Science of the Total Environment**, 1003. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.180715>
- Wang, J., & Huang, T. (2026). Urban Heat Island Mitigation and Indoor Comfort: A Cost-Effectiveness Analysis of Green Building Solutions for China's Cities. **Solar Energy**, 305. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2025.114232>
- Waylen, K., Patil, I., & Carmen, E. (2026). Can natural capital help national-level policy-makers to embed sustainability considerations? Insights from Scotland. **Ecological Economics**, 240. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2025.108815>
- Xu, H. (2008). A new index for delineating built-up land features in satellite imagery. **International Journal of Remote Sensing**, 29(14), 4269-4276. <https://doi.org/10.1080/01431160802039957>
- Yan, S., Zhang, X., Yan, R., Luo, Y., Wang, H., Xing, B., Liu, C., Xu, D., & Liao, G. (2026). Identification of Ecological Restoration Zones Based on Ecological Security Pattern and Ecological Risk Assessment—A Case Study of Liaoning Province. **Sustainability (Switzerland)**, 18(1). <https://doi.org/10.3390/su18010204>
- Yang, S., Yang, J., Shi, S., Song, S., Luo, Y., & Du, L. (2023). The rising impact of urbanization-caused CO₂ emissions on terrestrial vegetation. **Ecological Indicators**, 148. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110079>
- Zha, Y., Gao, J., & Ni, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. **International Journal of Remote Sensing**, 24(3), 583-594. <https://doi.org/10.1080/01431160304987>
- Zhang, N., Shang, C., Wu, J., & Zhang, Q. (2026). Impacts of surrounding land development on fragmentation within global protected areas. **Resources, Conservation and Recycling**, 227. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2025.108749>