

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CAMPUS SOROCABA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM SUSTENTABILIDADE
NA GESTÃO AMBIENTAL

DANIEL SALVAIA CAMILO

**INDICADORES DE DELIMITAÇÃO DO LEITO MAIOR SAZONAL NA GESTÃO
DE ÁREAS PROTEGIDAS: UMA REVISÃO DE ESCOPO**

Sorocaba

2026

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CAMPUS SOROCABA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM SUSTENTABILIDADE
NA GESTÃO AMBIENTAL

DANIEL SALVAIA CAMILO

**INDICADORES DE DELIMITAÇÃO DO LEITO MAIOR SAZONAL NA GESTÃO
DE ÁREAS PROTEGIDAS: UMA REVISÃO DE ESCOPO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade na Gestão Ambiental da Universidade Federal de São Carlos, para obtenção do título de Mestre em Sustentabilidade na Gestão Ambiental. Área de concentração: Sustentabilidade, Ambiente e Sociedade.

Orientação: Prof.^a Dr.^a Kelly Cristina Tonello

Sorocaba

2026

Camilo, Daniel Salvaia

Indicadores de delimitação do leito maior sazonal na
gestão de áreas protegidas: uma revisão de escopo /
Daniel Salvaia Camilo -- 2026.
81f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São
Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba
Orientador (a): Kelly Cristina Tonello
Banca Examinadora: Luiz Carlos de Faria, Alan Teixeira
da Silva
Bibliografia

1. Leito maior sazonal. 2. Áreas protegidas. 3. Zonas
riparias. I. Camilo, Daniel Salvaia. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano -
CRB/8 6979

FOLHA DE APROVAÇÃO

Daniel Salvaia Camilo

Indicadores de delimitação do leito maior sazonal na gestão de áreas protegidas: uma revisão de escopo

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade na Gestão Ambiental para obtenção do título de Mestre em Sustentabilidade na Gestão Ambiental da Universidade Federal de São Carlos. Área de concentração: Sustentabilidade, Ambiente e Sociedade. Sorocaba, 28 de abril de 2026.

Orientadora

Prof.^a Dr.^a Kelly Cristina Tonello
Universidade Federal de São Carlos

Examinador

Prof. Dr. Luiz Carlos de Faria
Universidade Federal de São Carlos

Examinador

Me. Alan Teixeira da Silva
Secretaria Municipal de Meio Ambiente da Prefeitura de Sorocaba

DEDICO

À minha filha Clara, cuja alegria, integridade e pureza de olhar me ensinam todos os dias a enxergar a vida pela sua face verdadeira, da forma como eu a conhecia quando criança.

AGRADECIMENTO

À Vida, pelo dom da criação.

À Prof.^a Dr.^a Kelly Cristina Tonello, por sua orientação, apoio e disponibilidade, bem como sua sensibilidade e gentileza.

À Universidade Federal de São Carlos e ao Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade na Gestão Ambiental, seus professores e funcionários, que possibilitam que profissionais do setor ambiental desenvolvam pesquisas em suas áreas de atuação, com o devido rigor científico, promovendo inovação tecnológica, geração de conhecimento e análise crítica, resultando em benefícios concretos à sociedade e à preservação do meio ambiente.

À Divisão de Licenciamento e Fiscalização Ambiental da SEMA, Prefeitura de Sorocaba, por apoiar e permitir a execução deste trabalho.

Aos colegas engenheiros agrônomos mestres Alan Teixeira da Silva e César Augusto da Costa Scaglianti, pelas contribuições e recomendações.

À minha companheira Vanessa, pelo apoio e compreensão em minha ausência durante a execução desta pesquisa.

Aos meus familiares, especialmente meu pai Vanderlei, *in memoriam*, por me ensinar com toda sua simplicidade que o rio possui sua área de extravasamento natural e, portanto, em sua margem não se deve construir.

"O Tejo é mais belo
que o rio que corre pela minha aldeia
Mas o Tejo não é mais belo
que o rio que corre pela minha aldeia
Porque o Tejo não é
o rio que corre pela minha aldeia."
Alberto Caeiro (Fernando Pessoa)

RESUMO

Ambientes sazonalmente inundáveis desempenham funções ecológicas essenciais para a manutenção da biodiversidade, mitigação de inundações e estabilidade hidrogeomorfológica, sendo o leito maior sazonal referência técnica para a delimitação protetiva de ecossistemas ripários. Apesar dessa importância, alterações legais substituíram o parâmetro por critérios simplificados devido a, entre outros fatores, alegações de inviabilidade na delimitação objetiva dessas áreas. Esta pesquisa teve como objetivo mapear métodos, indicadores e conceitos empregados na delimitação de áreas sazonalmente inundáveis, analisando suas implicações para a gestão ambiental e o ordenamento territorial. Foi realizada uma revisão de escopo orientada pelo protocolo PRISMA-ScR, com buscas em cinco bases de dados, complementadas por rastreamento de referências e citações, totalizando 46 estudos analisados. Os resultados demonstraram que a elevada dispersão terminológica dificulta a compreensão e proteção dessas áreas, e permitiram a organização dos métodos em três agrupamentos metodológicos conforme o modo de acesso predominante ao fenômeno: abordagens hidrogeomorfológicas, que interpretam evidências físicas e biológicas persistentes na paisagem; sensoriamento remoto multitemporal, que registra empiricamente a ocorrência e extensão das inundações ao longo do tempo; e modelagem hidráulica, que projeta cenários potenciais sob diferentes condições hidrológicas. A classificação demonstra que cada grupo captura uma dimensão complementar do fenômeno, evidenciando que a integração metodológica, convergindo múltiplas linhas de evidência, amplia a consistência técnica das delimitações e fortalece as tomadas de decisão na gestão ambiental de áreas protegidas, fornecendo subsídios técnicos para a aplicação do princípio do *in dubio pro natura* em situações de incerteza. Fundamentado nos achados, foi elaborado produto técnico composto por proposta de resolução técnica e protocolo operacional estruturado em níveis progressivos de análise, voltado a subsidiar procedimentos de licenciamento ambiental, fiscalização e planejamento territorial, com ênfase na integração metodológica, rastreabilidade das decisões, adaptação ao contexto e no registro das incertezas.

Palavras-chave: planícies aluviais; zonas ripárias; áreas úmidas; dinâmica hidrológica; planejamento territorial.

ABSTRACT

Seasonally inundated environments perform essential ecological functions for biodiversity conservation, flood mitigation, and hydrogeomorphological stability. In this context, the seasonal high-water channel constitutes an important technical reference for the protective delineation of riparian ecosystems. Despite its relevance, legal reforms have replaced this parameter with simplified geometric criteria due, among other factors, to claims regarding the impracticability of objectively delineating such areas. This study aimed to map the methods, indicators, and concepts employed in the delineation of seasonally inundated areas and to analyze their implications for environmental management and land-use planning. A scoping review was conducted following the PRISMA-ScR protocol, combining searches across five scientific databases with reference and citation tracking strategies, resulting in a total of 46 analyzed studies. The findings demonstrated that substantial terminological dispersion hinders both the understanding and protection of these environments and enabled the organization of the identified methods into three methodological groups according to their predominant mode of accessing the inundation phenomenon: hydrogeomorphological approaches, which interpret persistent physical and biological evidence preserved in the landscape; multitemporal remote sensing, which empirically records the occurrence and spatial extent of flooding over time; and hydraulic modeling, which projects potential scenarios under different hydrological conditions. This classification demonstrates that each group captures a complementary dimension of the phenomenon, highlighting that methodological integration through the convergence of multiple lines of evidence enhances the technical consistency of delineation processes and strengthens environmental decision-making in protected areas, while also providing technical support for the application of the *in dubio pro natura* principle under conditions of uncertainty. Based on these findings, a technical product was developed consisting of a proposed technical resolution and an operational protocol structured into progressive levels of analysis, intended to support environmental licensing, enforcement, and territorial planning procedures, with emphasis on methodological integration, traceability of technical decisions, context-sensitive application, and explicit documentation of uncertainties.

Keywords: floodplains; riparian systems; wetlands; hydrological dynamics; land-use planning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma PRISMA de seleção dos estudos.....	24
Figura 2 – Principais termos ocorridos nos estudos.....	25
Figura 3 – Principais termos por período	25
Figura 4 – Publicações por país.....	26
Figura 5 – Publicações por país conforme abordagem metodológica.....	27

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Expressões de busca por base de dados.....	20
Quadro 2 – Síntese dos grupos metodológicos para delimitação do LMS.....	46
Quadro A1 – Quadro de extração de dados.....	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APP Área de Preservação Permanente
EDZ Energy Dissipation Zone
EVI Enhanced Vegetation Index
FACET Floodplain and Channel Evaluation Tool
GEMET General Multilingual Environmental Thesaurus
GPS Global Positioning System
GRVI Green-Red Vegetation Index
HAND Height Above Nearest Drainage
HEC-RAS Hydrologic Engineering Center River Analysis Software
InSAR Interferometric Synthetic Aperture Radar
ISA Indicator Species Analysis
LiDAR Light Detection and Ranging
LMS Leito Maior Sazonal
MDE Modelo Digital de Elevação
MDT Modelo Digital de Terreno
NDVI Normalized Difference Vegetation Index
NMDS Non-metric Multidimensional Scaling
ODS Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
PCC População, Conceito e Contexto
PRISMA Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses
SAR Synthetic Aperture Radar
SEMA Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Sorocaba
SIG Sistema de Informações Geográficas
SOM Self-Organizing Maps
SRTM Shuttle Radar Topography Mission
TWI Topographic Wetness Index
UFSCar Universidade Federal de São Carlos
WDRVI Wide Dynamic Range Vegetation Index

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 MATERIAIS E MÉTODOS	16
2.1 CRITÉRIOS DE ELEGIBILIDADE.....	17
2.2 CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO.....	17
2.3 BASES DE DADOS PARA AS BUSCAS.....	17
2.4 ESTRATÉGIA DE BUSCA.....	18
2.5 SELEÇÃO DAS FONTES DE EVIDÊNCIA.....	21
2.6 EXTRAÇÃO DE DADOS.....	21
2.7 ANÁLISE DE DADOS.....	22
3 RESULTADOS	24
4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	28
4.1 CONCEITOS E TERMINOLOGIAS ASSOCIADOS AO LMS.....	28
4.2 MÉTODOS DE DELIMITAÇÃO DO LMS.....	33
4.2.1 Tipos de Métodos Empregados	33
4.2.1.1 Métodos hidrogeomorfológicos.....	34
4.2.1.2 Sensoriamento remoto multitemporal.....	38
4.2.1.3 Modelagem hidráulica.....	41
4.2.2 Distribuição espacial e escalas de aplicação	48
4.2.3 Evolução temporal dos métodos	50
4.3 SÍNTESE E IMPLICAÇÕES PARA A GESTÃO AMBIENTAL.....	52
5 CONCLUSÕES	57
REFERÊNCIAS	59
APÊNDICE A - Instrumento de extração de dados	65
APÊNDICE B - Proposta de minuta de resolução técnica	74

1 INTRODUÇÃO

O meio ambiente, entendido pela Constituição Federal em seu artigo 225 como bem de uso comum do povo, impõe ao Estado e à sociedade a responsabilidade de assegurar sua proteção para as presentes e futuras gerações (Brasil, 1988). Entretanto, o avanço da urbanização e o adensamento populacional têm intensificado a pressão sobre os sistemas naturais, comprometendo a qualidade ambiental e, sobretudo, a integridade das áreas verdes e dos corpos hídricos urbanos (Freitas & Azerêdo, 2020).

Esses processos, associados ao aumento da frequência e intensidade de eventos extremos decorrentes das mudanças climáticas, representam riscos significativos à saúde, ao bem-estar e à segurança das populações (Ribeiro & Santos, 2016). Nesse contexto, as áreas protegidas em ambientes urbanos assumem papel estratégico, amortecendo os efeitos da urbanização, favorecendo o conforto térmico e preservando funções ecológicas que sustentam a vida nas cidades (Silva, 2012).

A relevância dessas áreas verdes públicas se evidenciou de forma particular durante a pandemia de Covid-19, quando tais espaços se tornaram fundamentais para a saúde física e mental de populações que não dispunham de áreas privadas de lazer, representando assim uma importância social estratégica para a saúde pública (Ximenes *et al.*, 2020).

Destacam-se as Áreas de Preservação Permanente (APPs) de cursos d'água definidas “com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas” (Brasil, 2012), desempenhando funções ecossistêmicas essenciais na interceptação da precipitação, amortecimento do escoamento superficial e contribuindo com a infiltração no solo por meio da trama radicular, favorecendo a recarga de aquíferos e reduzindo a magnitude das enchentes, fortalecendo assim a resiliência dos sistemas urbanos frente a eventos climáticos extremos (Tonello *et al.*, 2021).

A proteção das áreas sazonalmente inundáveis é expressiva não apenas para a regulação climática, mas também para a conservação da biodiversidade, considerando que as cheias recorrentes selecionam espécies da fauna e flora tolerantes e dependentes desses ambientes, além de constituírem refúgios para espécies de aves migratórias (Hunter *et al.*, 2017; Bozelli *et al.*, 2018).

Desta forma, a compreensão e preservação dessas áreas por políticas públicas está alinhada aos ODS (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, UN WSS, 2024), como o

ODS 6 (Água Potável e Saneamento, meta 6.6), ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis, metas 11.5, 11.6, 11.7 e 11.b), ODS 13 (Ação contra Mudança Global do Clima, meta 13.1) e ODS 15 (Vida Terrestre, metas 15.1, 15.2, 15.3, 15.5 e 15.9).

Nesse contexto, o termo Leito Maior Sazonal (LMS), inserido na dinâmica de inundação dos ambientes ripários, surge em obras clássicas da geomorfologia fluvial, tratando-se da área ocupada anualmente pelas cheias pelo extravasamento natural dos cursos d'água (Christofolletti, 1980), conceito posteriormente incorporado às normativas federais com o foco na proteção de ambientes ripários (Conama, 1985).

Destaca-se a Lei Federal nº 4.771/1965, popularmente conhecida como o antigo “Código Florestal”, que delimitava as Áreas de Preservação Permanente a partir deste nível mais alto do leito (Brasil, 1965) e, de modo similar, o antigo Plano Diretor do município de Sorocaba, Lei Municipal nº 11.022/2014, que estabelecia as Faixas de Proteção dos cursos d'água medidas a partir do LMS (Sorocaba, 2014).

Apesar de sua relevância, a delimitação do LMS para atendimento da legislação apresentou dificuldades práticas históricas, gerando interpretações divergentes que fragilizaram o ordenamento territorial e a gestão de áreas protegidas, resultando em questionamentos sobre a subjetividade para a sua demarcação física e pressões para modificações no texto legal (Medeiros, 2013; Scartazzini *et al.*, 2008).

Assim, a Lei Federal nº 12.651/2012, vulgo novo “Código Florestal”, revogou o parâmetro anterior da delimitação das APPs fluviais a partir do nível mais alto, sendo atualmente delimitadas a partir da “borda da calha do leito regular” (Brasil, 2012). Do mesmo modo, o atual plano Diretor do município de Sorocaba, Lei Municipal nº 13.123/2025, removeu o LMS como norteador na delimitação dessas áreas de proteção, sendo delimitadas neste momento “a partir do eixo da calha principal” (Sorocaba, 2025), resultando assim na perda expressiva de áreas protegidas em um território extenso (Chaves *et al.*, 2023).

A subjetividade no mapeamento desses limites ofusca a magnitude da perda na proteção desses ambientes promovida nas alterações normativas e a compreensão científica do fenômeno, além de abrir espaço para ocupações inadequadas em áreas suscetíveis à inundação, ampliando vulnerabilidades socioambientais e comprometendo a efetividade de políticas de conservação (Durigan *et al.*, 2022).

Na última década, trabalhos recentes demonstram uma evolução técnica significativa para o monitoramento das inundações, devido aos progressivos avanços tecnológicos em satélites e equipamentos de sensoriamento remoto, processamento computacional e integração

metodológica, especialmente para prevenção de inundações por enchentes extremas (Lin & Song, 2025). Entretanto, a literatura atual também indica que o ambiente sazonalmente inundável permanece conceitualmente e metodologicamente disperso, não compreendido em sua magnitude multidisciplinar (Durigan *et al.*, 2022; Dodds *et al.*, 2025).

Delimitar o LMS, portanto, consiste em um desafio técnico e conceitual pois a literatura evidencia que a sua delimitação pode, ainda, depender de diferentes tipos de abordagens que contemplem mapeamentos por imagens orbitais e dados de campo relacionados à hidrogeomorfologia, cuja aplicação varia conforme a disponibilidade de dados locais (Durigan *et al.*, 2022).

Diante desse cenário, evidencia-se a necessidade de um mapeamento amplo do conhecimento disponível sobre o tema abrangendo os aspectos conceituais e tipos de métodos utilizados para a delimitação do leito maior sazonal em diferentes áreas do conhecimento, fornecendo subsídios técnicos na formulação de políticas públicas consistentes e futuras pesquisas direcionadas, identificando possíveis formas viáveis de delimitação com foco no fortalecimento da proteção dos recursos hídricos e da resiliência ambiental urbana.

Objetivo geral:

Mapear a literatura sobre os métodos e indicadores utilizados na delimitação do leito maior sazonal, identificando abordagens, fundamentos conceituais e aplicações em diferentes contextos e escalas.

Objetivos Específicos:

1. Identificar as terminologias e conceitos relacionados à delimitação do leito maior sazonal, em diferentes áreas do conhecimento;
2. Explorar os métodos utilizadas para delimitação com foco na identificação de possíveis indicadores, destacando suas premissas, escalas de aplicação e limitações;
3. Analisar padrões de convergências, divergências e lacunas existentes na literatura, identificando oportunidades de aprimoramento conceitual e metodológico.
4. Subsidiar a formulação de novas pesquisas, diretrizes técnicas e normativas no contexto da proteção de ambientes sazonalmente inundáveis.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Optou-se por uma Revisão de Escopo (*Scoping Review*) por se tratar de uma pesquisa que pretende explorar e mapear um conceito amplo e multifatorial, com particularidades em diferentes áreas do conhecimento (Arksey & O'Malley, 2005). Segundo Munn *et al.* (2018), as revisões de escopo são recomendadas para mapear conceitos, sintetizar abordagens metodológicas e identificar lacunas em conceitos não consolidados, premissas que se aplicam diretamente ao conceito e à delimitação do leito maior sazonal (Scartazzini *et al.*, 2008).

Para maior transparência e rigor metodológico, a pesquisa seguiu as diretrizes do protocolo PRISMA-ScR para revisões de escopo (Tricco *et al.*, 2018), com protocolo previamente registrado na plataforma Open Science Framework (OSF), disponível em: https://osf.io/a3rzh/overview?view_only=e7961e1701e84f5faf86c8e5d718b76c.

O protocolo originalmente registrado previa buscas sem restrição temporal, em múltiplos idiomas e incluindo o Google Scholar. Durante a operacionalização da revisão, observou-se elevada dispersão temática e amplo volume de resultados recuperados, o que motivou o refinamento da estratégia de busca com o objetivo de aumentar a especificidade da recuperação e direcionar a análise para abordagens metodológicas contemporâneas relacionadas ao objeto de investigação. As alterações em relação ao protocolo original foram registradas e justificadas para fins de transparência metodológica.

Nesse contexto, adotou-se recorte temporal a partir de 2020 para as buscas sistemáticas em bases de dados acadêmicas de modo compatível com os achados de Lin e Song (2025), cuja análise bibliométrica identificou aumento expressivo da produção científica relacionada ao monitoramento e mapeamento de áreas inundáveis a partir desse período.

O recorte temporal foi aplicado exclusivamente às buscas sistemáticas. As estratégias complementares de rastreamento de referências e citações não foram submetidas a essa restrição temporal, conforme detalhado na seção 2.4 (estratégia de busca), visando conciliar o mapeamento de abordagens metodológicas contemporâneas com a identificação de referências relevantes para a compreensão conceitual e metodológica do objeto investigado.

Os critérios de elegibilidade foram delineados a partir do mnemônico População, Conceito e Contexto - PCC (Mattos *et al.*, 2023), onde: 1. População: corresponde às áreas sazonalmente inundadas por processos naturais em suas diversas nomenclaturas; 2. Conceito: métodos, técnicas, conceitos e indicadores empregados na delimitação do leito maior sazonal; 3. Contexto: gestão ambiental e territorial de áreas protegidas.

2.1 CRITÉRIOS DE ELEGIBILIDADE

Os critérios de elegibilidade foram definidos com base no mnemônico PCC previamente descrito, sendo incluídos artigos científicos e literatura cinzenta que abordassem metodologias, conceitos ou indicadores relacionados à delimitação do leito maior sazonal de cursos d'água.

Consideraram-se estudos com diferentes abordagens metodológicas (qualitativas, quantitativas e mistas), nos idiomas inglês ou português (conforme base de dados), e com recorte temporal a partir de 2020 para as buscas sistemáticas em bases de dados de publicações acadêmicas, conforme delineamento metodológico da revisão descrito na seção 2.4 (estratégia de busca).

2.2 CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO

Foram excluídos trabalhos que não apresentassem métodos, conceitos ou indicadores relacionados à delimitação do leito maior sazonal, conforme critérios a seguir:

- (i) Estudos que tratem exclusivamente de inundações por eventos extremos, sem abordagem ou correlação à dinâmica e delimitação das áreas de inundação sazonal;
- (ii) Estudos que abordem o mapeamento ou a simulação de cheias sazonais sem apresentar métodos, indicadores ou discussões diretamente relacionados à delimitação do leito maior sazonal;
- (iii) Estudos que analisem exclusivamente temas referentes à ecologia de flora e fauna ou à qualidade da água, como levantamentos populacionais ou análises físico-químicas e biológicas, sem análise da delimitação espacial na dinâmica de inundação;
- (iv) Estudos pertencentes a áreas não relacionadas ao escopo da revisão, como sociologia, arqueologia ou estudos de patrimônio cultural.

2.3 BASES DE DADOS PARA AS BUSCAS

Para a localização de trabalhos relevantes, inicialmente foi realizada a busca de estudos nas seguintes bases de dados:

Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SciELO e GreenFile (EBSCO).

2.4 ESTRATÉGIA DE BUSCA

A estratégia de busca fundamentou-se nos critérios de elegibilidade descritos e, a partir deles, foram selecionados descritores com base no tesauro GEMET (*General Multilingual Environmental Thesaurus*) para construção da expressão de busca.

Inicialmente, os descritores “*Indicators*” e “*Environmental indicators*” foram testados, sendo removidos devido à elevada dispersão temática e predominância de resultados referentes à qualidade da água ou às ciências humanas.

De modo contrário, descritores restritivos ao contexto de gestão ambiental e ordenamento territorial demonstraram perda significativa de estudos potencialmente relevantes nos testes de sensibilidade prévios.

Desta forma, o contexto (PCC) relacionado à gestão de áreas protegidas foi incorporado como critério analítico após a obtenção dos resultados, e não como restrição da busca. Considerou-se que os métodos e indicadores de delimitação do leito maior sazonal apresentam potencial aplicabilidade no âmbito da gestão ambiental e territorial, independentemente do objetivo final de cada estudo.

Assim, a estratégia foi refinada mediante novos testes de sensibilidade em conformidade com as recomendações do PRISMA-ScR para ajustes iterativos durante a fase de busca, buscando maximizar sensibilidade sem perda de especificidade (Tricco *et al.*, 2018), resultando na expressão de busca abaixo que compreende operadores booleanos AND e OR:

("Floodplain boundary" OR "Seasonal floodplain delineation" OR "Floodplain extent" OR "Floodplain mapping" OR "Riverbed extent" OR "High water mark" OR "Hydrological modelling" OR "Geomorphological mapping" OR "Hydrological zoning") AND ("Floodplain" OR "Riparian zone" OR "Wetland" OR "Hydrological regime")

Para a base de dados ScienceDirect a expressão de busca precisou ser fragmentada, em duas partes, devido ao mecanismo de busca aceitar somente 8 operadores booleanos por expressão e, para a base de dados SciELO, optou-se pela busca de descritores no idioma português por se tratar de uma base de dados brasileira com significativa quantidade de trabalhos lusófonos.

Assim, realizaram-se as buscas definitivas em outubro de 2025 com a devida adequação da expressão de busca de acordo com as especificidades de cada base de dados,

identificadas no Quadro 1. No objetivo de ampliar os resultados, optou-se por não utilizar o operador NOT, com as buscas abrangendo os campos “Título”, “Resumo” e “Palavras-chave” de cada estudo.

Conforme Peters *et al.* (2020) e Arksey & O’Malley (2005), revisões de escopo admitem estratégias complementares e iterativas de busca, permitindo ampliar a identificação de fontes de evidência relevantes ao objeto de investigação.

Assim, além das buscas estruturadas em bases de dados científicas, foram realizadas duas estratégias independentes de busca complementar por rastreamento de referências e citações, técnicas amplamente utilizadas para identificação de estudos potencialmente relevantes não recuperados pelas estratégias iniciais de busca (Hirt *et al.*, 2023):

(i) rastreamento de referências (*backward citation tracking*) dos estudos incluídos pelas buscas sistemáticas, onde foram inicialmente selecionados trabalhos cujos títulos indicassem potencial aderência aos critérios de elegibilidade;

(ii) rastreamento de citações (*forward citation tracking*) por meio da funcionalidade 'Cited by' do Google Scholar, a partir de estudos-chave previamente identificados nas buscas sistemáticas e no rastreamento de referências, como Jacobson (2013), Kobiyama (2003) e Durigan *et al.* (2022).

Nesta última estratégia, os trabalhos citantes foram inicialmente avaliados por título, sendo selecionados para análise subsequente aqueles com potencial aderência aos critérios de elegibilidade definidos para a revisão.

Os trabalhos recuperados por meio das buscas complementares foram submetidos aos mesmos critérios de elegibilidade e exclusão aplicados às buscas sistemáticas, porém sem restrição temporal. Essa opção metodológica decorre da finalidade dessas estratégias, voltadas à identificação de estudos não recuperados pelas buscas estruturadas e de referências recorrentes na literatura rastreada.

Considerando que esta revisão buscou não apenas mapear abordagens metodológicas contemporâneas, mas também compreender conceitos, terminologias e indicadores relacionados à delimitação do leito maior sazonal, estudos anteriores ao recorte temporal puderam ser incluídos quando recuperados pelas estratégias de rastreamento de referências e citações e considerados pertinentes ao objeto de investigação. Tal procedimento é compatível com o caráter exploratório das revisões de escopo e sua função na identificação de conceitos-chave, terminologias, características e fatores relacionados a determinado fenômeno (Peters *et al.*, 2020).

Quadro 1 – Expressões de busca por base de dados.

Base de dados	Expressão de busca
Scopus	(TITLE-ABS-KEY ("Floodplain boundary" OR "Seasonal floodplain delineation" OR "Floodplain extent" OR "Floodplain mapping" OR "Riverbed extent" OR "High water mark" OR "Hydrological modelling" OR "Geomorphological mapping" OR "Hydrological zoning")) AND (TITLE-ABS-KEY ("Floodplain*" OR "Riparian zone*" OR "Wetland*" OR "Hydrological regime*"))
Web of Science	TS=("Floodplain boundary" OR "Seasonal floodplain delineation" OR "Floodplain extent" OR "Floodplain mapping" OR "Riverbed extent" OR "High water mark" OR "Hydrological modelling" OR "Geomorphological mapping" OR "Hydrological zoning") AND TS=("Floodplain*" OR "Riparian zone*" OR "Wetland*" OR "Hydrological regime*")
ScienceDirect 1	("Floodplain boundary" OR "Seasonal floodplain delineation" OR "Floodplain extent" OR "Floodplain mapping" OR "Riverbed extent") AND ("Floodplain" OR "Riparian zone" OR "Wetland" OR "Hydrological regime")
ScienceDirect 2	("High water mark" OR "Hydrological modelling" OR "Geomorphological mapping" OR "Hydrological zoning") AND ("Floodplain" OR "Riparian zone" OR "Wetland" OR "Hydrological regime")
SciELO	("delimitação da planície de inundação" OR "limite da planície de inundação" OR "mapeamento da planície de inundação" OR "delimitação sazonal da planície de inundação" OR "extensão da planície de inundação" OR "leito sazonal do rio" OR "margem de cheia" OR "zona ripária" OR "modelagem hidrológica" OR "zoneamento hidrológico" OR "mapeamento geomorfológico") AND ("planície de inundação" OR "zona ripária" OR "área úmida" OR "regime hidrológico")
GreenFile (EBSCO)	TX ("Floodplain boundary" OR "Seasonal floodplain delineation" OR "Floodplain extent" OR "Floodplain mapping" OR "Riverbed extent" OR "High water mark" OR "Hydrological modelling" OR "Geomorphological mapping" OR "Hydrological zoning") AND TX ("Floodplain" OR "Riparian zone" OR "Wetland" OR "Hydrological regime")

Fonte: Elaboração própria (2026).

2.5 SELEÇÃO DAS FONTES DE EVIDÊNCIA

A seleção das fontes de evidência seguiu as etapas sequenciais de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão, conforme o fluxo PRISMA-ScR (Tricco *et al.*, 2018) ilustrado na Figura 1, operacionalizado por meio da plataforma Rayyan (Kellermeyer *et al.*, 2018). Os resultados das buscas foram importados para a plataforma, onde se procedeu à identificação e remoção de duplicatas, seguida da aplicação do recorte temporal, etapa realizada após a importação para manter maior sensibilidade na recuperação inicial e garantir a padronização do filtro entre as diferentes fontes.

Realizou-se a triagem dos estudos por título e resumo por meio da plataforma Rayyan e, posteriormente, os registros potencialmente elegíveis foram submetidos à leitura na íntegra para avaliação de inclusão. Ambas as etapas foram conduzidas por um único revisor, o autor desta pesquisa, em razão da natureza individual do desenvolvimento do estudo no âmbito do mestrado profissional. Reconhece-se que a ausência de revisão independente por um segundo avaliador constitui uma limitação metodológica apontada pelo Instituto Joanna Briggs, podendo aumentar o risco de vieses de seleção e elegibilidade (Peters *et al.*, 2020).

Com o objetivo de reduzir potenciais vieses associados a essa condição, foram adotadas as seguintes medidas: (i) registro prévio do protocolo de pesquisa na Open Science Framework (OSF), realizado antes da execução das buscas; (ii) definição e aplicação padronizada dos critérios de inclusão e exclusão previamente estabelecidos; (iii) supervisão e acompanhamento metodológico pela orientadora ao longo da execução da pesquisa; e (iv) documentação transparente das etapas de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos estudos por meio de fluxograma elaborado conforme o protocolo PRISMA-ScR.

Adicionalmente, foi identificada uma inconsistência de indexação referente ao ano de publicação em um dos estudos recuperados, sendo adotada, para fins de análise, a data original de publicação informada pelo próprio documento.

Durante a elaboração desta dissertação, ferramentas de inteligência artificial foram utilizadas como suporte à revisão crítica da redação científica, incluindo Elicit, NotebookLM, Claude (Anthropic) e ChatGPT, não tendo sido empregadas para geração de conteúdo substantivo, interpretação dos estudos ou elaboração das conclusões. Toda a análise, síntese e argumentação são de responsabilidade exclusiva do autor.

2.6 EXTRAÇÃO DE DADOS

Os dados dos estudos selecionados foram sistematizados em um quadro de extração de dados, apresentado no Apêndice A através do Quadro A1. A definição e a organização dos campos do quadro resultaram de adaptações de modelos previamente utilizados na literatura e conforme recomendações para revisões de escopo (Lin & Song, 2025; Khalil *et al.*, 2016; Peters *et al.*, 2020; Munn *et al.*, 2022), conforme descrito a seguir:

- (i) Identificação: referência do estudo;
- (ii) Tipo de estudo: classificação dos estudos em empíricos, analíticos ou conceituais/teóricos, conforme abordagem predominante descrita pelos autores;
- (iii) População: unidade espacial ou conceitual analisada, tais como a planície de inundação de um corpo d'água específico, um conjunto de áreas úmidas ou objeto legalmente protegido;
- (iv) Objetivo do estudo: objetivo principal explicitado pelos autores;
- (v) Escala: magnitude espacial de análise adotada no estudo (local, bacia hidrográfica, regional, nacional ou global), definido para fins operacionais desta revisão;
- (vi) Método: síntese da abordagem metodológica adotada no estudo;
- (vii) Principais resultados: achados diretamente relacionados à delimitação do leito maior sazonal (LMS) ou que contribuam para sua compreensão conceitual e operacional;
- (viii) Observações analíticas: registro inicial e exploratório de padrões conceituais e metodológicos associados aos critérios e métodos de delimitação do LMS.

A categoria “observações analíticas” foi incluída estrategicamente no quadro de extração de dados para registrar, por meio de síntese exploratória, padrões conceituais e metodológicos, com possíveis contribuições à identificação de indicadores de delimitação do leito maior sazonal (LMS) e variáveis associadas para posterior discussão dos resultados, restringindo-se ao mapeamento e à identificação inicial dos dados, sem finalidade comparativa ou de avaliação da evidência, em consonância com o objetivo de revisões de escopo em mapear a abrangência de conceitos não consolidados e multidisciplinares (Sargeant & O'Connor, 2020; Sucharew & Macaluso, 2019; Khalil *et al.*, 2016; Munn *et al.*, 2022; Peters *et al.*, 2020; Bradbury-Jones *et al.*, 2021).

2.7 ANÁLISE DE DADOS

O processo de extração e síntese dos dados dos estudos selecionados, indicados no quadro de extração de dados (Quadro A1), associado a uma análise interpretativa integrada,

possibilitou não apenas a organização das evidências, mas também a identificação de padrões consistentes e relações conceituais entre as abordagens.

A partir dessa análise, foram definidos quatro eixos analíticos para a compreensão e contextualização do leito maior sazonal, que estruturaram a organização dos sub-tópicos referentes:

- (i) aos conceitos e terminologias empregados;
- (ii) aos tipos de métodos de delimitação;
- (iii) às escalas e contextos de aplicação;
- (iv) às interfaces legais e implicações para a gestão ambiental.

3 RESULTADOS

As buscas resultaram em 4.317 estudos, posteriormente triados na plataforma Rayyan (Kellermeyer *et al.*, 2018) que identificou 1.599 possíveis duplicatas, as quais foram verificadas individualmente e, após a constatação, foram deletadas 874, resultando em 3.443 publicações que foram filtradas por ano de publicação a partir de 2020 (incluso). A partir disto, os 1.171 estudos resultantes foram triados por título e resumo, sendo selecionados 180 para leitura na íntegra, dos quais 37 atenderam integralmente aos critérios de elegibilidade e foram inseridos na pesquisa. As etapas “Identificação”, “Triagem”, “Elegibilidade” e “Inclusão” (PRISMA, 2020) conforme fluxograma PRISMA (Figura 1).

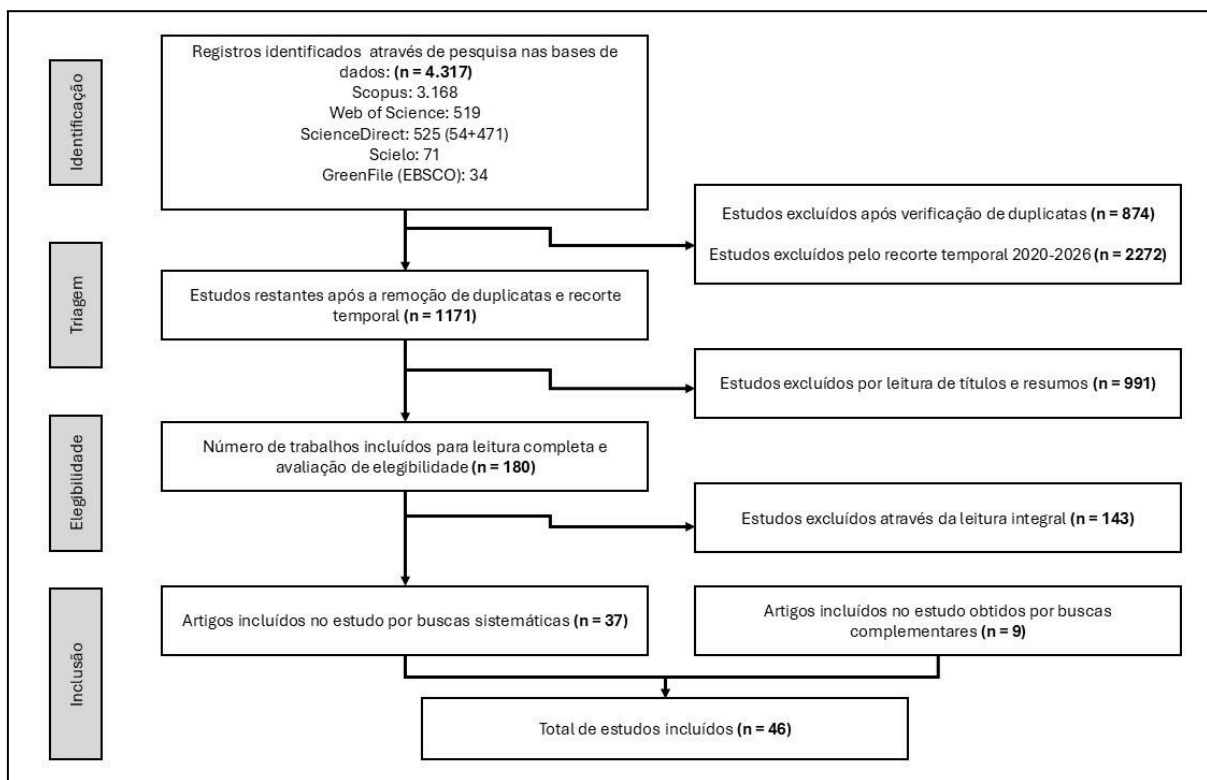


Figura 1 Fluxograma PRISMA de seleção dos estudos. Fonte: Elaboração própria (2026).

A bibliometria das 37 publicações demonstra a ocorrência dos principais termos, por período, conforme gráficos das figuras 2 e 3, incluindo termos relacionados ao sensoriamento remoto como “*satellite*” (satélite) e “*sentinel*”, geomorfologia, como “*hydropedology*” (hidropedologia), “*soil*” (solo) e “*dem*” (*digital elevation model*, modelo digital de elevação), à hidrologia, como “*flood extent*” (extensão de cheia), “*connectivity*” (conectividade) e “*wetland hydrology boundary*” (limite hidrológico de área úmida).

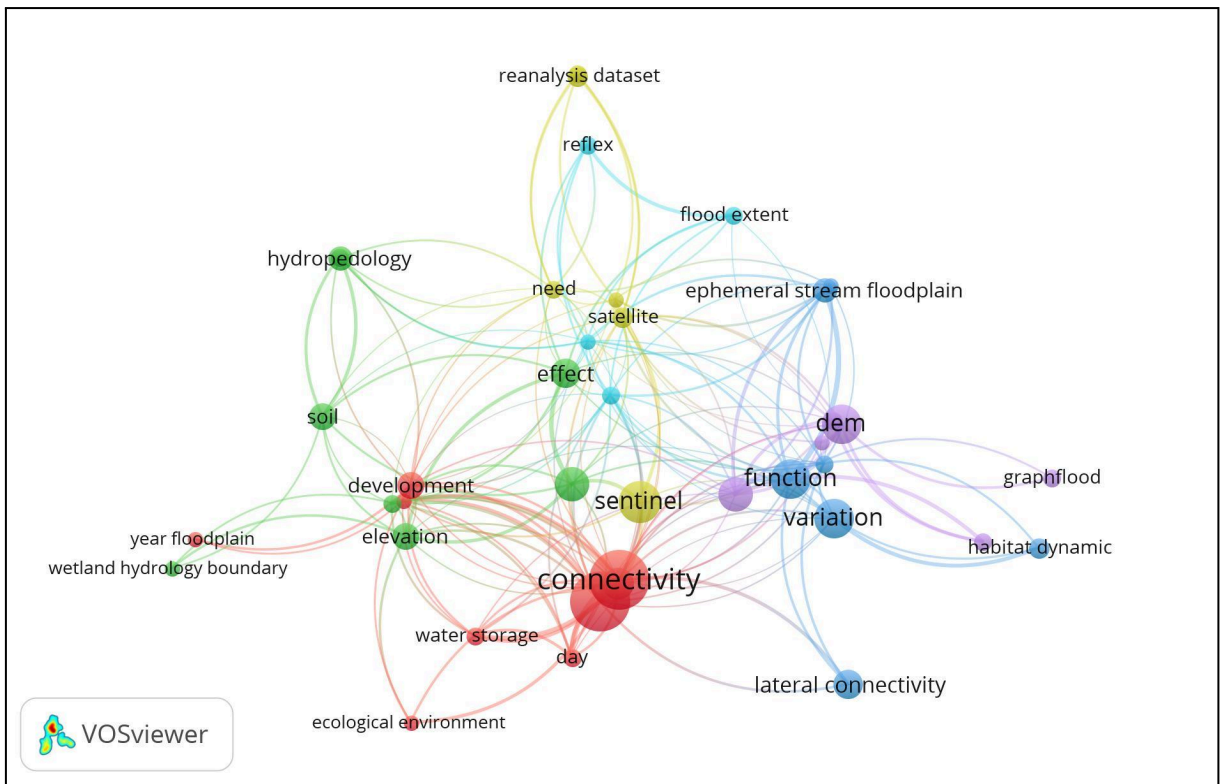


Figura 2. Principais termos ocorridos nos estudos. Fonte: Elaboração a partir do *software* VOSviewer (2026).

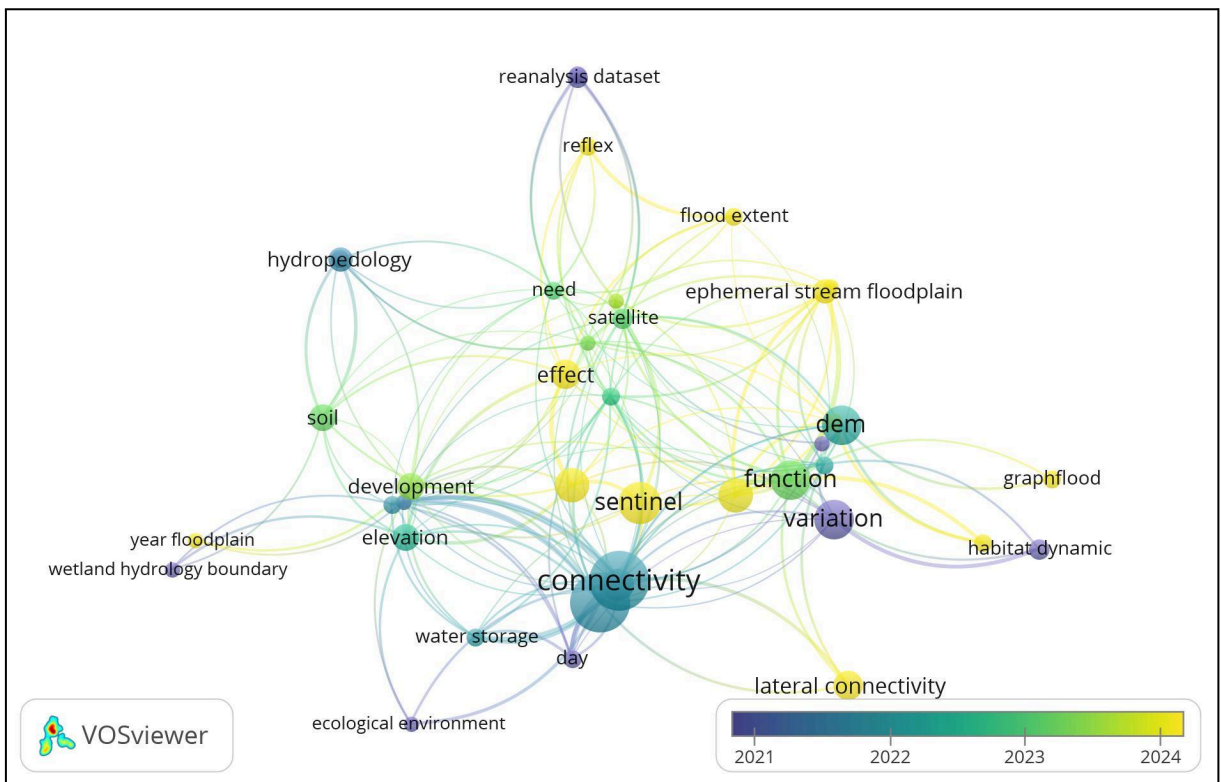


Figura 3. Principais termos por período. Fonte: Elaboração própria a partir do *software* VOSviewer (2026).

Quanto ao contexto geográfico dos estudos, as figuras 4 e 5 demonstram a quantidade de publicações por país, demonstrando concentração expressiva da produção científica em países com maior desenvolvimento econômico, como Estados Unidos (9) e China (5). Países latino-americanos e africanos apresentam participação reduzida, com destaque para a Argentina (3), indicando assimetria geográfica nas publicações sobre o tema.

Com relação aos métodos de delimitação do LMS, conforme Figura 5, entre os estudos selecionados predominam as abordagens executadas através de modelagem hidráulica (14), seguidas por métodos hidrogeomorfológicos (11) e sensoriamento remoto (9), além de estudos conceituais (3).

As análises bibliométricas apresentadas nesta seção referem-se exclusivamente aos resultados das buscas sistemáticas, em razão de sua natureza padronizada e reproduzível. Por meio de buscas complementares, foram adicionalmente incluídos 9 trabalhos por apresentarem alta relevância ao propósito da pesquisa que, somados aos 37 selecionados pelas buscas sistemáticas, totalizaram 46 trabalhos indicados no quadro de extração de dados (Quadro A1) e analisados na seção seguinte.

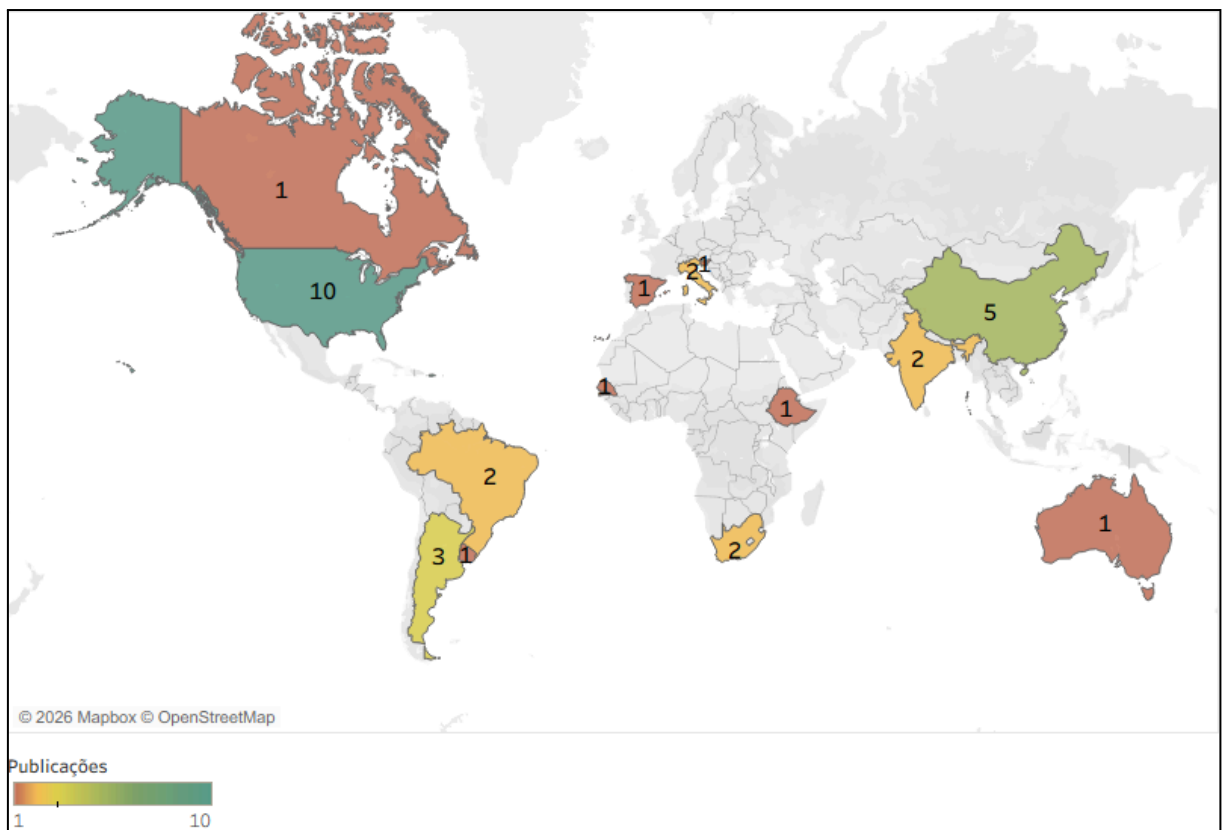


Figura 4. Publicações por país. Fonte: Elaboração própria a partir do *software* Tableau Public (2026).

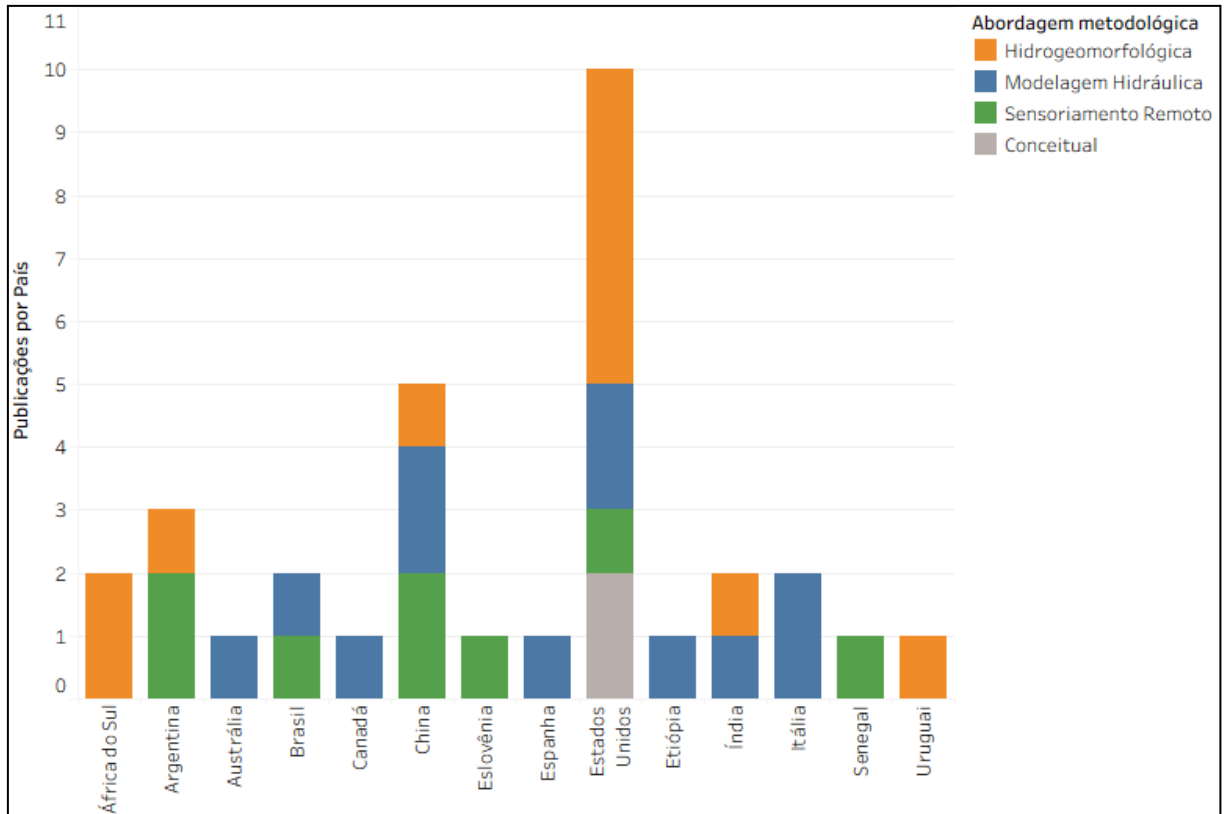


Figura 5. Publicações por país conforme abordagem metodológica. Fonte: Elaboração própria a partir do *software* Tableau Public (2026).

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 CONCEITOS E TERMINOLOGIAS ASSOCIADOS AO LMS

A presente subseção deriva da elevada dispersão terminológica e conceitual observada nos estudos, evidenciando a necessidade de contextualizar os objetos de estudo antes de explorar os métodos de análise dos mesmos, mapeando assim os diferentes entendimentos, definições, convergências, variações terminológicas e ambiguidades conceituais que condicionam a interpretação e a compreensão do LMS.

O termo “leito maior sazonal” é definido através da Resolução CONAMA nº 4 de 1985: “Leito Maior Sazonal - calha alargada ou maior de um rio, ocupada nos períodos anuais de cheia” (CONAMA, 1985). Assim, embora o conceito seja derivado de estudos clássicos da hidrologia fluvial (Wolman & Miller, 1960; Leopold *et al.*, 1964), a terminologia exata se encontra inserida em um contexto normativo-legal brasileiro.

Entretanto, consta na literatura um vasto cenário de terminologias distintas que designam ambientes ripários, a exemplo da revisão realizada por Kobiyama (2003) para os idiomas português, inglês e japonês, a qual revela que, além da diversidade de termos, mesmo termos iguais apresentaram significados diversos entre autores e contextos. Diante dessa heterogeneidade conceitual, o autor recomenda o uso do termo “zona ripária” conforme definido por Hupp & Osterkamp (1996) para planícies de inundação, como a área sujeita a inundações recorrentes, tipicamente associadas a eventos de inundação com periodicidade aproximada de 1 a 3 anos, semelhante assim à definição normativa do LMS (CONAMA, 1985).

Verificou-se nos estudos uma grande ocorrência do termo “planície de inundação” (*floodplain*) (Maillard *et al.*, 2022; Breznik *et al.*, 2025; Czuba *et al.*, 2019; de Mello *et al.*, 2025) com destaque para a extensa revisão realizada por Lin & Song (2025) que sistematizou estudos de monitoramento das planícies de inundação por sensoriamento remoto e as definem como áreas de baixada, adjacentes a corpos d’água e suscetíveis à inundações periódicas ou episódicas, com estudos frequentemente direcionados à previsão de riscos de inundações por eventos climáticos extremos, como tempos de retorno de 100 anos. Essa amplitude conceitual evidencia a necessidade de distinguir as abordagens voltadas à modelagem de eventos raros daquelas fundamentadas na recorrência sazonal das cheias anuais, as últimas pertinentes aos estudos sobre o LMS.

O estudo clássico de Highfield *et al.* (2013) revela a fragilidade do conceito consolidado de planície de inundação (*floodplain*) na nação estadunidense que tradicionalmente vincula uma abordagem probabilística fixa de tempo de retorno de 100 anos, crítica reiterada por Sanchez *et al.* (2024). Embora direcionado à previsão de risco de enchentes, o trabalho revela que limites de inundação periódica fundamentados exclusivamente em recorrências probabilísticas podem não capturar a realidade devido às especificidades locais e ao comportamento multifatorial das planícies de inundação, propondo uma inovação conceitual e criticando os métodos que consideram a natureza dessa delimitação como binária ("dentro" ou "fora") por estabelecerem um limite fixo irreal, desconsiderando áreas adjacentes e a variabilidade real das inundações. O estudo fundamenta a necessidade de transitar de uma política de decisões dicotômicas para uma abordagem de "gradiente", que incorpore o histórico de inundações e as condições geográficas locais.

Du *et al.* (2024) recomendam integrar o termo inundações compostas (*compound floods*) na compreensão do mapeamento de sistemas fluviais, demonstrando que ignorar a contribuição da precipitação direta e do escoamento superficial local pode resultar em uma subestimação de até 48% na extensão da área de inundação simulada. De modo complementar, o trabalho de Olcese *et al.* (2024) evidencia que o uso de mapas de inundação estáticos, baseados em tempos de retorno fixos (como o TR de 100 anos), frequentemente falha em capturar a variabilidade real dos processos hídricos, ressaltando a necessidade de integrar o escoamento superficial (pluvial) com a vazão do canal (fluvial) para a compreensão do mapeamento de áreas inundáveis.

O termo área úmida (*wetland*) também surge com ocorrência significativa entre os estudos que abrangem áreas sazonalmente inundáveis (Kobiyama, 2003; Hough-Snee *et al.*, 2020; Karim *et al.*, 2020; Minotti *et al.*, 2021; Vepraskas *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2020; Durigan *et al.*, 2022; De Mello *et al.*, 2025; Yang & Na, 2025; Gage *et al.*, 2020; Gonçalves *et al.*, 2025; Hao *et al.*, 2025) com destaque para o estudo de Junk *et al.* (2014) que demonstram a dispersão conceitual nas nomenclaturas das áreas úmidas e como isso impacta na compreensão e proteção dessas áreas, sugerindo compreendê-las como áreas de transição, permanente ou periodicamente inundáveis, ou ainda com solo encharcado, apresentando comunidades da fauna e da flora adaptadas à dinâmica hidrológica, de modo que não apenas as áreas atingidas sazonalmente pelo espelho d'água, mas também a presença de solo encharcado configure como parte integrante da área úmida.

Durigan *et al.* (2022) reiteram a proposta de Junk *et al.* (2014) frisando que a definição do termo “área úmida” permanece incompreendida e pouco abordada no território brasileiro, inclusive em estudos acadêmicos. Ambos os estudos demonstram que as nomenclaturas das fitofisionomias de ambientes ripários podem alterar a classificação normativa e respectiva proteção legal dessas áreas.

Ainda sobre o termo “áreas úmidas” (*wetlands*), o trabalho realizado por De Mello *et al.* (2025) analisou áreas úmidas da Austrália a partir da padronização da convenção Ramsar, a qual apresenta categorização e definições próprias para as áreas úmidas interiores (*inland wetlands*) conforme o regime hídrico e a vegetação típica, como “pântanos herbáceos” (*herb swamp*), “pântano florestado” (*forested swamp*) e “planície de inundação florestada” (*floodplain woodland*), as duas últimas citadas como inundadas sazonalmente.

Jacobson (2013) traz uma proposta de ampliação conceitual dos habitats ribeirinhos para serem compreendidos a partir da dinâmica dos processos geomorfológicos, argumentando que sua delimitação pode ser conceitualmente compreendida a partir da distinção entre escalas temporais hidrodinâmicas e morfodinâmicas, sendo que a primeira refere-se à ocupação espacial recorrente pelas cheias sazonais, sendo associada à estabilidade do canal e à extensão funcionalmente inundada (LMS). A segunda diz respeito a eventos extremos, não sazonais, porém capazes de produzir alterações geomorfológicas significativas e modificar a topografia do sistema fluvial, reconfigurando assim os limites físicos da área de inundação sazonal. Desta forma, o autor traz uma contribuição importante correlacionando que eventos extremos, embora não relacionados diretamente com a delimitação do LMS, são os principais modificadores dos seus limites no horizonte temporal.

Van Tol (2020) aprofunda o conceito hidrogeomorfológico das áreas sazonalmente inundadas estabelecendo uma base teórica sobre como as características do solo são moldadas pelos regimes hídricos ao longo do tempo e Van Tol & Bouwer (2024) avançam, categorizando as famílias de solos em grupos de resposta hidrológica (recarga, interfluxo e responsivo), consolidando assim o termo Hidropedologia que fundamenta os solos como indicadores persistentes de processos hidrológicos que contribuem com a compreensão do seu comportamento, por meio de suas propriedades morfológicas. Essa perspectiva permite conceituar a área de inundação sazonal como um compartimento morfofuncional cuja "memória hidrológica" está gravada no perfil pedológico, fornecendo uma "âncora de realidade" estável para a gestão ambiental na escassez de dados históricos ou, ainda, na ausência de eventos hídricos em uma estação atípica.

Hopkins *et al.* (2024) reforçam a compreensão da planície de inundação como uma unidade geomorfológica funcional e um espaço de interação recorrente entre o canal e as áreas adjacentes, ressaltando a necessidade de caracterizar as dimensões geomórficas no mapeamento de planícies de inundação para compreender suas funções na qualidade da água, nos habitats ribeirinhos e nas dinâmicas de sedimentos.

Scamardo e Wohl (2024) se destacam dos estudos que abrangem áreas inundáveis de grandes rios, como Amazonas, Paraná e Yangtzé (Lin & Song, 2025) ao ampliarem a definição de áreas de inundação sazonal em cursos d'água não perenes, comumente não mapeados e negligenciados em normativas de proteção, demonstrando no estudo que essas áreas, embora secas em parte do tempo, desempenham funções vitais para a recarga de aquíferos, ciclagem de nutrientes e manutenção da biodiversidade específica de ambientes ripários.

Esta perspectiva estabelece que a definição do LMS não deve estar condicionada à perenidade do corpo d'água, mas sim a sua funcionalidade hidrológica e ecológica, reforçando a caracterização e proteção de cursos d'água efêmeros e intermitentes que frequentemente compõem a maior área de influência das redes fluviais.

Zhang *et al.* (2024) analisaram vales de escoamento sob as terminologias *swales* e *concave hillslopes*, definidos como depressões superficiais com solos geralmente mais profundos, que desempenham papel relevante na condução do fluxo de água pluvial e na conexão entre escoamentos superficiais e subsuperficiais com zonas ripárias e fundos de vale. Os autores destacaram a influência de fatores em escala local, como topografia, propriedades do solo, vegetação e microclima, na dinâmica hidrológica desses ambientes, ressaltando a utilização de terminologias específicas para descrever variações associadas a diferentes condições ambientais. Como exemplo, o estudo distinguiu vales ensolarados e sombreados (*sunny swales* e *shady swales*), conforme a orientação da encosta em relação à incidência solar, os quais apresentaram diferenças significativas nos teores de umidade do solo.

O trabalho de Cello *et al.* (2025) demonstrou que a conectividade lateral e o escoamento para jusante só se estabeleceram plenamente após a saturação da capacidade de armazenamento superficial e subterrâneo da planície, regida por limiares geomorfológicos como paleocanais e depressões neotectônicas, reforçando a compreensão do LMS como uma zona de influência hidrológica acumulada, dependente de processos geológicos e geomorfológicos que realizam a retenção hídrica e o amortecimento natural de cheias.

Assim, a literatura analisada demonstra que a vasta dispersão terminológica e conceitual das áreas sazonalmente inundadas, enquanto prejudicam a compreensão e proteção dessas áreas pela ausência de categorias padronizadas e definições claras (Kobiyama, 2003; Junk *et al.*, 2014; Durigan *et al.*, 2022), também revela a fragilidade de definições do LMS a partir de um único critério, sendo que os estudos recentes consolidam uma mudança de paradigma na compreensão das áreas sazonalmente inundadas, transitando de uma delimitação monodisciplinar, binária e estática (Du *et al.*, 2024; Olcese *et al.*, 2024) para a concepção de um ambiente dinâmico, fundamentado em evidências da recorrência da inundação pertencentes a diferentes áreas do conhecimento.

Esse novo modelo é compreendido a partir de um gradiente ecológico multidisciplinar, definido como uma faixa de transição contínua onde as características biológicas e físicas do terreno se alteram em resposta direta à frequência, duração e magnitude da presença de água (Hough-Snee, 2020; Junk *et al.*, 2014; Durigan *et al.*, 2022).

Tal paradigma abrange feições geomorfológicas, pedológicas, bióticas e imageadoras como registros da memória hidrológica e de sua evolução temporal, atuando como “âncoras de realidade” no gradiente (Van Tol, 2020; Cello *et al.*, 2025), compreendendo as modificações antrópicas que mascaram a feição original (Simas *et al.*, 2024) e as especificidades locais, como a conectividade lateral em zonas ripárias de cursos d’água efêmeros e intermitentes e as relações entre os fluxos d’água com o solo e a vegetação, dependentes da escala de análise e do objetivo da classificação (Jacobson, 2013; Scamardo & Wohl, 2024; Hopkins *et al.* 2024; Diehl *et al.* 2025).

Dodds *et al.* (2025) reforçam os achados desta revisão que apontam para uma mudança de paradigma, demonstrando que a dispersão conceitual das zonas ripárias não é apenas semântica, mas reflete a natureza intrinsecamente multidimensional desses ambientes, compreendidos como uma faixa de transição gradual entre o aquático e o terrestre, cuja extensão varia conforme a propriedade ou função considerada, oscilando no tempo em resposta ao regime hidrológico e às mudanças climáticas.

Nesse contexto, o leito maior sazonal emerge como uma expressão espacial da influência hidrológica sazonalmente acumulada onde diferentes abordagens conceituais não representam interpretações excludentes, mas sim perspectivas complementares para interpretá-lo, justificando a necessidade de mapear os distintos métodos empregados na literatura científica para sua delimitação.

4.2 MÉTODOS DE DELIMITAÇÃO DO LMS

A subseção “Métodos de delimitação” foi proposta devido à identificação de metodologias pertencentes a diferentes áreas do conhecimento, com contextos, objetivos, técnicas e escalas de aplicação diversas, organizada assim em três frentes complementares: (i) tipos de métodos, ou seja, sua classificação e caracterização das abordagens; (ii) distribuição espacial dos métodos e escalas de aplicação, que analisa padrões metodológicos em diferentes países, regiões e escalas; e (iii) evolução temporal dos métodos, que examina tendências e mudanças metodológicas ao longo do tempo.

4.2.1 Tipos de métodos empregados

A análise dos estudos possibilitou a classificação em três agrupamentos metodológicos empregados na identificação, análise ou delimitação do leito maior sazonal (LMS): (i) métodos hidrogeomorfológicos; (ii) sensoriamento remoto multitemporal; e (iii) modelagem hidráulica.

A classificação foi construída a partir dos padrões predominantes do *corpus*, organizada conforme o modo predominante de acesso à dinâmica de inundação utilizado em cada estudo, reconhecendo-se sobreposições instrumentais entre os grupos e exceções, abordadas nas seções seguintes.

Os “métodos hidrogeomorfológicos” são centrados em atributos empíricos, possíveis de validação imediata *in loco*, que registram a memória acumulada das inundações sazonais por seus efeitos persistentes na paisagem, como feições topográficas de várzea, solos hidromórficos, altura do lençol freático e vegetação palustre e higrófitas.

O agrupamento “sensoriamento remoto multitemporal” fundamenta-se na análise de séries históricas de imagens ópticas e de radar, distinguindo-se por abordar a recorrência e extensão das inundações ao longo do tempo, também permitindo compreender a evolução do curso d'água e possíveis modificações por sedimentação e obras antrópicas.

O terceiro agrupamento abrange a “modelagem hidráulica”, fundamentada na simulação do comportamento hidrodinâmico sob diferentes condições topográficas, hidrológicas e climáticas. Distingue-se dos demais devido aos limites obtidos resultarem de simulações e não de observação empírica direta.

4.2.1.1 Métodos hidrogeomorfológicos

Os métodos hidrogeomorfológicos partem do princípio de que a forma do relevo e a organização geomorfológica da paisagem condicionam e refletem os processos hidrológicos recorrentes ao longo do tempo, onde a topografia e as características dos solos e da vegetação típica permitem inferir áreas potencialmente sujeitas à inundação, mesmo na ausência de registros hidrológicos diretos. Esses métodos baseiam-se na identificação de indicadores persistentes dos processos hidrológicos, registrando a “memória” das cheias recorrentes por meio de evidências ambientais da dinâmica de inundação (Lin & Song, 2025; Durigan *et al.*, 2022; Van Tol, 2020).

Métodos hidrogeomorfológicos para predição de áreas potencialmente inundáveis frequentemente incorporam Modelos Digitais de Elevação (DEM) ou Modelos Digitais de Terreno (MDT) como base para a extração de métricas do relevo, permitindo derivar variáveis como declividade, área de contribuição e posição relativa em relação à rede de drenagem, associados ao escoamento e à expansão lateral das águas. Nesse contexto, a topografia atua como um importante condicionante físico da dinâmica hidrológica, permitindo a identificação preliminar de áreas potencialmente inundáveis mesmo em bacias com baixa disponibilidade de dados hidrológicos observados (Lin & Song, 2025).

Entre as técnicas mais recorrentes obtidas a partir de um Modelo Digital de Elevação (DEM), destaca-se o uso do modelo HAND (Height Above the Nearest Drainage) para representar a posição do terreno com relação ao sistema de drenagem (Dhote *et al.*, 2023), sendo amplamente utilizado para delimitar a extensão da planície de inundação em larga escala e em bacias com pouca disponibilidade de dados hidrológicos, sendo também amplamente utilizado como dado de entrada para modelos hidráulicos que serão descritos posteriormente (Hopkins *et al.*, 2024; Diehl *et al.*, 2025; Lin & Song, 2025).

Dhote *et al.* (2023) utilizaram o modelo HAND-SRC avaliando como a resolução e a qualidade do MDT condicionam a confiabilidade do mapeamento rápido de planícies de inundação em áreas de baixo relevo, demonstrando que a confiabilidade da delimitação de áreas inundáveis por esses métodos depende fortemente da qualidade e resolução do MDT, bem como da continuidade geomorfológica entre o canal e a planície.

Em escala regional, o estudo de Hopkins *et al.* (2024) propõe o método Floodplain and Channel Evaluation Tool (FACET), que integra parâmetros como geometria do canal, altura relativa ao talvegue (HAND) e área de drenagem, calibrados por províncias fisiográficas. O

estudo reitera Dhote *et al.* (2023) evidenciando limitações relevantes quanto à dependência da qualidade do MDE e do tratamento dos dados.

Diehl *et al.* (2025) propõem incorporar a dimensão funcional na análise das planícies de inundação através do conceito de Zona de Dissipação de Energia (*Energy Dissipation Zone* – EDZ), definida como o compartimento da planície de inundação responsável por armazenar água e reduzir a velocidade das cheias durante eventos de extravasamento fluvial. Os autores utilizam modelos derivados de HAND combinados a dados altimétricos de alta resolução obtidos por LiDAR para identificar automaticamente o ponto de acesso da água à planície, interpretado como um limiar que marca o início da conectividade lateral entre o canal e a planície. Desta forma, o trabalho propõe delimitar setores da planície com base em sua função hidráulica, contribuindo para a identificação de áreas que desempenham papel ativo na atenuação das cheias e na dinâmica lateral dos rios.

Trabalhos como Junk *et al.* (2014) e Durigan *et al.* (2022) propõem que os mapeamentos de áreas úmidas por sensoriamento remoto devem ser complementados com a constatação em campo de evidências físicas, como a verificação *in loco* da presença de solos hidromórficos como um indicador estático dos registros históricos da inundação, conjuntamente com a identificação de vegetação exclusiva de ambientes ripários e a medição da profundidade do lençol freático no período chuvoso. A proposta dos autores permite um maior detalhamento e segurança para fins de ordenamento territorial e gestão de áreas protegidas ao integrar fatores complementares e evidências da recorrência de inundação, bem como possibilita o uso de indicadores acessíveis em locais com ausência de dados, recursos e tecnologias para mapeamentos de maior precisão.

Van Tol (2020) estabelece a base teórica da hidropedologia como ferramenta para o zoneamento de áreas úmidas e ripárias, demonstrando que atributos morfológicos do solo podem registrar a influência de processos hidrológicos recorrentes ao longo do tempo. Van Tol e Bouwer (2024) operacionalizam essa abordagem ao classificar famílias de solos em grupos de resposta hidrológica, permitindo a transição de interpretações qualitativas para a quantificação das funções de saturação e conectividade lateral a partir de levantamentos pedológicos. No contexto da delimitação do LMS, essa abordagem torna-se particularmente relevante em planícies de baixo gradiente topográfico, onde índices derivados de modelos digitais de terreno apresentam menor capacidade discriminatória, e em paisagens com histórico de alteração antrópica, nas quais feições geomorfológicas originais podem ter sido modificadas. Nesses casos, a identificação de solos hidrológicamente responsivos funciona

como evidência pedológica da influência hídrica sazonal, fornecendo um registro persistente na paisagem que complementa inferências baseadas exclusivamente em métricas topográficas ou séries hidrológicas.

De forma complementar, Dodds *et al.* (2025) sistematizam critérios operacionais para delimitação de zonas ripárias que convergem diretamente com os indicadores hidrogeomorfológicos discutidos nesta subseção. Os autores propõem métricas quantitativas baseadas na profundidade do lençol freático e na zona capilar acessível às raízes, na presença de solos hídricos com feições redoximórficas e no intervalo de recorrência de cheias associado a feições geomorfológicas e vegetação adaptada, cada uma vinculada a abordagens metodológicas específicas que incluem levantamentos pedológicos de campo, LiDAR e sensoriamento remoto com validação *in loco*, reforçando que solos hidromórficos, vegetação ripária e feições geomorfológicas como características complementares de um mesmo gradiente de influência hidrológica, cuja integração promove robustez e auditabilidade das delimitações.

Cello *et al.* (2025) validaram uma abordagem multidisciplinar que utiliza feições de microtopografia e indicadores pedológicos para mapear a conectividade em áreas de baixo gradiente topográfico. Através do processamento de Modelos Digitais de Terreno (MDT) derivados de SRTM e LiDAR, integrados a dados de campo, os autores demonstraram que depressões estruturais e paleocanais funcionam como limiares geomorfológicos críticos que controlam a progressão do escoamento. O estudo destaca que a presença de solos hidromórficos com alta concentração de argila atua como uma "âncora de realidade", registrando a memória hidrológica sazonal em terrenos onde a drenagem é pouco organizada e o relevo é sutil.

Nesse contexto, Hough-Snee *et al.* (2020) validam uma abordagem fundamentada em indicadores bióticos integrados a levantamentos altimétricos de campo para identificar gradientes hidrológicos ao longo da planície de inundação. O estudo emprega a Análise de Espécies Indicadoras (*Indicator Species Analysis – ISA*) e ordenações multivariadas por escalonamento não métrico (NMDS) para correlacionar a composição das comunidades vegetais com variações topográficas, onde os resultados demonstraram que determinadas espécies ripárias funcionam como indicadores ecológicos da memória hidrológica sazonal, refletindo padrões de saturação e inundação acumulados no solo ao longo do tempo.

Scamardo & Wohl (2024) propõem protocolos de indicadores de espécies ripárias adaptadas a regimes periódicos de inundação em rios efêmeros e intermitentes, ambientes nos

quais os limites do curso d'água frequentemente são ambíguos ou difíceis de reconhecer em campo.

Desta forma, os estudos demonstram que a vegetação ripária pode ser considerada um indicador indireto da inundação sazonal, revelando uma abordagem que permite a identificação dos limites da zona de influência hidrológica como ferramentas de “verdade de campo”, mesmo em períodos de estiagem ou na ausência de dados e de acesso a tecnologias de monitoramento fluviométrico.

Zhang *et al.* (2024) investigaram a variabilidade da umidade do solo em vales de escoamento (*swales*) por meio de monitoramento *in situ* em múltiplas profundidades, integrando ao Índice de Umidade Topográfica (TWI) variáveis como porosidade do solo, cobertura vegetal e condições microclimáticas. Os resultados indicam que o relevo explica menos da metade da variabilidade hídrica observada em escala de bacia, evidenciando as limitações de abordagens baseadas exclusivamente em atributos topográficos, demonstrando que feições topograficamente favoráveis ao acúmulo de água podem permanecer predominantemente secas quando condicionantes edáficos e ecológicos não favorecem a retenção hídrica. Assim, o trabalho questiona o uso de índices derivados de MDT como indicadores isolados e reforça a necessidade de integrar âncoras de realidade bióticas e pedológicas para capturar a funcionalidade real do leito sazonal e seus gradientes de umidade.

Mary-Lauyé *et al.* (2023) adotam uma abordagem distinta dos demais estudos ao propor o uso de buffers de largura fixa escalonados pela ordem de Strahler — 100 m para cursos de menor ordem e 500 m para canais de maior ordem — como estratégia de proteção territorial em análises de larga escala no Uruguai. O método combina a classificação automatizada da rede de drenagem com mapeamentos de cobertura do solo derivados de sensores Landsat e Sentinel, permitindo identificar zonas ripárias prioritárias mesmo em bacias com limitada disponibilidade de dados hidráulicos. Essa abordagem torna-se particularmente relevante em contextos de baixo gradiente topográfico, onde os limites geomorfológicos da inundação sazonal podem ser pouco definidos ou difíceis de detectar por métricas derivadas de modelos digitais de terreno. Nesses casos, o escalonamento pela ordem fluvial funciona como um critério operacional para delimitar faixas de proteção associadas à rede de drenagem, incluindo também os tributários de menor ordem, que podem representar cerca de 80% da rede hidrográfica e que frequentemente não são contemplados por classificações automatizadas.

Assim, os métodos hidrogeomorfológicos incorporam principalmente a dimensão morfológica do LMS, ao representar o espaço físico que condiciona e possibilita a expansão sazonal das águas. Indicadores pedológicos e vegetacionais são incorporados às abordagens como evidências de campo da influência hídrica recorrente, permitindo validar ou refinar inferências derivadas da condição hidrogeomorfológica.

4.2.1.2 Sensoriamento remoto multitemporal

Os métodos baseados em sensoriamento remoto multitemporal registram diretamente a manifestação espacial e temporal da inundação e das respostas associadas, utilizando séries históricas de imagens orbitais e índices espectrais derivados de sensores ópticos e de radar. Diferentemente de abordagens fundamentadas em evidências materiais da paisagem e das que simulam a extensão potencial da inundação, essas metodologias partem da observação dos registros históricos da paisagem ao longo do tempo a partir de sensores remotos.

Maillard *et al.* (2022) analisaram séries históricas de nível d'água integrando-as com imagens Landsat adquiridas em datas coincidentes aos eventos hidrológicos, demonstrando a associação de dados fluviométricos a evidências espaciais diretas da inundação para delimitar a linha média das enchentes ordinárias. Essa abordagem evidencia o potencial do sensoriamento remoto para representar espacialmente eventos hidrológicos observados e estabelecer correspondência entre registros hidrológicos e a manifestação territorial das cheias.

Estudos que utilizaram séries históricas extensas reforçam a importância da dimensão temporal para compreender o comportamento das planícies de inundação. Abrial *et al.* (2021), ao combinar séries de vazão entre 1905 e 2019 com cartografia de água superficial, demonstraram que a extensão das áreas inundáveis apresenta variações significativas ao longo do tempo, refletindo tanto a variabilidade hidrológica quanto mudanças ambientais na bacia hidrográfica.

De forma semelhante, Mello *et al.* (2025) utilizaram séries de imagens Landsat entre 1987 e 2024 para mapear áreas inundáveis por meio de classificação baseada em múltiplos índices espectrais no ambiente *Google Earth Engine*, evidenciando padrões recorrentes de inundação ao longo de quase quatro décadas.

Ogilvie *et al.* (2025), por sua vez, integraram imagens Landsat, MODIS e Sentinel-2 em um período que se estende da década de 1950 até 2022, aplicando um índice MNDWI

adaptado para reconstruir a dinâmica histórica da água superficial em planícies aluviais. Em conjunto, esses estudos demonstram que a delimitação de áreas sazonalmente inundáveis depende da análise de séries temporais suficientemente longas para capturar a recorrência sazonal, possibilitando identificar anos atípicos e alterações na dinâmica hidrológica.

Avanços metodológicos recentes têm ampliado a capacidade dessas abordagens por meio da incorporação de sensores de radar de abertura sintética (SAR), capazes de detectar a presença de água e variações na umidade do solo independentemente da cobertura de nuvens e com maior capacidade de penetração sob cobertura vegetal. Breznik *et al.* (2025) demonstraram que a sobreposição de imagens SAR com resultados de modelagem hidráulica obtidos no modelo HEC-RAS amplia significativamente a capacidade de identificação de áreas inundadas sob dossel vegetal, evidenciando a complementaridade entre a observação remota e a modelagem hidrodinâmica.

Além da detecção direta da lâmina d'água superficial, abordagens mais recentes têm explorado também a identificação de indicadores indiretos da influência hidrológica recorrente, como o trabalho de Isoaho *et al.* (2023) que integraram dados dos sensores Sentinel-1 (SAR) e Sentinel-2 (óptico) com algoritmos de aprendizado de máquina para mapear a profundidade do lençol freático em áreas úmidas florestadas e abertas. Os resultados demonstram que a combinação entre sensores ópticos e radar permite monitorar mudanças hidrológicas sutis associadas à saturação do solo e à dinâmica do lençol freático.

Nesse sentido, observa-se uma convergência metodológica no uso combinado de dados ópticos e SAR, consolidando-se como abordagem recorrente para o monitoramento de áreas inundáveis em cenários hidrológicos complexos (Lin & Song, 2025).

Yang e Na (2025) abordam indicadores ecológicos detectáveis por SR, demonstrando que sinais fenológicos da vegetação ripária, como padrões sazonais de crescimento, senescência e rebrota, podem ser identificados por meio da análise multitemporal de índices de vegetação derivados de imagens Sentinel-2, como NDVI, EVI, GRVI e WDRVI. Os autores observaram que espécies típicas de ambientes úmidos apresentam respostas fenológicas diretamente associadas ao regime hidrológico, permitindo distinguir vegetação adaptada à inundação sazonal de outros tipos de cobertura vegetal. Dessa forma, os padrões fenológicos da vegetação funcionam como indicadores indiretos da frequência e da duração das cheias, contribuindo para a identificação de áreas potencialmente inseridas na zona de inundação sazonal.

Uma inovação metodológica particularmente relevante é apresentada por Minotti *et al.* (2021), que utilizam séries temporais de coerência interferométrica SAR (InSAR) para mapear padrões hidrológicos recorrentes denominados hidropadrões. Diferentemente das abordagens tradicionais baseadas na intensidade do retroespalhamento, a coerência interferométrica é altamente sensível a mudanças sutis na superfície, como variações na umidade do solo e na estrutura da vegetação. Por meio da aplicação de aprendizado de máquina não supervisionado, utilizando Mapas Auto-Organizáveis (Self-Organizing Maps – SOM), os autores agruparam pixels com comportamentos temporais semelhantes ao longo de ciclos hidrológicos anuais, permitindo identificar zonas de influência hidrológica mesmo sob dossel florestal denso. Essa abordagem amplia significativamente a capacidade de detectar áreas de saturação recorrente, indo além da simples identificação instantânea da lâmina d'água superficial.

De forma complementar, Ahmad *et al.* (2025) propõem métricas espaço-temporais para caracterizar a conectividade lateral entre o canal fluvial e a planície de inundação, a partir da integração de séries temporais de imagens de sensoriamento remoto com dados geoespaciais em ambiente SIG. A abordagem baseia-se na identificação da interseção entre corpos d'água ao longo do tempo, utilizando a presença e ausência de água em imagens multitemporais para derivar métricas que descrevem a frequência, a duração, a recorrência e a sazonalidade da conexão hidrológica entre rios e áreas adjacentes. Ao incorporar múltiplas dimensões da conectividade, o método amplia a capacidade de análise em relação a abordagens baseadas em eventos isolados ou métricas únicas, permitindo uma caracterização mais abrangente da dinâmica hidrológica em planícies de inundação.

Assim, a literatura aponta limitações importantes do sensoriamento remoto que podem subestimar a extensão real das áreas inundadas, especialmente em ambientes com vegetação densa, escoamento difuso e cursos d'água efêmeros, sendo parcialmente superadas através do avanço tecnológico, como a integração entre imagens ópticas e radar (Lin & Song, 2025; Breznik *et al.*, 2025; Isoaho *et al.*, 2023; Minotti *et al.*, 2021).

Além disso, o uso de séries históricas suficientemente representativas e a adequação das resoluções dos sensores constituem parâmetros críticos para a confiabilidade das análises. A resolução temporal é determinante para capturar a recorrência sazonal da inundação e distinguir anos atípicos, enquanto a resolução espacial condiciona o nível de detalhamento e a precisão da delimitação, devendo ambas ser compatíveis com os objetivos e a escala do estudo (Maillard *et al.*, 2022; Abrial *et al.*, 2021; de Mello *et al.*, 2025; Ogilvie *et al.*, 2025).

Observa-se, ainda, uma convergência na literatura quanto à recomendação de integrar o sensoriamento remoto multitemporal a outras abordagens metodológicas, como análises hidrogeomorfológicas e evidências em campo para a validação e confiabilidade dos resultados, identificando dimensões estruturais e funcionais da planície de inundação que não são plenamente observáveis por meio de imagens orbitais (Durigan *et al.*, 2022; Hough-Snee 2020).

Nesse contexto, o sensoriamento remoto multitemporal configura-se como uma abordagem que, por meio de registros históricos, fornece evidências empíricas da manifestação espaço-temporal das cheias, da conectividade lateral e das alterações históricas do curso d'água e de seus limites de extravasamento sazonal, contribuindo para uma representação integrada da dinâmica hidrológica.

4.2.1.3 Modelagem hidráulica

Os métodos baseados em modelagem hidráulica buscam simular o comportamento do fluxo de água sob diferentes condições climáticas, topográficas e hidrológicas, a partir da inserção de dados de entrada, permitindo a estimativa da extensão das áreas inundadas. Nesse contexto, destacam-se as abordagens hidrodinâmicas, que descrevem a dinâmica do escoamento em canais e planícies de inundação, variando desde modelos simplificados até soluções bidimensionais de alta resolução (Lin & Song, 2025).

Entre os modelos hidrodinâmicos bidimensionais, Czuba *et al.* (2019) aplicaram o modelo HEC-RAS 2D utilizando dados topográficos LiDAR e batimetria detalhada do canal principal para analisar a inundação e os padrões de conectividade lateral de cursos de água. Os resultados demonstram que a representação bidimensional da planície permite capturar com maior realismo a difusão da onda de cheia e os fluxos laterais de água, permitindo compreender a dinâmica espacial das áreas sazonalmente inundáveis.

Karim *et al.* (2020), simularam cenários de inundação associados a eventos com tempos de retorno variando entre 1–2 anos e 100 anos através de modelo bidimensional de malha flexível “MIKE21 FM” aplicado a um Modelo Digital de Elevação de alta resolução (5 metros, integração de dados SRTM e LiDAR), calibrado por meio de imagens MODIS e Landsat. Os resultados indicaram uma variação da área inundada de 1.160 km² para 5.450 km² entre os cenários analisados, evidenciando que eventos mais frequentes promovem menor extensão espacial, porém já apresentando conectividade hidrológica entre rios e áreas úmidas,

reforçando a relevância da distinção entre eventos frequentes e raros para a compreensão da dinâmica de inundação por pulsos de cheia sazonais.

Mohanty e Simonovic (2021) investigaram o desempenho de diferentes conjuntos de dados na geração de mapas de inundação para eventos com tempos de retorno de 100 e 200 anos, utilizando o modelo hidrodinâmico global CaMa-Flood. Os autores demonstraram que diferentes bases hidrológicas podem produzir variações significativas na extensão simulada das áreas inundadas, evidenciando que a confiabilidade da delimitação de planícies de inundação depende criticamente da qualidade e representatividade dos dados de entrada utilizados, com destaque às resoluções espacial e temporal dos sensores.

Além da importância de dados hidrológicos confiáveis, o estudo realizado por Qian *et al.* (2024) demonstrou que a representação adequada da topografia também condiciona a confiabilidade dos resultados da modelagem hidráulica, onde a ausência de dados de batimetria do canal principal gera distorções significativas nos níveis d'água simulados em planícies de inundação complexas. Os autores integraram perfis batimétricos detalhados aos Modelos Digitais de Elevação derivados de LiDAR, evidenciando que a modelagem acoplada 1D/2D no HEC-RAS apresenta desempenho superior na representação da propagação da onda de cheia e da conectividade lateral quando comparada a modelos unidimensionais simplificados.

Du *et al.* (2024) evidenciaram a relevância de considerar múltiplos forçantes hidrológicos no processo de modelagem, demonstrando que a omissão da precipitação direta e do escoamento superficial local em modelos hidrodinâmicos pode resultar em uma subestimação de até 48% na extensão das áreas inundadas. De modo complementar, Olcese *et al.* (2024) validaram o uso de *frameworks* estocásticos baseados em múltiplas simulações para integrar o escoamento superficial (pluvial) com a vazão do canal (fluvial), superando as limitações de modelos determinísticos simplificados. Ambos os estudos sugerem que modelos de delimitação de áreas inundáveis não devem se restringir à vazão do canal principal, uma vez que os processos pluviais contribuem significativamente para a dinâmica da inundação, especialmente em bacias urbanizadas.

Além da simulação direta da inundação superficial, estudos eco-hidrológicos têm utilizado modelos de balanço hídrico para investigar a dinâmica hidrológica de áreas úmidas e seus limites funcionais. Vepraskas *et al.* (2020), utilizando o modelo DRAINMOD, avaliaram o deslocamento dos limites hidrológicos de áreas úmidas sob diferentes cenários climáticos, evidenciando a sensibilidade desses sistemas às mudanças nas condições

hidrometeorológicas. Resultados semelhantes foram observados por Jiménez-Bonilha *et al.* (2025), que aplicaram modelos diários de balanço hídrico associados a cenários climáticos RCP para analisar a dinâmica hidrológica de lagos permanentes. Esses estudos destacam a sensibilidade de ambientes úmidos às variações climáticas e aos processos hidrológicos subterrâneos, evidenciando seu caráter dinâmico ao longo do tempo resultando em alterações dos limites da inundação sazonal.

A interação entre processos hidrossedimentológicos e dinâmica ecológica foi investigada por Wang *et al.* (2020) que, a partir de um modelo bidimensional acoplado de fluxo e transporte de sedimentos, demonstraram que cenários de mudança climática podem intensificar a deposição de sedimentos em áreas úmidas, promovendo o aumento da elevação de bancos e planícies, concomitantemente ao rebaixamento do canal principal. Essas alterações morfodinâmicas modificam a topografia e a conectividade hidrológica ao longo do tempo, influenciando a frequência e a extensão das áreas inundáveis e, conseqüentemente, a configuração de habitats em planícies de inundação.

Entre os estudos recentes de modelagem hidráulica, Gailleton *et al.* (2024) apresentaram o algoritmo GraphFlood 1.0, que utiliza uma estrutura baseada em grafos para resolver iterativamente equações de águas rasas em grandes Modelos Digitais de Elevação. Trata-se de uma abordagem de modelagem hidrodinâmica bidimensional que incorpora fundamentos físicos do escoamento, permitindo estimar profundidade de fluxo, descarga e propagação da onda de cheia. Essa abordagem possibilita simular padrões de inundação e delimitar planícies fluviais em grandes áreas com elevada eficiência computacional, constituindo uma alternativa intermediária entre modelos hidrodinâmicos completos de alto custo e métodos simplificados baseados apenas em atributos topográficos.

Arcorace *et al.* (2024) desenvolveram o modelo REFLEX, que propõe uma abordagem híbrida hidrogeomorfológica para simular a distribuição espacial da inundação a partir do relevo, redistribuindo volumes de água sobre o terreno de acordo com a topografia e as conexões hidrológicas da planície. Essa abordagem reduz a dependência de curvas-chave detalhadas e permite sua aplicação em bacias com escassez de dados hidrológicos. De maneira semelhante, Annis *et al.* (2020) propuseram o protocolo GFPLAIN, que integra modelos hidrogeomorfológicos de planície com modelos hidráulicos unidimensionais para prever áreas inundadas em sistemas de alerta precoce de cheias, evidenciando a viabilidade de aplicações operacionais mesmo em regiões com disponibilidade limitada de dados.

A integração entre modelagem hidrológica, hidrodinâmica e ferramentas de apoio à decisão tem sido explorada em estudos voltados à gestão territorial. Baruah *et al.* (2024) propuseram um framework que combina modelagem hidrológica semi-distribuída, modelagem hidrodinâmica bidimensional e análise de decisão multicritério (MCDM), permitindo simular a dinâmica da inundação sob diferentes cenários hidrológicos e, simultaneamente, avaliar a vulnerabilidade de infraestruturas como diques e estradas. A abordagem integra forçantes combinadas, como eventos pluviais extremos e liberações a montante, e utiliza o MCDM para cruzar os resultados físicos da inundação com critérios de risco, possibilitando a identificação de áreas onde a ocupação e a infraestrutura são mais sensíveis à dinâmica de inundação, subsidiando a definição de áreas prioritárias em processos de planejamento e regulação do uso do solo.

Em ambientes urbanos, Simas *et al.* (2024) avaliaram, por meio de modelagem hidrodinâmica com o modelo Caesar-Lisflood associado a dados LiDAR e ortofotografias de alta resolução, como as intervenções antrópicas modificam a dinâmica das planícies de inundação. A abordagem permitiu isolar o impacto da urbanização sobre o escoamento, evidenciando que a ocupação altera significativamente a conectividade superficial — com redução de 77,4% na distância média de escoamento até a rede de drenagem — e restringe o espalhamento lateral das cheias, resultando em maiores profundidades e velocidades de fluxo em determinados setores da planície. Além disso, o uso de geotecnologias de alta resolução possibilitou diferenciar as morfologias fluviais originais daquelas modificadas, evidenciando como a urbanização pode reduzir ou mascarar a extensão das áreas inundáveis.

Tola e Shetty (2024) abordaram a delimitação de áreas inundáveis sob a ótica da não-estacionariedade hidrológica, integrando modelos de Valor Extremo Generalizado (GEV), com inclusão de variáveis climáticas como covariáveis, à modelagem hidráulica no software HEC-RAS. Os resultados demonstraram que modelos estacionários tradicionais podem subestimar a extensão das cheias em até 40%, evidenciando diferenças significativas na área inundada estimada quando se considera a variabilidade temporal dos parâmetros hidrológicos. Esses achados indicam limitações inerentes à adoção de modelos baseados em pressupostos estacionários na representação de regimes hidrológicos dinâmicos, sugerindo que limiares hidrológicos utilizados na delimitação de áreas inundáveis podem variar ao longo do tempo.

Assim, os estudos demonstram que a modelagem hidráulica permite representar, por meio de simulações, a extensão potencial da inundação sob diferentes cenários hidrológicos, incluindo variações de magnitude, múltiplos forçantes e intervenções antrópicas, viabilizando

aplicações automatizadas em grande escala. Avanços recentes, como o uso de dados de alta resolução e a incorporação de técnicas computacionais mais eficientes, têm ampliado a capacidade desses modelos em representar a complexidade real dos fluxos hidrológicos (Arcorace *et al.*, 2024; Annis *et al.*, 2020; Simas *et al.*, 2024).

No entanto, sua confiabilidade permanece fortemente dependente da qualidade e da representatividade dos dados de entrada, bem como das simplificações inerentes aos modelos, o que pode introduzir incertezas na delimitação das áreas inundáveis (Mohanty e Simonovic, 2021; Qian *et al.*, 2024). Por se tratar de uma representação potencial da inundação, e não sua efetiva ocorrência, sua aplicação na delimitação do Leito Maior Sazonal sugere a necessidade de integração com outras abordagens de evidência empírica, como indicadores hidrogeomorfológicos e registros multitemporais.

Em conjunto, esses três blocos metodológicos constituem o núcleo dos métodos mais recorrentes observados nos estudos incluídos nesta pesquisa para delimitação do leito maior sazonal (LMS), destacando que, para cada abordagem, a confiabilidade dos resultados está diretamente condicionada à qualidade das bases de dados utilizadas, com lacunas inerentes a cada método.

Nos métodos hidrogeomorfológicos, a resolução espacial e o condicionamento hidrológico dos Modelos Digitais de Terreno influenciam a capacidade de representação do relevo e da conectividade lateral. Na modelagem hidráulica, a precisão depende prioritariamente da qualidade dos dados topográficos, hidrológicos e batimétricos. Já no sensoriamento remoto, a resolução espacial condiciona o nível de detalhamento e precisão geográfica da delimitação, enquanto a resolução temporal é determinante para capturar a recorrência das inundações e distinguir os eventos sazonais das ocorrências extremas.

Os estudos também evidenciam que diferentes perspectivas capturam dimensões distintas da inundação sazonal. Predominantemente, os métodos hidrogeomorfológicos priorizam a leitura dos condicionantes físicos da paisagem, como relevo, solos e vegetação, enquanto o sensoriamento remoto multitemporal permite observar a variabilidade espaço-temporal da inundação efetivamente registrada pelos sensores. Por sua vez, a modelagem hidráulica possibilita simular a extensão potencial da planície de inundação sob diferentes cenários hidrológicos, com crescente capacidade de aplicação em larga escala, especialmente a partir de modelos computacionalmente eficientes e abordagens híbridas que reduzem a dependência de dados e aumentam precisão.

Uma interpretação complementar pode ser estabelecida a partir da perspectiva temporal de cada abordagem pois, enquanto o sensoriamento remoto multitemporal permite acessar as evidências do passado por meio de séries históricas que capturam a recorrência e a variabilidade dos eventos hidrológicos, os métodos hidrogeomorfológicos fundamentam-se, predominantemente, na análise de evidências físicas observadas no presente, que sintetizam a situação atual pelos processos hidrogeomorfológicos acumulados ao longo do tempo, funcionando como registros persistentes da dinâmica de inundação. Por sua vez, a modelagem hidráulica opera predominantemente em uma perspectiva prospectiva, através da simulação de cenários prováveis de inundação sob diferentes condições, permitindo antecipar comportamentos potenciais do sistema.

Dessa forma, os diferentes métodos não apenas diferem em seus procedimentos técnicos, mas sobretudo na forma como acessam a dimensão temporal da dinâmica fluvial, articulando registros do passado, evidências do presente e projeções de cenários futuros. Ao mesmo tempo, mobilizam distintos tipos de evidência, observacional, inferencial e simulada, que refletem diferentes formas de representar e interpretar a inundação. Essa complementaridade reforça que a delimitação do leito maior sazonal requer abordagens integradas, capazes de representar, de forma consistente, a complexidade espacial, temporal e funcional das áreas sujeitas à inundação. O Quadro 2 apresenta uma síntese dos principais achados para cada grupo metodológico.

Quadro 2. Síntese dos grupos metodológicos para delimitação do LMS.

Critério	Métodos Hidrogeomorfológicos	Sensoriamento Remoto Multitemporal	Modelagem Hidráulica
Dimensão do LMS capturada	Material: condicionamento do relevo e das características dos solos, memória pedológica e biótica das cheias recorrentes	Espaço-temporal: manifestação recorrente registrada das inundações, e respostas associadas	Preditiva: simulação da extensão potencial da inundação sob diferentes cenários hidrológicos, geomorfológicos e climáticos
Técnicas representativas	HAND, FACET, MDT/LiDAR, levantamento pedológico (solos hidromórficos), Análise de Espécies Indicadoras (ISA),	Sentinel-1 SAR, Landsat, Sentinel-2, índices espectrais (NDVI, NDWI, MNDWI, EVI), coerência InSAR, aprendizado de	HEC-RAS 1D/2D, MIKE21 FM, GraphFlood, REFLEX, GFPLAIN, DRAINMOD, CaMa-Flood, Caesar-Lisflood, modelos de

	buffers escalonados por ordem de Strahler	máquina (SOM, TempCNN), métricas de conectividade lateral	balanço hídrico, frameworks estocásticos
Indicadores gerados	Posição topográfica relativa, morfologia de planície, solos responsivos e hidromórficos, espécies indicadoras, profundidade do lençol freático, feições redoximórficas	Frequência e duração da inundação, padrões fenológicos da vegetação, modificações históricas, hidropadrões por coerência SAR, profundidade do lençol freático, métricas de conectividade lateral (frequência, duração, recorrência, sazonalidade)	Extensão da inundação por tempo de retorno, conectividade lateral, profundidade e velocidade do fluxo, tempos de residência, mascaramento de infraestruturas urbanas
Limitação predominante	Dependência da qualidade e resolução do MDT; alterações antrópicas podem mascarar feições originais (Simas <i>et al.</i> , 2024); topografia isolada explica menos da metade da variabilidade hídrica (Zhang <i>et al.</i> , 2024)	Limitações sob dossel florestal denso e cobertura de nuvens; sensores ópticos não detectam inundação subsuperficial; precisão geográfica condicionada à resolução espacial do sensor; necessidade de séries históricas longas e maior resolução temporal para capturar recorrência sazonal	Alta dependência de dados batimétricos, hidrométricos e topográficos de qualidade; modelos estacionários podem subestimar extensão em até 40% (Tola & Shetty, 2024); omissão de forçantes pode subestimar área em até 48% (Du <i>et al.</i> , 2024). Método preditivo, sem registro empírico
Aplicabilidade normativa	Indicadores de campo objetivos e auditáveis para licenciamento e fiscalização ambiental; acessíveis em contextos com escassez de dados e tecnologia	Útil para diagnóstico e monitoramento, assim como mapear alterações históricas do leito; Permite analisar o contexto do entorno e sua evolução histórica	Fornece base técnica para planejamento territorial em maior escala
Estudos representativos no corpus	Dhote <i>et al.</i> (2023); Hopkins <i>et al.</i> (2024); Diehl <i>et al.</i> (2025); Van Tol & Boucher (2024); Hough-Snee <i>et al.</i> (2020); Scamardo & Wohl (2024); Cello <i>et al.</i> (2025); Zhang <i>et al.</i> (2024); Dodds <i>et al.</i> (2025); Mary-Lauyé <i>et al.</i> (2023)	Lin & Song (2025); Minotti <i>et al.</i> (2021); Yang & Na (2025); Maillard <i>et al.</i> (2022); de Mello <i>et al.</i> (2025); Isoaho <i>et al.</i> (2023); Abrial <i>et al.</i> (2021); Ogilvie <i>et al.</i> (2025); Ahmad <i>et al.</i> (2025); Breznik <i>et al.</i> (2025)	Czuba <i>et al.</i> (2019); Karim <i>et al.</i> (2020); Gailleton <i>et al.</i> (2024); Du <i>et al.</i> (2024); Qian <i>et al.</i> (2024); Simas <i>et al.</i> (2024); Baruah <i>et al.</i> (2024); Mohanty & Simonovic (2021); Olcese <i>et al.</i> (2024); Tola & Shetty (2024); Arcorace <i>et al.</i> (2024); Annis <i>et al.</i> (2020)

Fonte: Elaboração própria com base nos estudos incluídos na revisão (2026).

4.2.2 Distribuição espacial e escalas de aplicação dos métodos

A distribuição geográfica dos estudos sobre delimitação do leito maior sazonal (LMS) reflete assimetrias estruturais no acesso a dados, infraestrutura tecnológica e capacidade institucional. Esses fatores não apenas condicionam o volume de publicações por país, mas determinam o espectro de abordagens metodológicas disponíveis em cada contexto, com implicações diretas sobre a transferibilidade dos métodos e sua adequação à gestão de áreas protegidas.

Em países com maior desenvolvimento econômico e tecnológico, observa-se não apenas predominância em número de publicações, mas também maior diversidade e sofisticação das abordagens. Nos Estados Unidos, a disponibilidade de Modelos Digitais de Terreno de alta resolução obtidos por LiDAR, associada a séries hidrológicas extensas e bases geoespaciais integradas, viabiliza desde modelagens hidráulicas detalhadas (Qian *et al.*, 2024; Czuba *et al.*, 2019) até estudos conceituais que questionam padrões fixos de delimitação de planícies de inundação (Highfield *et al.*, 2013; Sanchez *et al.*, 2024).

As aplicações concentram-se predominantemente em escalas locais e de bacia hidrográfica, voltadas à gestão de risco, análise da conectividade lateral e suporte ao planejamento urbano (Ahmad *et al.*, 2025; Mason *et al.*, 2025; Cain *et al.*, 2025). Destacam-se também abordagens que utilizam a vegetação como indicadora de áreas sazonalmente inundadas, com base na correspondência entre comunidades vegetais e gradientes de saturação hídrica (Hough-Snee, 2020).

No mesmo eixo de intensificação tecnológica, a China apresenta crescimento expressivo na integração entre sensoriamento remoto e modelagem hidrodinâmica, com aplicações frequentemente em larga escala e foco na dinâmica hidrossedimentológica e ecológica de grandes planícies aluviais (Wang *et al.*, 2020; Du *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025).

Na Europa, os estudos identificados concentram-se em aplicações locais e regionais, incluindo a validação da complementaridade entre dados SAR e modelagem hidráulica (Breznik *et al.*, 2025), a modelagem do equilíbrio hídrico de áreas úmidas sob cenários climáticos (Jiménez-Bonilla *et al.*, 2025) e a fusão de dados Sentinel-1 e Sentinel-2 para mapeamento do lençol freático (Isoaho *et al.*, 2023). Observam-se ainda propostas de modelagem hidráulica simplificada aplicáveis a contextos com escassez de dados (Annis *et al.*, 2020; Arcorace *et al.*, 2024).

Em contraste, em regiões com menor disponibilidade de dados e infraestrutura tecnológica, como países da África e da América Latina, a escassez de dados de alta qualidade direciona o uso de abordagens mais simplificadas. Métodos baseados em Modelos Digitais de Elevação a partir de imagens de menor resolução, de acesso público, como o HAND (Height Above the Nearest Drainage), configuram soluções operacionais viáveis, ainda que associadas a maior grau de generalização e incerteza (Dhote *et al.*, 2023; Hopkins *et al.*, 2024). Estratégias adaptativas também são observadas, como a proposta de Mary-Lauyé *et al.* (2023), que empregou buffers escalonados conforme a ordem de Strahler dos cursos d'água, com faixas mais amplas para ordens superiores, possibilitando a definição de parâmetros normativos em larga escala, especialmente em contextos de topografia plana e delimitação difusa dos corpos hídricos. Destaca-se, na África do Sul, a aplicação da hidropedologia, com a categorização de solos em grupos de resposta hidrológica como base para o zoneamento de áreas úmidas e ripárias (Van Tol, 2020; Van Tol & Bouwer, 2024).

O Brasil ocupa posição particular nesse panorama. Embora inserido no contexto de países em desenvolvimento, apresenta abordagens fortemente articuladas ao arcabouço legal e ambiental vigente (Junk *et al.*, 2014; Durigan *et al.*, 2022; Maillard *et al.*, 2022). Esse perfil reflete a centralidade da delimitação do LMS no ordenamento territorial nacional, uma vez que as fronteiras estabelecidas têm implicações e questionamentos sobre a extensão das Áreas de Preservação Permanente de cursos d'água. Esse contexto impõe a necessidade de análises em escala local, com mapeamento preciso e validação em campo (Durigan *et al.*, 2022), tornando abordagens simplificadas ou de larga escala limitadas quando aplicadas diretamente à delimitação de áreas protegidas ou ausência de proteção legal de áreas sensíveis.

Independentemente do contexto geográfico, a escala de aplicação constitui fator determinante na escolha e no desempenho dos métodos. Estudos em larga escala tendem a empregar abordagens mais generalizadas e computacionalmente eficientes, enquanto análises locais incorporam maior detalhamento, incluindo dados batimétricos, múltiplos forçantes hidrológicos e validação empírica (Qian *et al.*, 2024; Du *et al.*, 2024). Os métodos de sensoriamento remoto multitemporal ilustram essa flexibilidade escalar, desde estudos locais com validação de respostas ecológicas (Maillard *et al.*, 2022) até análises regionais voltadas à identificação de padrões hidrológicos e variabilidade de longo prazo (Abrial *et al.*, 2021; Ogilvie *et al.*, 2025). Contudo, conforme discutido na subseção anterior, sua eficácia depende diretamente da resolução espacial e temporal dos sensores e da capacidade de superar

interferências como a cobertura vegetal, limitações que se intensificam em contextos com menor acesso tecnológico.

A consistência entre métodos varia ainda conforme o contexto hidroambiental. Lin e Song (2025) indicam maior convergência em grandes sistemas fluviais, ao passo que ambientes áridos, semiáridos ou com regimes hidrológicos efêmeros apresentam maior incerteza, reforçando a necessidade de abordagens contextualizadas (Scamardo & Wohl, 2024). Diante dessas limitações, observa-se uma tendência crescente de integração metodológica, combinando modelagem hidráulica, sensoriamento remoto e indicadores hidrogeomorfológicos como estratégia para reduzir incertezas e ampliar a robustez das delimitações (Breznik *et al.*, 2025).

Em síntese, a escolha dos métodos de delimitação do LMS transcende uma decisão estritamente metodológica, sendo geograficamente condicionada pela disponibilidade e qualidade dos dados, pelo acesso a tecnologias, pelas capacidades institucionais e pelas características naturais dos sistemas fluviais. Para a gestão de áreas protegidas, isso implica uma consequência direta: métodos validados em contextos de alta infraestrutura técnica não são diretamente transferíveis para realidades com restrições de dados e recursos, sob risco de produzir delimitações imprecisas, com consequências jurídicas e ambientais significativas. A interpretação dos resultados deve, portanto, ser necessariamente situada, e a integração de abordagens, sempre que viável, constitui a estratégia mais consistente para ampliar a confiabilidade das delimitações e sua adequação às diferentes escalas e realidades de aplicação.

4.2.3 Evolução temporal dos métodos

Os trabalhos mais antigos concentram-se na calibração e validação de modelos hidrológicos com base em séries históricas de nível e vazão (Abrial *et al.*, 2021; Lin & Song, 2025) e estudos clássicos da hidrologia e geomorfologia fluvial, que definiram a relação entre a magnitude e a frequência das cheias e a morfologia dos canais e planícies (Leopold *et al.*, 1964; Wolman & Miller, 1960). Hupp & Osterkamp (1996) avançaram ao demonstrar que a vegetação ripária responde e registra os gradientes hidrológicos da planície, estabelecendo a base para o uso de espécies indicadoras como critério de delimitação de zonas ripárias.

Embora limitadas na representação explícita dos processos hidrodinâmicos, essas metodologias estabeleceram a base conceitual sobre a qual os desenvolvimentos posteriores se

apoiaram, fundamentando a compreensão de que feições geomorfológicas, pedológicas e bióticas constituem registros persistentes da dinâmica fluvial recorrente, sobre os quais os métodos contemporâneos de delimitação do LMS se apoiam, seja para validar inferências topográficas, seja como evidências primárias em contextos com escassez de dados (Lin & Song, 2025; Abrial et al., 2021; Dodds *et al.*, 2025).

Com a ampliação da disponibilidade de dados orbitais e o avanço da capacidade computacional, o sensoriamento remoto multitemporal consolidou-se como ferramenta central na análise de áreas inundáveis. A incorporação de séries históricas extensas, inicialmente com sensores ópticos e, posteriormente, com a integração de dados SAR, possibilitou a observação empírica da inundação ao longo do tempo, permitindo identificar padrões recorrentes, variabilidade sazonal e mudanças associadas a fatores climáticos e antrópicos (Abrial *et al.*, 2021; Mello *et al.*, 2025; Ogilvie *et al.*, 2025). Segundo Lin e Song (2025), esse avanço se intensifica a partir de aproximadamente 2015, com crescimento expressivo das publicações após 2020, impulsionado por melhorias na resolução dos sensores e pela incorporação de técnicas de aprendizado de máquina, consolidando o sensoriamento remoto como principal ferramenta para monitoramento hidrológico em múltiplas escalas.

Paralelamente, a modelagem hidráulica evoluiu de representações unidimensionais simplificadas para abordagens bidimensionais e acopladas, com maior capacidade de representar a propagação da onda de cheia, a conectividade lateral e a interação entre múltiplos forçantes hidrológicos. Estudos como Czuba *et al.* (2019), Karim *et al.* (2020) e Qian *et al.* (2024) demonstram o ganho de realismo associado ao uso de dados de alta resolução, como LiDAR e batimetria detalhada, enquanto abordagens mais recentes incorporam frameworks híbridos e algoritmos computacionalmente mais eficientes (Gailleton *et al.*, 2024; Arcorace *et al.*, 2024), ampliando sua aplicabilidade em diferentes contextos, inclusive sob restrições de dados.

Além dos avanços técnicos, observa-se uma mudança conceitual relevante com a incorporação da não-estacionariedade hidrológica. Estudos que integram variáveis climáticas e múltiplos cenários hidrológicos na modelagem de inundações (Tola & Shetty, 2024) evidenciam que a variabilidade temporal dos parâmetros hidrológicos pode alterar significativamente a extensão das áreas inundáveis, indicando limitações de abordagens baseadas em pressupostos estacionários.

Por fim, a literatura recente aponta como tendência dominante a integração entre métodos, combinando modelagem hidráulica, sensoriamento remoto e indicadores

hidrogeomorfológicos, frequentemente associada ao uso de aprendizado de máquina e ferramentas de apoio à decisão (Breznik *et al.*, 2025; Lin e Song, 2025; Durigan *et al.*, 2022; Dodds *et al.*, 2025). Essa convergência metodológica reflete o reconhecimento de que nenhum método isolado é suficiente para representar a complexidade dos sistemas fluviais, consolidando a mudança de paradigma para abordagens multimetodológicas como estratégia dominante na delimitação do LMS e, em particular, na definição robusta de áreas protegidas em sistemas fluviais complexos.

4.3 SÍNTESE E IMPLICAÇÕES PARA A GESTÃO AMBIENTAL

A análise integrada dos estudos evidencia que a delimitação do leito maior sazonal (LMS) não pode ser adequadamente estabelecida a partir de uma única abordagem metodológica, uma vez que os diferentes métodos acessam dimensões complementares da dinâmica fluvial. Os métodos hidrogeomorfológicos interpretam evidências físicas persistentes da paisagem como registros acumulados da recorrência das cheias; o sensoriamento remoto multitemporal permite observar empiricamente a variabilidade e a recorrência da inundação ao longo do tempo; e a modelagem hidráulica projeta cenários potenciais sob diferentes condições hidrológicas. Essa articulação entre registros do passado, evidências do presente e simulações de cenários futuros evidencia que o LMS deve ser compreendido como um compartimento morfofuncional dinâmico, cuja delimitação depende da integração entre evidências estruturais, observacionais e processuais.

Nesse contexto, a literatura converge ao questionar abordagens baseadas em limites fixos e dicotômicos, evidenciando que a inundação sazonal se manifesta como um gradiente espacial e funcional, condicionado pela frequência, duração e magnitude dos eventos hidrológicos (Highfield *et al.*, 2013; Junk *et al.*, 2014; Hough-Snee, 2020; Du *et al.*, 2024; Olcese *et al.*, 2024). Ao mesmo tempo, essa convergência convive com limitações importantes quanto à escala de aplicação e à adequação dos métodos aos objetivos da delimitação. Enquanto grande parte dos estudos opera em escalas regionais ou de bacia, com foco em análise de risco ou monitoramento hidrológico, a delimitação do LMS para fins de licenciamento ambiental e ordenamento territorial demanda análises em escala local, com maior resolução espacial e validação empírica, dado que pequenas variações métricas podem produzir impactos significativos sobre a definição de áreas protegidas (Durigan *et al.*, 2022; Qian *et al.*, 2024; Hopkins *et al.*, 2024).

Outra divergência recorrente refere-se à distinção entre abordagens orientadas a eventos extremos e aquelas voltadas à recorrência sazonal. Modelos hidráulicos baseados em tempos de retorno elevados tendem a representar cenários de inundação raros, que não correspondem necessariamente à dinâmica ordinária que define o LMS, associada a cheias mais frequentes (Highfield *et al.*, 2013; Karim *et al.*, 2020; Sanchez *et al.*, 2024). A utilização de parâmetros inadequados pode, portanto, resultar na super ou subestimação das áreas efetivamente sujeitas à inundação sazonal, com consequências diretas sobre a extensão da proteção ambiental.

A literatura evidencia ainda uma assimetria geográfica na produção científica e na aplicação dos métodos, conforme discutido na seção 4.2.2. Países com maior disponibilidade de dados e infraestrutura tecnológica concentram o desenvolvimento de abordagens sofisticadas como modelagem hidráulica de alta resolução e sensoriamento remoto preciso, enquanto regiões com limitações técnicas e institucionais recorrem com maior frequência a métodos simplificados (Lin & Song, 2025; Dhote *et al.*, 2023; Mary-Lauyé *et al.*, 2023; Durigan *et al.*, 2022). Essa desigualdade condiciona não apenas a escolha metodológica, mas também a capacidade de validação e a robustez das delimitações, impondo desafios adicionais à aplicação desses métodos no contexto brasileiro.

A revisão evidencia também lacunas relevantes na literatura. Destaca-se a ausência de protocolos operacionais consolidados para contextos com escassez de dados, como municípios de menor porte, onde a capacidade técnica e a disponibilidade de informações são frequentemente insuficientes para a aplicação dos métodos de maior precisão (Hopkins *et al.*, 2024; Dhote *et al.*, 2023; Durigan *et al.*, 2022). Observa-se ainda a sub-representação de rios efêmeros e intermitentes nos estudos de delimitação do LMS, apesar de sua relevância hidrogeológica (Scamardo & Wohl, 2024), bem como a escassez de estudos que testem empiricamente a combinação de indicadores em processos reais de licenciamento ambiental. Soma-se a isso a persistência de uma diversidade terminológica e conceitual não consolidada, incluindo termos como várzeas, planícies de inundação, zonas ripárias, áreas úmidas, entre outros, dificultando a aplicação de parâmetros normativos claros e ampliando a insegurança jurídica (Kobiyama, 2003; Medeiros, 2013; Junk *et al.*, 2014; Durigan *et al.*, 2022).

Apesar dessas limitações, observa-se uma tendência consistente de integração metodológica nos estudos mais recentes. A combinação entre modelagem hidráulica, sensoriamento remoto e indicadores hidrogeomorfológicos tem sido adotada como estratégia para reduzir incertezas e ampliar a consistência das delimitações (Breznik *et al.*, 2025; Lin &

Song, 2025). Nesse processo, indicadores biofísicos funcionam como âncoras empíricas da dinâmica de inundação: solos hidromórficos, padrões de vegetação e feições geomorfológicas identificáveis em campo ou por dados de alta resolução registram a recorrência hidrológica efetivamente ocorrida na paisagem e conferem base material às interpretações, reduzindo incertezas associadas a simulações e evidenciando limites funcionais que critérios geométricos fixos não são capazes de capturar (Cello *et al.*, 2025; Yang & Na, 2025; Scamardo & Wohl, 2024).

A dinâmica dos limites das áreas inundáveis impõe desafios adicionais à sua delimitação. A literatura indica que esses limites não são estáticos, sofrendo deslocamentos em resposta a processos hidrossedimentológicos, mudanças climáticas e intervenções antrópicas (Wang *et al.*, 2020; Jacobson, 2013; Vepraskas *et al.*, 2020; Tola & Shetty, 2024). Em contextos urbanizados, esse problema é agravado pelas alterações morfológicas induzidas pela ocupação: Simas *et al.* (2024) demonstraram, por meio de modelagem hidrodinâmica com dados LiDAR, que estruturas urbanas restringem o espalhamento natural das cheias, evidenciando que o estreitamento artificial dos canais não deve justificar a supressão da proteção legal de ecossistemas ripários. Reconhecer que o sistema fluvial possui uma memória física de conectividade e armazenamento é, portanto, condição para que a gestão de áreas protegidas não se baseie em simplificações que desconsideram essa realidade funcional.

Para a gestão ambiental, esses resultados indicam a necessidade de superar abordagens simplificadas e avançar para critérios capazes de incorporar a variabilidade hidrológica e as especificidades locais. Isso inclui a utilização de múltiplas linhas de evidência na delimitação do LMS, a realização de validações em campo e a orientação por princípios do direito ambiental, como o *in dubio pro natura* (Cappelli, 2021) e o princípio da vedação ao retrocesso ambiental (Priour, 2012). Esses fundamentos sustentam a crítica técnica a simplificações normativas recentes, tanto no âmbito federal, com o regime de proteção das APPs definido a partir da borda da calha do leito regular (Brasil, 2012), quanto no âmbito municipal, com a adoção do eixo do curso d'água como referência no Plano Diretor de Sorocaba (Sorocaba, 2025), ambas resultando em perda significativa da proteção de áreas sazonalmente inundáveis (Chaves *et al.*, 2023; Durigan *et al.*, 2022).

Dodds *et al.* (2025) oferecem um argumento técnico com implicações normativas diretas ao proporem que, quando múltiplas propriedades são relevantes para a delimitação de zonas ripárias, deve prevalecer aquela que exige maior largura de *buffer*, uma vez que, ao atendê-la, as demais funções ecossistêmicas tendem a ser preservadas simultaneamente. Esse

entendimento converge com o princípio jurídico-ambiental do *in dubio pro natura* aqui abordado, segundo o qual a incerteza deve resultar em maior proteção, e reforça que a adoção de critérios simplificados na legislação tende a fragilizar a proteção ambiental ao privilegiar sistematicamente o critério de menor abrangência.

Nesse cenário, a definição de diretrizes técnicas operacionais constitui um caminho concreto para traduzir os avanços metodológicos identificados na literatura em instrumentos aplicáveis à gestão ambiental e ao ordenamento territorial. A partir da sistematização dos métodos, indicadores e lacunas identificados nesta revisão, foi elaborada uma proposta de minuta de resolução técnica acompanhada de protocolo de procedimento operacional (Apêndice B), estruturada com base nos achados e agrupamentos metodológicos identificados no *corpus* analisado, orientada pelos princípios do direito ambiental discutidos neste trabalho. O produto busca reduzir a distância entre a produção científica e sua aplicação prática em processos de licenciamento ambiental, fiscalização e planejamento territorial.

O protocolo foi concebido no formato de manual técnico destinado prioritariamente aos órgãos ambientais, com foco na identificação e delimitação do leito maior sazonal em processos de licenciamento e fiscalização ambiental, assim como aplicações em escalas mais amplas de planejamento, incluindo a elaboração de planos diretores, delimitação de unidades de conservação, definição de zonas de amortecimento e identificação de áreas prioritárias para conservação.

As diretrizes propostas organizam a análise em três níveis progressivos de investigação, definidos de forma proporcional à complexidade da área analisada, à relevância ambiental do caso, ao grau de incerteza remanescente e à disponibilidade de dados. O Nível I, de aplicação obrigatória, contempla vistoria de campo para identificação de indicadores hidrogeomorfológicos, incluindo a avaliação visual de características do solo, da vegetação e de outras evidências da dinâmica de inundação, associada a procedimentos baseados em dados de livre acesso ao órgão ambiental, como análise documental, imagens orbitais históricas e cartografia pública. O Nível II incorpora informações complementares diante de contestações fundamentadas ou limitações relevantes identificadas na etapa anterior, podendo envolver a aquisição de dados e serviços especializados, como levantamentos pedológicos, monitoramento sazonal da extensão da lâmina d'água e imagens ópticas de maior resolução espacial e representatividade temporal. O Nível III compreende métodos de elevada complexidade técnica e maior detalhamento espacial, destinados a situações de maior relevância socioambiental ou elevada incerteza, mediante justificativa técnica do órgão

ambiental, incluindo monitoramento piezométrico sazonal, dados LiDAR e levantamentos por drones.

Embora permita flexibilidade metodológica e adequação às particularidades locais, o protocolo estabelece critérios mínimos de análise e documentação, exigindo o registro das evidências utilizadas, dos procedimentos adotados e das justificativas técnicas para as decisões tomadas. Dessa forma, busca-se ampliar a rastreabilidade, a transparência e a padronização institucional dos processos de delimitação do leito maior sazonal.

Assim, a delimitação do leito maior sazonal deve ser compreendida não apenas como um procedimento técnico, mas como um instrumento estratégico de gestão territorial, com implicações diretas sobre a conservação de ecossistemas ripários, a mitigação de riscos hidrológicos e a regulação do uso e ocupação do solo. A incorporação de abordagens integradas, baseadas em múltiplas evidências e ancoradas na realidade biofísica da paisagem, representa um avanço fundamental para alinhar a delimitação do LMS à dinâmica funcional dos sistemas fluviais e à efetividade das políticas públicas de proteção ambiental.

5 CONCLUSÕES

Esta revisão de escopo possibilitou o mapeamento de métodos, indicadores, terminologias e conceitos associados à delimitação do leito maior sazonal (LMS), evidenciando que a elevada dispersão conceitual e ausência de padronização normativa dificultam a compreensão e a proteção legal desses ambientes. Os estudos analisados também indicam uma tendência de mudança de paradigma na compreensão do fenômeno, que deixa de ser tratado como um limite binário e passa a ser compreendido como um gradiente multifatorial condicionado pela frequência, duração e magnitude das inundações, refletindo nas características hidrológicas, geomorfológicas e biológicas da paisagem.

Os métodos identificados foram organizados em três agrupamentos analíticos, definidos pelo modo predominante de acesso à dinâmica de inundação: os métodos hidrogeomorfológicos interpretam evidências físicas e biológicas persistentes na paisagem; o sensoriamento remoto multitemporal permite observar empiricamente a ocorrência, extensão e variabilidade das inundações ao longo de séries históricas; e a modelagem hidráulica projeta cenários potenciais sob diferentes condições hidrológicas, geomorfológicas e climáticas. Cada agrupamento utiliza indicadores de naturezas distintas, com premissas, escalas de aplicação e limitações próprias, sendo a disponibilidade de dados e a capacidade técnica e institucional fatores contextuais determinantes para a aplicação.

Os resultados evidenciam que os diferentes métodos capturam dimensões complementares do fenômeno e que a literatura recente reconhece a necessidade de abordagens integradas como estratégia para reduzir incertezas e ampliar a confiabilidade das delimitações. Essa convergência foi reforçada pela identificação, na etapa final desta pesquisa, de estudo internacional desenvolvido de forma independente e com método diverso, que chegou a conclusões similares.

Entre as principais lacunas identificadas destacam-se a ausência de padronização normativa dos ecossistemas sazonalmente inundados, assim como estudos e protocolos operacionais consolidados para a delimitação do LMS.

No âmbito normativo, os achados desta revisão permitem avaliar criticamente a substituição do LMS por parâmetros simplificados, como a borda da calha do leito regular ou o eixo do curso d'água, que tendem a excluir áreas sazonalmente inundáveis funcionalmente associadas aos sistemas fluviais. Essa tendência, observada na legislação federal, e na

legislação municipal de Sorocaba durante o desenvolvimento desta pesquisa, contrasta com a complexidade ambiental evidenciada pelo *corpus* analisado.

Embora o LMS não constitua mais parâmetro legal obrigatório, os resultados indicam que ele permanece como importante referência técnico-científica para a compreensão da extensão funcional das áreas sazonalmente inundáveis. À luz do princípio do *in dubio pro natura* e da vedação ao retrocesso ambiental, a incerteza técnica inerente à delimitação dessas áreas deve orientar a adoção de critérios mais protetivos, onde a exclusão da inundação sazonal como critério normativo de delimitação representa perda expressiva na proteção de ambientes essenciais à manutenção da biodiversidade e à regulação climática.

Como produto técnico desta pesquisa, foi elaborada uma proposta de minuta de resolução técnica com protocolo operacional (Apêndice B), no formato de manual técnico para órgãos ambientais, contendo diretrizes para subsidiar a identificação e delimitação do LMS em processos de licenciamento ambiental, ordenamento territorial e fiscalização ambiental.

Entre as limitações da pesquisa destaca-se a condução das etapas de triagem e seleção dos estudos por um único revisor, condição reconhecida como limitação metodológica do trabalho. Com o objetivo de reduzir potenciais vieses, foram adotadas medidas mitigadoras descritas na seção 2.5.

Para pesquisas futuras, recomenda-se a validação empírica do protocolo proposto em casos reais de licenciamento ambiental, preferencialmente em bacias com diferentes níveis de disponibilidade de dados, bem como o desenvolvimento de estudos voltados à delimitação do LMS, especialmente em cursos d'água complexos, como rios efêmeros, intermitentes, meandrosos ou sem leito definido.

Conclui-se que a compreensão e a delimitação desses ambientes dependem da integração de múltiplas linhas de evidência capazes de representar a complexidade dos processos hidrológicos, geomorfológicos e ecológicos envolvidos. Nesse contexto, abordagens integradas e adaptativas mostram-se mais compatíveis com a dinâmica dos sistemas fluviais e com a necessidade de assegurar proteção ambiental efetiva às áreas sazonalmente inundáveis.

REFERÊNCIAS

- ABRIAL, E.; LORENZÓN, R. E.; RABUFFETTI, A. P.; BLETTLER, M. C.; ESPÍNOLA, L. A. Hydroecological implication of long-term flow variations in the middle Paraná river floodplain. *Journal of Hydrology*, v. 603, p. 126957, 2021.
- AHMAD, H.; MIRANDA, L. E.; DUNN, C. G.; BOUDREAU, M. R.; COLVIN, M. E.; DASH, P. Confluence of Time and Space: An Innovation for Quantifying Dynamics of Hydrologic Floodplain Connectivity With Remote Sensing and GIS. *River Research and Applications*, v. 41, n. 5, p. 1014-1029, 2025. <https://doi.org/10.1002/rra.4426>
- ANNIS, A.; NARDI, F.; PETROSELLI, A.; APOLLONIO, C.; ARCANGELETTI, E.; TAURO, F.; BELLI, C.; BIANCONI, R.; GRIMALDI, S. UAV-DEMs for Small-Scale Flood Hazard Mapping. *Water*. 2020. <https://doi.org/10.3390/w12061717>
- ARCORACE, M.; LIBERTINO, A.; ALFIERI, L.; GABELLANI, S.; MATANÒ, A.; MASOERO, A.; BASSO, V.; BONI, G. REFLEX—A novel method for the rapid estimation of flood extent. *Journal of Flood Risk Management*, v. 17, n. 4, p. e13034, 2024.
- ARKSEY, H.; O'MALLEY, L. Scoping studies: towards a methodological framework. *International journal of social research methodology*, v. 8, n. 1, p. 19-32, 2005.
- BARUAH, A.; BARMAN, D.; ARJUN, B. M.; CHYNE, B. L.; AGGARWAL, S. P. Holistic framework for flood hazard assessment in a trans-boundary basin. *Acta Geophysica*, v. 72, n. 2, p. 1017-1032, 2024.
- BOZELLI, R. L.; FARIAS, D. D. S.; LIMA, S. K. F.; LIRA, R. T. S.; NOVA, C. C.; SETUBAL, R. B.; SODRÉ, E. O. Pequenas áreas úmidas: importância para conservação e gestão da biodiversidade brasileira. *Biodiversidade e gestão*, v. 2, n. 2, p. 122-138, 2018.
- BRADBURY-JONES, C.; AVEYARD, H.; HERBER, O. R.; ISHAM, L.; TAYLOR, J.; O'MALLEY, L. Scoping reviews: the PAGER framework for improving the quality of reporting. *International Journal of Social Research Methodology*, 25, 457 - 470, 2021.
- BRASIL. *Constituição da República Federativa do Brasil de 1988*. Brasília, DF: Presidente da República. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em 28 out. 2024.
- BRASIL. *Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012*. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm. Acesso em: 19 out. 2024.
- BREZNIK, J.; OŠTIR, K.; RAK, G. The potential of Sentinel-1 imagery for flood event detection: A satellite vs. hydraulic model comparison. *Journal of Hydrology*, v. 651, p. 132587, 2025.
- CAIN, M. R.; HIXSON, J. L.; JONES, C. N.; RHOADS, B. L.; WARD, A. S. Empirical evidence of dynamic hydrogeomorphic feature inundation in a lowland floodplain. *Hydrological Processes*, v. 39, n. 1, p. e70043, 2025.

CAPPELLI, S. In dubio pro natura. *Revista do Ministério Público do Rio Grande do Sul*, v. 1, n. 89, p. 111-136, 2021.

CELLO, P. A.; KRÖHLING, D. M.; BRUNETTO, E.; MARIZZA, M., ZALAZAR, M. C.; GARCÍA, R.; NALESSO, M.; ARTIGAS, J.; CÓRDOBA, J. R. Modeling of non-floodplain wetlands in an upstream basin of the Pampa Plain, Argentina, during current hydro-climatic extreme conditions: Geomorphological thresholds controlling hydrodynamics. *Global and Planetary Change*, v. 248, p. 104768, 2025.

CHAVES, L. A.; NEVES, S. M. A. D. S.; PIERANGELI, M. A. P.; CASTRILLON, S. K. I.; KREITLOW, J. P. Mudança do regime de proteção das Áreas de Preservação Permanentes no código florestal de 2012. *Ambiente & Sociedade*, v. 26, p. e02112, 2023.

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. 2.Ed., São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 188p.

CONAMA. Resolução Nº 4 de 18 DE SETEMBRO DE 1985. O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE tendo em vista o que estabelece a Lei 4.771, de 15 de setembro de 1965, alterada pela lei 6.535, de 15 de junho de 1978, e pelo que determina a Resolução CONAMA 008/84. *Estabelece critérios para as Áreas de Preservação Permanente*. Disponível em: https://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/legislacao/federal/resolucoes/1985_res_conama_4.pdf. Acesso em 12/05/2025.

CZUBA, J. A.; DAVID, S. R.; EDMONDS, D. A.; WARD, A. S. Dynamics of surface-water connectivity in a low-gradient meandering river floodplain. *Water Resources Research*, v. 55, n. 3, p. 1849-1870, 2019.

DE MELLO, K.; DOS SANTOS JUNIOR, E. R.; GARCIA, E. A.; RICHARDS, A. E., WAUGH, P. S.; HUXLEY, J.; LINKE, S. Wetland dynamics in northern Australia's tropical savanna (1987–2024): a multi-index Google Earth Engine approach for long-term monitoring. *Ecological Indicators*, v. 178, p. 114047, 2025.

DHOTE, P. R.; JOSHI, Y.; RAJIB, A.; THAKUR, P. K.; NIKAM, B. R.; AGGARWAL, S. P. Evaluating topography-based approaches for fast floodplain mapping in data-scarce complex-terrain regions: Findings from a Himalayan basin. *Journal of Hydrology*, v. 620, p. 129309, 2023.

DIEHL, R. M.; LAWSON, K. S.; UNDERWOOD, K. L.; SCAMARDO, J. E.; CLEMINS, P. J.; WEMPLE, B. C. Identifying hydraulically distinct floodplain types from high resolution topography with implications for broad-scale flood routing. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, v. 130, n. 4, p. e2024JF007984, 2025.

DODDS, W. K., BARMUTA, L. A.; BERNAL, S.; CORMAN, J.; HARMS, T. K.; JOHNSON, S. L.; LI, L.; FERNANDES CUNHA, D. G.; OLDEN, J. D.; RIIS, T.; SILVA, L. C. R.; STELLA, J. C.; SULLIVAN, P.; WOHL, E. Defining stream riparian zones across multidimensional environmental gradients. *Journal of Environmental Quality*, v. 54, n. 6, p. 1674-1697, 2025.

DU, H.; FEI, K.; WU, J.; GAO, L. An integrative modelling framework for predicting the compound flood hazards induced by tropical cyclones in an estuarine area. *Environmental Modelling & Software*, v. 175, p. 105996, 2024.

DURIGAN, G.; MUNHOZ, C. B.; ZAKIA, M. J. B.; OLIVEIRA, R. S., PILON, N. A. L., DO VALLE, R. S. T.; WALTER, B. M. T.; HONDA, E. A.; POTT, A. Cerrado wetlands: multiple ecosystems deserving legal protection as a unique and irreplaceable treasure. *Perspectives in ecology and conservation*, v. 20, n. 3, p. 185-196, 2022.

- FREITAS, R. F. M. D.; AZERÊDO, J. D. F. F. A. D. Do natural ao construído: proposta para estimar acúmulo de calor em metrópoles. *Cadernos Metrópole*, 23(50), 331–354., 2020.
- GAGE, E.; COOPER, D. J.; LICHVAR, R. Comparison of USACE three-factor wetland delineations to national wetland inventory maps. *Wetlands*, v. 40, n. 5, p. 1097-1105, 2020.
- GAILLETON, B.; STEER, P.; DAVY, P.; SCHWANGHART, W.; BERNARD, T. GraphFlood 1.0: an efficient algorithm to approximate 2D hydrodynamics for landscape evolution models. *Earth Surface Dynamics*, v. 12, n. 6, p. 1295-1313, 2024.
- GONÇALVES, R. V. S.; ALVES, N. F.; CASSINO, R. F.; NUNES, Y. R. F.; OLIVEIRA, P. E.; CARDOSO, J. C. F. *Disentangling Vereda Wetlands determinants across a wide geographic extent*. 2025.
- HAO, Y. Y.; PAN, Y. W.; ZHENG, J. Y.; GE, G.; ZHAO, B. Exploring Time-Lag Effects of Water Buffering in Wetland Soils on Vegetation Dynamics. *Wetlands*, v. 45, n. 1, p. 5, 2025.
- HIGHFIELD, W. E.; NORMAN, S. A.; BRODY, S. D. Examining the 100-year floodplain as a metric of risk, loss, and household adjustment. *Risk Analysis: An International Journal*, v. 33, n. 2, p. 186-191, 2013.
- HIRT, J.; NORDHAUSEN, T.; APPENZELLER-HERZOG, C.; EWALD, H. Citation tracking for systematic literature searching: A scoping review. *Research Synthesis Methods*, v. 14, n. 3, p. 563-579, 2023.
- HOPKINS, K. G.; AHMED, L.; CLAGGETT, P. R.; LAMONT, S.; METES, M. J.; NOE, G. B. Mapping stream and floodplain geomorphometry with the Floodplain and Channel Evaluation Tool. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, v. 60, n. 2, p. 480-498, 2024.
- HOUGH-SNEE, N. Palustrine forested wetland vegetation communities change across an elevation gradient, Washington State, USA. *PeerJ*, v. 8, p. e8903, 2020.
- HUNTER JR, M. L.; ACUÑA, V.; BAUER, D. M.; BELL, K. P.; CALHOUN, A. J. K.; FELIPE-LUCIA, M. R.; FITZSIMONS, J. A.; GONZÁLES, E.; KINNISON, M.; LINDENMAYER, D.; LUNDQUIST, C. J.; MEDELLIN, R. A.; NELSON, E. J.; POSCHLOD, P. Conserving small natural features with large ecological roles: a synthetic overview. *Biological conservation*, v. 211, p. 88-95, 2017.
- HUPP, R.; OSTERKAMP, W. R. Riparian vegetation and fluvial geomorphic processes. *Geomorphology*, v. 14, n. 4, p. 277-295, 1996.
- ISOAHO, A.; IKKALA, L.; MARTILLA, H.; HJORT, J.; KUMPULA, T.; KORPELAINEN, P.; RÄSÄNEN, A. Spatial water table level modelling with multi-sensor unmanned aerial vehicle data in boreal aapa mires. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, v. 32, p. 101059, 2023.
- JACOBSON, R. B. Riverine habitat dynamics. In: SHRODER, J. (editor-chefe); BUTLER, D. R.; HUPP, C. R. (eds.). *Treatise on geomorphology*. San Diego: Academic Press, 2013. v. 12, *Ecogeomorphology*, p. 6–19.
- JIMÉNEZ-BONILLA, A.; RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, M.; YANES, J. L.; GÁZQUEZ, F. Impact of climate change on permanent lakes in a semiarid region: Southwestern Mediterranean basin (S Spain). *Science of the Total Environment*, v. 961, p. 178305, 2025.
- JUNK, W.; PIEDADE, M. T. F.; LOURIVAL, R.; WITTMANN, F.; KANDUS, P.; LACERDA, L. D.; BOZELLI, R. L.; ESTEVES, F. A.; NUNES DA CUNHA, C.; MALTCHIK, L.; SCHÖNGART, J.;

- SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; AGOSTINHO, A. A. Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. *Aquatic Conservation-marine and Freshwater Ecosystems*, 24, 5-22, 2014. <https://doi.org/10.1002/aqc.2386>
- KARIM, F.; MARVANEK, S.; MERRIN, L. E.; NIELSEN, D.; HUGHES, J.; STRATFORD, D.; POLLINO, C. Modelling flood-induced wetland connectivity and impacts of climate change and dam. *Water*, v. 12, n. 5, p. 1278, 2020.
- KELLERMEYER, L.; HARNKE, B.; KNIGHT, S.. Covidence and rayyan. *Journal of the Medical Library Association: JMLA*, v. 106, n. 4, p. 580, 2018.
- KHALIL, H.; PETERS, M.; GODFREY, C.; MCINERNEY, P.; SOARES, C.; PARKER, D. An Evidence-Based Approach to Scoping Reviews. *Worldviews on evidence-based nursing*, 13 2, 118-23, 2016. <https://doi.org/10.1111/wvn.12144>
- KOBIYAMA, M. Conceitos de zona ripária e seus aspectos geobiohidrológicos. *M. Kobiyama, RV Silva, T Checchia & A. Alves (orgs), Anais do I Seminário de Hidrologia Florestal: Zonas Ripárias, Alfredo Wagner*, p. 1-13, 2003.
- LEOPOLD, L. B.; WOLMAN, M. G.; MILLER, J. P. *Fluvial Processes in Geomorphology*. W. H. Freeman & Co. / Dover Publications. 1964. Disponível em: https://ansac.az.gov/sites/default/files/UserFiles/PDF/04152015/X093_Leopold-Fluvial%20Process/Fluvial%20Processes%20in%20Geomorphology.pdf. Acesso em 23/12/2025.
- LIN, Y.; SONG, C. Monitoring surface water in floodplains by satellites: Progress, challenges, and perspectives. *Journal of Hydrology*, p. 134458, 2025.
- MAILLARD, P.; GOMES, M. F.; PÔSSA, É. M.; PAULA, R. S. D. Challenges of defining the floodplain through the “mean ordinary flood line” approach using remote sensing in Brazil: a case study of the São Francisco River. *RBRH*, v. 27, p. e5, 2022.
- MARY-LAUYÉ, A. L.; GONZÁLEZ-BERGONZONI, I.; GOBEL, N.; SOMMA, A.; SILVA, I.; LUCAS, C. M. Baseline assessment of the hydrological network and land use in riparian buffers of Pampean streams of Uruguay. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 195, n. 1, p. 80, 2023.
- MASON, R. J.; JOHNSON, M. F.; WOHL, E.; RUSSEL, C. E.; OLDEN, J. D.; POLVI, L. E.; RICE, S. P.; HEMSWORTH, M. J.; SPONSELLER, R. A.; THORNE, C. R. Rebalancing river lateral connectivity: an interdisciplinary focus for research and management. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, v. 12, n. 1, p. e1766, 2025.
- MATTOS, S. M.; CESTARI, V. R. F.; MOREIRA, T. M. M. Scoping protocol review: PRISMA-ScR guide refinement. *Rev Enferm UFPI*, v. 12, n. 1, 2023.
- MEDEIROS, J. D. A demarcação de áreas de preservação permanente ao longo dos rios. *Biotemas*, v. 26, n. 2, p. 261-270, 2013.
- MINOTTI, P. G., RAJNGEWERC, M.; SANTORO, V. A.; GRIMSON, R. Evaluation of SAR C-band interferometric coherence time-series for coastal wetland hydropattern mapping. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 106, p. 102976, 2021.
- MOHANTY, M. P.; SIMONOVIC, S. P. Fidelity of reanalysis datasets in floodplain mapping: Investigating performance at inundation level over large regions. *Journal of Hydrology*, v. 597, p. 125757, 2021.

MUNN, Z.; PETERS, M. D.; STERN, C.; TUFANARU, C.; MCARTHUR, A.; AROMATARIS, E. Systematic review or scoping review? Guidance for authors when choosing between a systematic or scoping review approach. *BMC medical research methodology*, 18, 1-7. 2018.

MUNN, Z.; POLLOCK, D.; KHALIL, H.; ALEXANDER, L.; MCINERNEY, P.; GODFREY, C. M.; PETERS, M.; TRICCO, A. C. What are scoping reviews? Providing a formal definition of scoping reviews as a type of evidence synthesis. *JBIM evidence synthesis*. 2022.

OLCESE, G.; BATES, P. D.; JEFFREY, C. N.; SAMPSON, C. C.; WING, O. E. J.; QUINN, N.; MURPHY-BARLTROP, C. J. R.; PROBYN, I. Developing a fluvial and pluvial stochastic flood model of Southeast Asia. *Water Resources Research*, v. 60, n. 6, p. e2023WR036580, 2024.

OGILVIE, A.; FALL, C. S.; BODIAN, A. B.; MARTIN, D.; BRUCKMANN, L.; DIA, D.; LEYE, I.; NDIAYE, P. M.; SORO, D. D.; DANUMAH, J. H.; BADER, J. C.; POUSSIN, J. C. Surface water and flood-based agricultural systems: Mapping and modelling long-term variability in the Senegal river floodplain. *Agricultural Water Management*, v. 308, p. 109254, 2025.

PETERS, M. D. MARNIE, C.; TRICCO, A. C.; POLLOCK, D.; MUNN, Z.; ALEXANDER, L.; MCINERNEY, P.; GODFREY, C. M.; KHALIL, H. Updated methodological guidance for the conduct of scoping reviews. *JBIM evidence synthesis*, v. 18, n. 10, p. 2119-2126, 2020.

PRIEUR, M. O princípio da proibição de retrocesso ambiental. *O Princípio da proibição de retrocesso ambiental. Brasília: Senado Federal*, p. 11-54, 2012.

PRISMA. *PRISMA 2020 Flow Diagram*. Disponível em: <https://prisma-statement.org/>. Acesso em 23 nov. 2024.

QIAN, Q., EDWARDS, D. J.; ZHANG, Y.; HASELBACH, L. Improving flood inundation mapping accuracy using HEC-RAS modeling: a case study of the Neches river tidal floodplain in Texas. *Journal of Hydrologic Engineering*, v. 29, n. 4, p. 05024011, 2024.

RIBEIRO, S. K.; SANTOS, A. S. (org). Mudanças Climáticas e Cidades: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. *Rio de Janeiro: PBMC*, 2016. 116p.

SANCHEZ, G. M.; LAWRIK, M. A.; PETRASOVA, A.; VOGLER, J. B.; COLLINS, E. L.; PETRAS, V.; HARPER, T.; BUTZLER, E. J.; MEENTEMEYERS, R. K. The safe development paradox of the United States regulatory floodplain. *PLoS one*, v. 19, n. 12, p. e0311718, 2024.

SARGEANT, J.; O'CONNOR, A. Scoping Reviews, Systematic Reviews, and Meta-Analysis: Applications in Veterinary Medicine. *Frontiers in Veterinary Science*, 7, 2020.

SCAMARDO, J. E.; WOHL, E. Recognizing the ephemeral stream floodplain: Identification and importance of flood zones in drylands. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 49, n. 1, p. 210-235, 2024.

SCARTAZZINI, L. S.; KAUTZMANN, R. M.; FISCHER, A. C. Critérios para delimitar áreas de preservação permanente em rios de planície de inundação. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 13, n. 3, p. 83-91, 2008.

SILVA, I. M. *Efeitos do uso e cobertura do solo sobre o conforto higrotérmico*. Dissertação de Mestrado – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2012.

SIMAS, I. T. H.; RODRIGUES, C.; HOOKE, J. Geotecnologias e maior precisão no mapeamento de morfologias originais e antropogênicas aplicadas à avaliação do risco de inundações. *Derbyana*, v. 45, 2024.

SOROCABA. *Lei Municipal n. 11.022/2014*. Dispõe sobre a Revisão do Plano Diretor de Desenvolvidos Físico Territorial do Município de Sorocaba e dá outras providências.

SOROCABA. *Lei Municipal n. 13.123/2025*. Dispõe sobre a revisão do plano diretor de desenvolvimento físico territorial sustentável do Município de Sorocaba e dá outras providências.

SUCHAREW, H.; MACALUSO, M. Methods for Research Evidence Synthesis: The Scoping Review Approach. *Journal of hospital medicine*, 14, E1-E3, 2019. <https://doi.org/10.12788/jhm.3248>

TOLA, S. Y.; SHETTY, A. Flood hazard map of the Becho floodplain, Ethiopia, using nonstationary frequency model. *Acta Geophysica*, v. 72, n. 2, p. 1079-1095, 2024.

TONELLO, K. C.; CAMPOS, S. D.; DE MENEZES, A. J.; BRAMORSKI, J.; MATHIAS, S. L.; LIMA, M. T. How is bark absorbability and wettability related to stemflow yield? Observations from isolated trees in the Brazilian Cerrado. *Frontiers In Forests And Global Change*, v. 4, p. 1-10, 2021.

TRICCO, A. C. *et al.* PRISMA extension for scoping reviews (PRISMA-ScR): checklist and explanation. *Annals of internal medicine*, v. 169, n. 7, p. 467-473, 2018.

UN WSS, (United Nations Web Services Section). (2024). *Sustainable Development Goals*. Disponível em: <http://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>. Acesso em 27 dez. 2024.

VAN TOL, J. Hydopedology in South Africa: Advances, applications and research opportunities. *South African Journal of Plant and Soil*, v. 37, n. 1, p. 23-33, 2020.

VAN TOL, J. J.; BOUWER, D. Hydopedology of South African soil forms and families. *Water SA*, v. 50, n. 2, p. 236–245-236–245, 2024.

VEPRASKAS, M. J.; SKAGGS, R. W.; CALDWELL, P. V. Method to assess climate change impacts on hydrologic boundaries of individual wetlands. *Wetlands*, v. 40, n. 2, p. 365-376, 2020.

WANG, J.; HE, G.; FANG, H.; HAN, Y. Climate change impacts on the topography and ecological environment of the wetlands in the middle reaches of the Yarlung Zangbo-Brahmaputra River. *Journal of Hydrology*, v. 590, p. 125419, 2020.

WOLMAN, M. G.; MILLER, J. P. Magnitude and Frequency of Forces in Geomorphic Processes. *Journal of Geology*, 68, 54–74, 1960. Disponível em: http://geomorphology.sese.asu.edu/Papers/Wolman_and_Miller_1960.pdf. Acesso em 23/12/2025.

XIMENES, D.; DA SILVA, G.; MAGLIO, I.; CHIQUETTO, J.; AMATO-LOURENÇO, L.; VASCONCELLOS, M.; JACOBI, P.; COUTINHO, S.; CÉSAR, V. A importância dos espaços públicos e áreas verdes pós-pandemia na cidade de São Paulo (SP). *Revista Labverde*, v. 10, n. 1, 2020.

YANG, Z.; NA, X. Mapping herbaceous wetlands using combined phenological and hydrological features from time-series Sentinel-1/2 imagery. *International Journal of Digital Earth*, v. 18, n. 1, p. 2498600, 2025.

ZHANG, Y.; JIANG, Y.; SUN, X.; LI, H.; YUAN, C.; LIU, H.; JINZHAO, L.; MELLO, C. R.; BOYER, E. W.; GUO, L. The hydrologic nature of swales uncovers remarkable influence of non-topographic factors on catchment-scale soil moisture variation. *Journal of Hydrology*, v. 635, p. 131196, 2024.

APÊNDICE A – Instrumento de extração de dados

Quadro A1. Quadro de extração de dados.

Identificação	Abordagem metodológica	País / Região	Escala	Principais resultados	Contribuição ao LMS
Abrial <i>et al.</i> (2021)	Sensoriamento Remoto	Argentina	Regional	Análise de séries históricas de vazão (1905–2019) integrada a cartografia de água superficial por satélite demonstrou variações significativas na extensão inundável e conectividade lateral progressiva com o nível do rio.	Demonstra que a delimitação de áreas sazonalmente inundáveis depende de séries temporais longas; reforça que a conectividade ecológica da planície não se associa apenas a cheias extremas, mas à recorrência e progressividade das cheias ordinárias.
Ahmad <i>et al.</i> (2025)	Sensoriamento Remoto	Estados Unidos	Regional	Desenvolvimento de nove métricas espaço-temporais de conectividade lateral entre lagos e canais fluviais, evidenciando elevada variabilidade condicionada pelo porte do curso d'água adjacente.	Operacionaliza a conectividade lateral como fenômeno dinâmico e recorrente, convergindo com a concepção do LMS como espaço hidromorfologicamente ativo mesmo durante cheias sazonais.
Breznik <i>et al.</i> (2025)	Sensoriamento Remoto	Eslovênia	Local	Sobreposição de até 66% entre áreas detectadas por SAR (Sentinel-1) e simuladas por HEC-RAS; diferenças associadas à vegetação densa e baixas profundidades de lâmina d'água.	Evidencia complementaridade entre sensoriamento remoto e modelagem hidráulica; SAR amplia capacidade de detecção sob dossel vegetal onde sensores ópticos falham, validando e calibrando modelos hidráulicos.
de Mello <i>et al.</i> (2025)*	Sensoriamento Remoto	Austrália	Bacia	Série Landsat multíndice (1987–2024) no Google Earth Engine: áreas úmidas cobriram ~40% da bacia em 1987 e ~37% em 2024, com 80% de estabilidade espacial e redução de planícies florestadas.	Demonstra que a extensão funcional do LMS é dinâmica e sensível a alterações climáticas; séries históricas longas são essenciais para capturar recorrência sazonal e distinguir variações estruturais.
Hao <i>et al.</i> (2025)	Sensoriamento Remoto	China	Regional	Séries temporais Landsat revelaram que a vegetação de áreas úmidas responde diferenciadamente à hidrologia imediata e	Evidencia que o funcionamento ecológico do LMS depende de processos cumulativos de armazenamento hídrico; delimitações

				acumulada; efeitos com defasagem temporal mais intensos em áreas de menor elevação.	baseadas em níveis instantâneos capturam apenas fração do comportamento hidrológico-ecológico.
Isoaho <i>et al.</i> (2023)*	Sensoriamento Remoto	Finlândia	Regional	Fusão Sentinel-1 SAR e Sentinel-2 óptico com Random Forest mapeou com precisão a profundidade do lençol freático em áreas úmidas florestadas, revelando elevação do lençol pós-restauração.	Valida o lençol freático como indicador espacial da funcionalidade hidrológica do LMS; a influência hídrica persistente no solo, não apenas a inundações superficiais, deve fundamentar a delimitação.
Lin & Song (2025)	Sensoriamento Remoto	Global	Global	Revisão de 826 estudos sistematiza avanços no monitoramento de planícies por sensoriamento remoto; integração óptico-SAR como tendência dominante; crescimento expressivo de publicações após 2020.	Referência metodológica central para sensoriamento remoto aplicado ao LMS; evidencia limites do SR em capturar dinâmicas subsuperficiais e sob vegetação, fundamentando a necessidade de abordagens integradas.
Maillard <i>et al.</i> (2022)	Sensoriamento Remoto	Brasil	Regional	Integração de séries históricas de cotas fluviométricas com imagens Landsat coincidentes permitiu delimitar a linha média das enchentes ordinárias com acurácia posicional média de 24 m.	Exemplo direto de aplicação ao LMS: integra indicadores hidrológicos recorrentes a evidências espaciais de inundações, demonstrando viabilidade técnica em escala regional no contexto brasileiro.
Minotti <i>et al.</i> (2021)	Sensoriamento Remoto	Argentina	Regional	Coerência interferométrica SAR (InSAR) processada por Mapas Auto-Organizáveis (SOM) identificou 9 hidropadrões, incluindo zonas de saturação sob dossel florestal denso.	Supera a detecção binária de inundações; a coerência SAR captura a memória hidrológica da paisagem, identificando zonas de influência hídrica recorrente onde sensores ópticos falham.
Ogilvie <i>et al.</i> (2025)	Sensoriamento Remoto	Senegal	Regional	Integração de Landsat, MODIS e Sentinel-2 (1950–2022) com MNDWI adaptado: áreas inundadas variaram de 30.000 a 720.000 ha; relação entre vazões e áreas permite modelagem preditiva.	Caracteriza a planície como espaço funcional recorrente definido por cheias sazonais e interanuais; reforça que delimitações baseadas em ocorrência histórica de água superficial são compatíveis com o conceito físico do LMS.
Yang & Na (2025)	Sensoriamento	China	Regional	Integração de índices fenológicos e	Padrões fenológicos da vegetação funcionam

	Remoto			hidrológicos de Sentinel-1/2 com rede neural convolucional (TempCNN): acurácia >88% na identificação de áreas úmidas herbáceas sazonalmente alagadas.	como indicadores indiretos da frequência e duração das cheias; método <i>proxy</i> relevante para delimitação funcional do LMS onde dados hidráulicos ou geomorfológicos detalhados são inexistentes.
Annis <i>et al.</i> (2020)	Modelagem Hidráulica	Itália	Global	Framework GFPLAIN integra modelos hidrogeomorfológicos de planície com modelagem hidráulica 1D e dados crowdsourced para identificação rápida do domínio espacial da inundação em bacias com escassez de dados.	Trata a planície de inundação como unidade geomorfológica funcional independente de tempos de retorno; útil para delimitação operacional do LMS em contextos com limitação de dados e capacidade técnica.
Arcorace <i>et al.</i> (2024)	Modelagem Hidráulica	Itália	Regional	Modelo REFLEX redistribui volumes de inundação sobre o terreno de forma fisicamente coerente, com resultados próximos a modelos completos e menor custo computacional.	Alternativa operacional para delimitação do LMS em bacias com escassez de dados hidrológicos detalhados, reduzindo dependência de curvas-chave e dados batimétricos.
Baruah <i>et al.</i> (2024)	Modelagem Hidráulica	Índia	Regional	Framework integra modelagem hidrológica semi-distribuída, hidrodinâmica 2D e análise de decisão multicritério (MCDM) para avaliação de perigos de inundação sob forçantes combinados.	Demonstra que o LMS deve ser compreendido no contexto de bacias antropizadas; o MCDM traduz dados técnicos de inundação em critérios de planejamento e proteção territorial.
Czuba <i>et al.</i> (2019)*	Modelagem Hidráulica	Estados Unidos	Local	Modelagem HEC-RAS 2D com LiDAR demonstrou que canais de planície inundam ~19 dias/ano antes da inundação plena; conectividade varia conforme altura de margens e estágio de cheia.	Fornecer indicadores funcionais do LMS, frequência de inundação, estágios progressivos de conexão e tempos de residência, reforçando sua compreensão como zona dinâmica, não como limite fixo.
Du <i>et al.</i> (2024)	Modelagem Hidráulica	China	Regional	Modelagem hidrodinâmica 2D: ignorar precipitação direta e escoamento superficial local subestima a extensão da inundação em até 48%.	Evidencia que a delimitação do LMS em bacias urbanizadas não pode restringir-se à vazão do canal principal; reforça a necessidade de modelos com múltiplos forçantes hidrológicos.

Gailleton <i>et al.</i> (2024)	Modelagem Hidráulica	Global	Global	GraphFlood 1.0 resolve equações de águas rasas em grandes DEMs com alta eficiência computacional, estimando profundidade de fluxo, descarga e padrões de inundação em escala regional.	Alternativa intermediária entre modelos hidrodinâmicos completos e métodos topográficos simplificados; amplia a viabilidade de delimitações físicas do LMS em larga escala com menor custo computacional.
Jiménez-Bonilla <i>et al.</i> (2025)	Modelagem Hidráulica	Espanha	Local	Modelos de balanço hídrico com cenários RCP: lagos com fraca interação subterrânea tendem a tornar-se semipermanentes; profundidade e conexão com aquífero determinam resiliência climática.	Evidencia que limites hidrológicos de áreas úmidas são controlados por processos subterrâneos e sensíveis a mudanças climáticas; reforça limitações de critérios baseados exclusivamente em cotas superficiais.
Karim <i>et al.</i> (2020)	Modelagem Hidráulica	Austrália	Bacia	MIKE21 FM com MDT de 5 m: área inundada variou de 1.160 km ² (TR 1–2 anos) a 5.450 km ² (TR 100 anos); eventos frequentes já promovem conectividade hidrológica funcional entre rios e áreas úmidas.	Demonstra que eventos sazonais de baixa magnitude asseguram conectividade funcional; evidencia inadequação de associar o LMS apenas a cheias raras e distinção crítica entre eventos sazonais e extremos.
Mohanty & Simonovic (2021)	Modelagem Hidráulica	Canadá	Bacia	Avaliação de quatro produtos de reanálise como forçantes do modelo CaMa-Flood: variações significativas na extensão simulada; NARR com melhor desempenho (Hit-Rate 0,78–0,88).	Evidencia que a escolha da base hidrológica introduz incertezas significativas na delimitação modelada de planícies; relevante para avaliar robustez de delimitações do LMS em escala regional.
Olcese <i>et al.</i> (2024)	Modelagem Hidráulica	Sudeste Asiático	Regional	Framework estocástico integrou escoamento pluvial e fluvial: mapas estáticos baseados em TR fixo superestimam algumas áreas e ignoram riscos pluviais críticos em outras.	Fundamenta a crítica a limites legislativos fixos; demonstra que a inundação é fenômeno de múltiplas causas, reforçando o LMS como zona de influência hidrológica acumulada que considera forçantes pluviais e fluviais.
Qian <i>et al.</i> (2024)	Modelagem Hidráulica	Estados Unidos	Local	Integração de batimetria de alta resolução ao MDT LiDAR no HEC-RAS 1D/2D: desempenho superior ao modelo regulatório FEMA; ausência de batimetria gera	Fundamenta a necessidade de dados batimétricos para evitar subestimação do LMS; modelos regulatórios simplificados falham em capturar a hidrodinâmica real da

				distorções nos níveis simulados.	planície.
Simas <i>et al.</i> (2024)	Modelagem Hidráulica	Brasil	Local	Modelagem Caesar-Lisflood com LiDAR e ortofotos históricas: redução de 77,4% na distância média de escoamento e restrição do espalhamento das cheias por edificações urbanas.	Demonstra que a urbanização mascara o LMS ao reduzir artificialmente a extensão funcional da planície; fundamenta a restituição cartográfica da planície original como critério técnico para definição de faixas de proteção.
Tola & Shetty (2024)	Modelagem Hidráulica	Etiópia	Regional	Modelo GEV não estacionário: abordagens estacionárias subestimam a extensão das cheias em até 40%; variabilidade temporal dos parâmetros hidrológicos altera significativamente as áreas inundáveis estimadas.	Evidencia que os limites do LMS não são estáticos e devem ser reavaliados periodicamente; fundamenta crítica a normativas rígidas e critérios geométricos fixos que ignoram a não-estacionariedade hidrológica.
Vepraskas <i>et al.</i> (2020)	Modelagem Hidráulica	Estados Unidos	Local	Modelo DRAINMOD: limites hidrológicos de áreas úmidas deslocaram-se 5–25 cm para cotas inferiores sob aumento de evapotranspiração projetado para 2041–2070.	Evidencia que fronteiras hidrológicas de áreas úmidas não são estáticas, sofrendo deslocamentos mensuráveis em função de variações climáticas; reforça a natureza dinâmica do LMS e as limitações de parâmetros normativos fixos.
Wang <i>et al.</i> (2020)	Modelagem Hidráulica	China	Local	Modelagem hidrossedimentológica integrada: projeção de 40–90 milhões m ³ /ano de sedimentos em áreas úmidas e degradação progressiva de habitats sob cenário RCP4.5.	Contribuição indireta: demonstra como processos morfodinâmicos de longo prazo influenciam a configuração funcional das áreas inundáveis, evidenciando que os limites do LMS estão sujeitos a alterações geomorfológicas estruturais.
Cain <i>et al.</i> (2025)	Hidrogeomorfológica	Estados Unidos	Local	Feições hidrogeomórficas inundam antes do extravasamento total do canal; microtopografia controla o início da conectividade lateral, com canais múltiplos promovendo maior conectividade.	Questiona critérios baseados exclusivamente em bankfull ou tempos de retorno elevados; conectividade e funções ecológicas da planície ocorrem em estágios hidrológicos anteriores ao limite clássico do leito maior.
Cello <i>et al.</i> (2025)	Hidrogeomorfológica	Argentina	Local	Modelo 2D replicou processo de	Fundamenta o LMS como zona de influência

				preenchimento-transbordamento-fusão; paleocanais e depressões neotectônicas funcionam como limiares geomorfológicos críticos; solos hidromórficos argilosos registram inércia hídrica.	hidrológica acumulada; em áreas de baixo gradiente, solos hidromórficos e microtopografia são indicadores físicos superiores às delimitações baseadas apenas em vazão.
Dhote <i>et al.</i> (2023)	Hidrogeomorfológica	Índia	Local	Modelo HAND-SRC em MDTs hidrocondicionados: confiabilidade do mapeamento depende criticamente da resolução do MDT e da continuidade geomorfológica entre canal e planície.	Fornecer base técnica para delimitação do LMS por indicadores topográficos em contextos de escassez de dados; evidencia limitações de métodos geomorfométricos sem MDT de alta qualidade.
Diehl <i>et al.</i> (2025)	Hidrogeomorfológica	Estados Unidos	Regional	Zona de Dissipação de Energia (EDZ) identificada automaticamente por HAND e LiDAR; ponto de acesso à planície validado como indicador geomórfico preciso do início da conectividade lateral.	Supera a visão binária de delimitação ao classificar planícies por função hidráulica; o indicador EDZ fornece critério técnico automatizável para identificar o limite funcional da inundação recorrente.
Gonçalves <i>et al.</i> (2025)*	Hidrogeomorfológica	Brasil	Regional	Precipitação do período mais seco e baixa variabilidade de declividade são os principais determinantes da ocorrência de veredas; áreas planas com drenagem lenta favorecem solos hidromórficos.	Fornecer base mecanicista para delimitação de áreas úmidas associadas a lençol freático raso; relevante para critérios eco-hidrológicos do LMS em ambientes de Cerrado.
Hopkins <i>et al.</i> (2024)	Hidrogeomorfológica	Estados Unidos	Regional	Ferramenta FACET extrai automaticamente métricas geomorfológicas (HAND, altura de margens, largura de planície) com 88% de acerto; limitações em canais encaixados e áreas muito planas.	Fornecer base geomorfométrica para caracterização objetiva de planícies em larga escala; evidencia sensibilidade da delimitação à qualidade do MDE e necessidade de hidrocondicionamento adequado.
Hough-Snee (2020)	Hidrogeomorfológica	Estados Unidos	Local	Composição vegetal segue estritamente o gradiente altimétrico em áreas úmidas palustres; espécies indicadoras (ISA/NMDS) refletem padrões de saturação e inundação acumulados no solo.	Valida a vegetação ripária como âncora de realidade da memória hidrológica sazonal; oferece critério biológico de campo para identificar o limite funcional do LMS mesmo em períodos de estiagem.
Mary-Lauyé <i>et al.</i>	Hidrogeomorfológica	Uruguai	Nacional	Buffers de largura fixa por ordem de Strahler	Em contextos de baixo gradiente e escassez

(2023)				(100 m e 500 m): 79% da rede fluvial é de 1ª e 2ª ordem; proteção legal atual não cobre a maioria das zonas ripárias de cabeceira.	de dados, o escalonamento pela ordem fluvial oferece critério operacional mínimo que incorpora tributários menores frequentemente excluídos por normativas baseadas na largura do canal.
Scamardo e Wohl (2024)	Hidrogeomorfológica	Estados Unidos	Global	Revisão sistematiza indicadores físicos e biológicos para delimitar planícies de rios efêmeros e intermitentes; vegetação ripária e feições de microtopografia validados como evidências da conectividade lateral sazonal.	Fundamenta que o LMS não deve ser condicionado à perenidade do corpo d'água, mas à funcionalidade hidrológica; protocolo de campo aplicável onde sensoriamento remoto e dados fluviométricos são insuficientes.
Van Tol & Bouwer (2024)	Hidrogeomorfológica	África do Sul	Nacional	Categorização de 1.657 famílias de solos em grupos de resposta hidrológica (recarga, interfluxo e responsivo) demonstrou que a classificação pedológica oficial infere funções de saturação e conectividade lateral.	Operacionaliza a hidropedologia para zoneamento do LMS; solos responsivos funcionam como evidência persistente da influência hídrica sazonal em áreas de baixo gradiente ou com feições geomorfológicas mascaradas.
Van Tol (2020)	Hidrogeomorfológica	África do Sul	Nacional	Revisão da hidropedologia demonstra que a morfologia do solo registra processos hidrológicos recorrentes ao longo do tempo, funcionando como indicador persistente da memória hidrológica da paisagem.	Fundamenta a teoria da memória do solo como âncora de realidade para o LMS; o perfil pedológico registra a história hidrológica que modelagens instantâneas ignoram, especialmente relevante na ausência de séries hidrométricas.
Zhang <i>et al.</i> (2024)	Hidrogeomorfológica	China	Bacia	Monitoramento in situ em múltiplas profundidades em swales: relevo explica menos da metade da variabilidade hídrica; porosidade do solo, vegetação e microclima exerceram forte influência independente.	Questiona o uso de índices derivados de MDT como indicadores isolados; reforça a necessidade de integrar âncoras de realidade bióticas e pedológicas para capturar a funcionalidade real do leito sazonal.
Dodds <i>et al.</i> (2025)*	Conceitual	Estados Unidos	Global	Propõe 12 propriedades operacionais para delimitação de zonas ripárias — 7 ecológicas e 5 físico-biogeoquímicas — cada uma com critérios quantitativos, métricas de largura e	Critica a definições baseadas em atributos estáticos ou subconjunto de funções, e faixas fixas baseadas no eixo da calha. Propõe que quando múltiplas propriedades são relevantes,

				<p>abordagens metodológicas associadas. Demonstra que diferentes propriedades resultam em larguras distintas: funções de biodiversidade animal exigem mais de 100 m, e critérios de retenção de nutrientes e sedimentos resultam em larguras menores. Entende zonas ripárias como espacialmente contínuas, temporalmente dinâmicas e sensíveis a mudanças climáticas e invasões biológicas</p>	<p>deve prevalecer aquela que exige maior largura.</p>
Durigan <i>et al.</i> (2022)*	Conceitual	Brasil	Regional	<p>Propõe delimitação das áreas úmidas do Cerrado com base na profundidade máxima do lençol freático (<50 cm), flora específica e solos hidromórficos como critérios objetivos.</p>	<p>Fundamenta critérios eco-hidrológicos objetivos para delimitação do LMS; demonstra como nomenclaturas de fitofisionomias ripárias alteram a classificação e a proteção legal de áreas sazonalmente inundadas no Brasil.</p>
Highfield <i>et al.</i> (2013)*	Conceitual	Estados Unidos	Local	<p>O floodplain de 100 anos não captura adequadamente o risco; grandes perdas ocorrem repetidamente fora da área delimitada, evidenciando a fragilidade de critérios probabilísticos fixos.</p>	<p>Fundamenta a transição de limites dicotômicos para abordagens em gradiente que incorporem variabilidade hidrológica local; questiona o uso de tempos de retorno fixos como critério normativo de delimitação.</p>
Jacobson (2013)	Conceitual	Estados Unidos	—	<p>Distingue escalas hidrodinâmica (cheias recorrentes sem alteração morfológica) e morfodinâmica (eventos extremos que reconfiguram o canal); destaca papel das cheias frequentes na estruturação de habitats.</p>	<p>Fundamentação conceitual central: a escala hidrodinâmica corresponde à ocupação recorrente sazonal da planície (LMS), enquanto eventos extremos são modificadores dos seus limites físicos, não definidores do LMS.</p>
Junk <i>et al.</i> (2014)*	Conceitual	Brasil	Nacional	<p>Proposta de definição, delimitação e classificação nacional de áreas úmidas com base em hidrologia, solos hidromórficos e vegetação adaptada; reconhece áreas internas secas como parte funcional do sistema.</p>	<p>Fundamenta o LMS como zona de influência hidrológica recorrente, não como linha fixa; fornece critérios eco-hidrológicos objetivos complementares a sensoriamento remoto e modelagem no contexto normativo brasileiro.</p>

Mason <i>et al.</i> (2025)	Conceitual	Global	Global	Revisão interdisciplinar propõe equilíbrio da conectividade lateral; impactos antrópicos desequilibraram fluxos bidirecionais rio-planície, reduzindo funções ecológicas e serviços ecossistêmicos.	Fundamenta crítica a critérios normativos rígidos; delimitações baseadas em vazões extremas ignoram a conectividade funcional sazonal que define ecologicamente o LMS.
Medeiros (2013)*	Conceitual	Brasil	Nacional	Análise da evolução normativa das faixas marginais de cursos d'água evidencia dissociação entre critérios legais estáticos e a dinâmica hidrológica sazonal dos rios brasileiros.	Contextualiza a problemática normativa central da pesquisa; fundamenta a necessidade de critérios objetivos e auditáveis para delimitação do LMS que reduzam a discricionariedade no licenciamento ambiental.
Sanchez <i>et al.</i> (2024)	Conceitual	Estados Unidos	Regional	A política regulatória dos EUA baseada no floodplain de 100 anos promove o paradoxo do desenvolvimento seguro, legitimando construções em áreas de risco e aumentando perdas futuras.	Reforça a crítica ao uso de tempos de retorno fixos como critério normativo; limites estáticos geram falsa sensação de segurança, argumento diretamente aplicável à crítica às faixas baseadas no eixo da calha.

Fonte: Elaboração própria (2026). *Estudos incluídos por meio de buscas complementares.

APÊNDICE B – Proposta de minuta de resolução técnica

RESOLUÇÃO TÉCNICA Nº ___/20__

Estabelece diretrizes técnicas para subsidiar a identificação e delimitação do Leito Maior Sazonal em procedimentos de licenciamento e fiscalização ambiental, ordenamento territorial e gestão de áreas protegidas.

A Secretaria Municipal de Meio Ambiente, no uso de suas atribuições legais, e considerando:

- I – a relevância ecológica das áreas sazonalmente inundáveis associadas aos corpos hídricos;
- II – sua contribuição para a regulação hidrológica, armazenamento temporário de água, dissipação de energia das cheias, manutenção da conectividade ecológica e conservação da biodiversidade;
- III – a necessidade de que as decisões administrativas relacionadas à proteção ambiental sejam fundamentadas em critérios técnicos compatíveis com a complexidade dos processos fluviais;
- IV – os princípios da prevenção, da precaução, da vedação ao retrocesso ambiental e do *in dubio pro natura*;
- V – a necessidade de promover maior uniformidade, transparência e rastreabilidade nos procedimentos de análise técnica;

Resolve:

Art. 1º. Esta Resolução estabelece diretrizes técnicas para subsidiar a identificação e delimitação do Leito Maior Sazonal (LMS) em procedimentos de licenciamento ambiental, fiscalização, planejamento territorial e demais processos administrativos relacionados à proteção de corpos hídricos e áreas sazonalmente inundáveis.

Art. 2º. Para os fins desta Resolução, considera-se Leito Maior Sazonal a área marginal ao corpo hídrico submetida à influência recorrente de processos de inundação associados ao regime hidrológico anual, excluindo-se períodos atípicos, identificável por meio da convergência de evidências hidrológicas, geomorfológicas, pedológicas, ecológicas ou outras tecnicamente pertinentes.

Parágrafo único. A delimitação do LMS deverá considerar a dinâmica ambiental da área analisada, inclusive em situações em que alterações antrópicas tenham modificado ou mascarado seus indicadores naturais.

Art. 3º. A identificação e delimitação do LMS deverá observar abordagem integrada, baseada na análise conjunta das evidências disponíveis e na explicitação das limitações e incertezas associadas aos métodos empregados.

§1º Nenhum indicador isolado deverá ser considerado conclusivo quando existirem evidências relevantes de natureza complementar.

§2º A ausência de dados especializados não impede a realização da delimitação, desde que os procedimentos adotados sejam adequadamente justificados e documentados.

Art. 4º. As análises técnicas deverão observar abordagem progressiva e proporcional à complexidade da área, à sensibilidade socioambiental do caso, aos objetivos da delimitação e à disponibilidade de dados.

§1º O órgão ambiental poderá exigir níveis adicionais de aprofundamento técnico quando as informações inicialmente disponíveis forem insuficientes para fundamentar a decisão administrativa.

§2º A exigência de estudos complementares deverá ser tecnicamente motivada e proporcional à relevância ambiental e aos potenciais impactos envolvidos.

Art. 5º. Os procedimentos técnicos aplicáveis à identificação e delimitação do LMS serão detalhados em protocolo operacional complementar, observando-se, sempre que possível:

I – a utilização de múltiplas linhas de evidência;

II – a compatibilidade entre a escala de análise e os objetivos da delimitação;

III – a adoção de critérios que favoreçam a rastreabilidade e a reprodutibilidade das análises;

IV – a adequada caracterização das incertezas associadas aos resultados obtidos.

Art. 6º. Em situações de incerteza técnica relevante ou divergência entre métodos e indicadores, a decisão administrativa deverá considerar os princípios da precaução e do *in dubio pro natura*, mediante fundamentação expressa.

Art. 7º. A delimitação do LMS deverá ser formalizada em parecer técnico, laudo ou relatório ambiental contendo, no mínimo:

I – os métodos e indicadores utilizados;

II – as fontes de dados empregadas;

III – a justificativa técnica da delimitação adotada;

IV – as limitações e incertezas identificadas durante a análise;

V – a indicação do nível de aprofundamento técnico aplicado.

Art. 8º. Esta Resolução possui caráter orientativo e constitui referência técnica para procedimentos administrativos, sem prejuízo da aplicação da legislação ambiental vigente.

Art. 9º. Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

ANEXO – PROTOCOLO TÉCNICO PARA IDENTIFICAÇÃO E DELIMITAÇÃO DO LEITO MAIOR SAZONAL (LMS)

1. OBJETIVO

Estabelecer orientações técnicas para subsidiar a identificação e delimitação do Leito Maior Sazonal (LMS) em procedimentos de licenciamento ambiental, fiscalização, ordenamento territorial e demais instrumentos de gestão ambiental.

2. PRINCÍPIOS GERAIS

- I – considerar a inundação sazonal recorrente como referência principal para a delimitação do LMS, não se restringindo a eventos extremos isolados;
- II – adotar abordagem integrada baseada na convergência de múltiplas linhas de evidência;
- III – reconhecer a variabilidade espacial e temporal dos processos hidrológicos, geomorfológicos e ecológicos associados aos sistemas fluviais;
- IV – adequar os métodos empregados à complexidade da área analisada, aos objetivos da delimitação e à disponibilidade de dados;
- V – explicitar as limitações e incertezas associadas aos dados, métodos e interpretações adotadas;
- VI - realizar consulta e manifestação de órgãos, entidades ou conselhos competentes quando a relevância socioambiental da área justificar;
- VII – em situações de dúvida técnica relevante, adotar interpretação compatível com os princípios da precaução e do in dubio pro natura.

3. NÍVEIS DE INVESTIGAÇÃO

3.1 Nível I. Avaliação Básica (obrigatória)

Aplicável a todas as análises de delimitação do LMS. Compreende vistoria de campo e procedimentos baseados em informações e bases de dados acessíveis ao órgão ambiental ou ao responsável técnico. Devem ser realizados, sempre que aplicáveis:

- I – análise documental e cartográfica;
- II – consulta a bases públicas de dados geoespaciais;

- III – análise de imagens históricas disponíveis;
- IV – avaliação preliminar da dinâmica de inundação por meio de registros históricos, cartografia temática ou outras informações disponíveis;
- V – identificação preliminar de feições associadas à inundação sazonal;
- VI – vistoria de campo para identificação de indicadores ambientais relacionados à dinâmica de inundação.

A vistoria deverá ser documentada por meio de relatório fotográfico circunstanciado, contendo registros georreferenciados e descrição dos indicadores observados em campo.

Resultado esperado: delimitação preliminar da área potencialmente sujeita à inundação sazonal e identificação das principais incertezas da análise.

3.2 Nível II. Avaliação Complementar

Aplicável quando:

- A – forem identificadas limitações relevantes na avaliação básica;
- B – houver divergências significativas entre as evidências disponíveis;
- C – forem apresentadas contestações tecnicamente fundamentadas;
- D – a complexidade ou relevância socioambiental da área justificar aprofundamento da análise;
- E – o órgão ambiental considerar necessária uma maior precisão técnica para subsidiar a decisão administrativa.

Poderão ser utilizados, além dos anteriores e entre outros:

- I – levantamentos topográficos de maior precisão;
- II – modelos digitais de elevação;
- III – caracterização geomorfológica detalhada;
- IV – caracterização de solos associados à saturação hídrica;
- V – séries históricas hidrológicas ou hidrométricas;
- VI – monitoramento sazonal da extensão da inundação;
- VII – imagens de maior resolução espacial ou temporal;
- VIII – levantamentos aerofotogramétricos.

Resultado esperado: refinamento da delimitação preliminar e redução das incertezas identificadas na avaliação básica.

3.3 Nível III. Avaliação Avançada

Aplicável a casos de elevada relevância socioambiental, potencial impacto ambiental ou alta complexidade, mediante justificativa técnica ou a critério do órgão ambiental, quando os níveis anteriores não forem suficientes para reduzir as incertezas associadas à delimitação.

Caracteriza-se pela necessidade de obtenção de evidências representativas da dinâmica sazonal da área analisada, por meio de monitoramentos realizados ao longo de períodos representativos dos processos sazonais de inundação da área. Poderá compreender, além dos anteriores, isolada ou cumulativamente:

I – monitoramento piezométrico e da dinâmica sazonal da umidade do solo;

II – monitoramento da extensão e permanência da lâmina d'água ou de outros indicadores da dinâmica de inundação, mediante campanhas de campo ou sensoriamento remoto realizados em diferentes períodos hidrológicos;

III – avaliação técnica interdisciplinar, quando necessária à integração e interpretação das evidências produzidas e incertezas remanescentes.

Resultado esperado: redução das incertezas associadas à delimitação por meio da obtenção de evidências representativas da dinâmica sazonal da área, com rastreabilidade das informações produzidas e explicitação das incertezas remanescentes..

4. INTEGRAÇÃO DAS EVIDÊNCIAS

A delimitação do LMS deverá ser fundamentada na análise integrada das evidências disponíveis, onde nenhum método ou indicador deverá ser considerado conclusivo de forma isolada quando existirem evidências complementares relevantes disponíveis. A análise deverá considerar:

I – convergências e divergências entre os diferentes indicadores;

II – limitações associadas aos métodos empregados;

III – possíveis alterações antrópicas capazes de interferir na interpretação da dinâmica natural da área.

Quando identificadas alterações antrópicas relevantes, deverão ser consideradas, sempre que tecnicamente possível, evidências que permitam inferir a configuração pretérita da área e sua relação com a dinâmica de inundação.

5. CONTEÚDO MÍNIMO DOS ESTUDOS TÉCNICOS

Os estudos técnicos apresentados ao órgão ambiental para subsidiar a delimitação do LMS deverão conter, no mínimo:

- I – identificação da área analisada e objetivo da delimitação;
- II – descrição dos métodos empregados;
- III – indicação do nível de investigação adotado;
- IV – justificativa técnica para os métodos selecionados;
- V – descrição das fontes de dados utilizadas, incluindo origem, período de aquisição e data de acesso;
- VI – descrição dos trabalhos de campo realizados;
- VII – apresentação dos indicadores ambientais identificados;
- VIII – mapa ou representação cartográfica da delimitação proposta;
- IX – descrição das limitações e incertezas identificadas;
- X – conclusão técnica fundamentada.

6. NÍVEL DE CONFIANÇA

O estudo técnico deverá indicar o nível de confiança atribuído à delimitação realizada, acompanhado da respectiva justificativa.

- **Alto:** múltiplas evidências independentes e convergentes, com adequada representatividade espacial e temporal.
- **Médio:** conjunto consistente de evidências, porém com limitações ou divergências justificadas.

- **Baixo:** presença de incertezas significativas decorrentes da limitação dos dados ou dos métodos empregados.

7. LIMITAÇÕES E INCERTEZAS

Deverão ser explicitadas as principais limitações identificadas durante a análise, incluindo, quando aplicável:

- I – limitações de resolução espacial ou temporal dos dados utilizados;
- II – ausência ou insuficiência de séries históricas representativas;
- III – restrições associadas à cobertura vegetal;
- IV – limitações inerentes aos métodos empregados;
- V – alterações antrópicas capazes de dificultar a interpretação da dinâmica natural;
- VI – outras fontes relevantes de incerteza.

8. APLICAÇÕES

O presente protocolo poderá subsidiar:

- I – procedimentos de licenciamento ambiental;
- II – fiscalização ambiental;
- III – regularização ambiental;
- IV – planejamento e ordenamento territorial;
- V – definição de áreas prioritárias para conservação ou restauração ecológica;
- VI – avaliação de impactos ambientais;
- VII – demais procedimentos administrativos relacionados à proteção de áreas sazonalmente inundáveis.