

Modelagem de erosão hídrica sob cenários futuros: uma revisão da literatura

Modeling of water erosion under future scenarios: a literature review

Odaimys Socorro Ramos¹; Deorgia Tayane Mendes de Souza²; Rodrigo Nogueira de Vasconcelos³; Ericka Medeiros da Silva⁴; Washington de Jesus Sant'Anna da Franca Rocha⁵

- 1 Universidade Estadual de Feira de Santana, Programa de Pós-graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente, Feira de Santana/BA.
Email: ody.socorro@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-9502-8844>
- 2 Universidade Estadual de Feira de Santana, Programa de Pós-graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente, Feira de Santana/BA.
Email: dtmsouza@uefs.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6791-3611>
- 3 Universidade Estadual de Feira de Santana, Programa de Pós-graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente, Feira de Santana/BA.
Email: rnvufspgpm@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1368-6721>
- 4 Universidade Estadual de Feira de Santana, Programa de Pós-graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente, Feira de Santana/BA.
Email: medeirosericka05@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6924-4252>
- 5 Universidade Estadual de Feira de Santana, Programa de Pós-graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente, Feira de Santana/BA.
Email: wrocha@uefs.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2175-2792>

Resumo: A erosão hídrica configura-se como um dos principais problemas ambientais, e estima-se que sua intensidade tende a aumentar nas próximas décadas, resultando em ambientes mais degradados. Apesar de sua relevância, a literatura especializada ainda é limitada. Nesse contexto, o presente artigo tem como objetivo identificar tendências, métodos e variáveis utilizados nos estudos sobre modelagem de erosão hídrica em cenários futuros. Para tanto, realizou-se uma busca na base de dados Scopus, seguida da aplicação de técnicas bibliométricas e de ferramentas da análise sistemática. Os resultados revelaram um aumento das publicações a partir de 2020, possivelmente impulsionado pela maior frequência de eventos climáticos extremos e pelos avanços nos modelos climáticos. Observou-se o predomínio do método RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation), refletido na recorrência de variáveis como erosividade da chuva, erodibilidade do solo, comprimento das encostas, declividade, uso e cobertura da terra e práticas de conservação do solo. Contudo, foram identificadas lacunas relevantes, especialmente associadas à falta de validação em alguns estudos e à escassez de pesquisas em regiões semiáridas. De modo geral, o artigo evidencia aspectos essenciais dessa área de pesquisa, oferecendo uma visão consistente das tendências atuais e servindo como base para investigações futuras.

Palavras-chave: Erosão hídrica; Cenários futuros; Mudanças climáticas.

Abstract: Water erosion is recognized as one of the main environmental problems, and its intensity is expected to increase in the coming decades, resulting in more degraded environments. Despite its relevance, the specialized literature on this topic is still limited. In this context, the present article aims to identify trends, methods, and variables used in studies on water erosion modeling under future scenarios. To this end, a search was conducted in the Scopus database, followed by the application of bibliometric techniques and selected systematic analysis tools. The results revealed an increase in publications from 2020 onwards, possibly driven by the higher frequency of extreme climatic events and advances in climate models. The predominance of the RUSLE method (Revised Universal Soil Loss Equation) was observed, reflected in the recurrent use of variables such as rainfall erosivity, soil erodibility, slope length, slope steepness, land use and land cover, and soil conservation practices. However, relevant gaps were identified, especially those related to the lack of validation in some studies and the scarcity of research in semi-arid regions. Overall, the article highlights essential aspects of this research area, providing a consistent overview of current trends and serving as a foundation for future investigations.

Keywords: Water erosion; Future scenarios; Climate change.

Recebido: 23/12/2025; Aceito: 22/06/2026; Publicado: 30/07/2026.

1. Introdução

A erosão do solo constitui uma das maiores ameaças globais e representa o principal fator de degradação das terras em regiões tropicais e subtropicais úmidas. Anualmente, esse processo acarreta prejuízos agrícolas da ordem de bilhões de dólares, degradando extensas áreas cultiváveis e comprometendo a segurança alimentar mundial (WANG *et al.*, 2020). Estudos recentes indicam que, ao longo do último século, a taxa média global de erosão atingiu aproximadamente 10,2 t ha⁻¹ ano⁻¹, com projeções de aumento de até 14% até o final do século XXI (BUSICO *et al.*, 2023).

Diante da complexidade dos processos erosivos, a modelagem da erosão hídrica tem se consolidado como ferramenta fundamental para a compreensão e previsão desse fenômeno, permitindo simular o comportamento do solo sob diferentes condições climáticas, de uso e de manejo, com aplicação direta no planejamento conservacionista e na formulação de políticas públicas. A criação de modelos para estimar a erosão apresenta desafios significativos, sobretudo devido às diferenças nas características de solo e clima entre as regiões onde são aplicados (MINELLA *et al.*, 2007).

De forma geral, a erosão é um processo natural caracterizado pela remoção de partículas do solo por agentes como a água e o vento (GANASRI; RAMESH, 2015). Contudo, atividades antrópicas, particularmente a atividade agropecuária, têm acelerado significativamente esse processo, comprometendo serviços ecossistêmicos fundamentais, tais como a produção agrícola, o sequestro de carbono, a filtragem da água e a manutenção da cobertura vegetal (KIANI-HARCHEGANI *et al.*, 2019).

Além disso, as mudanças climáticas têm contribuído para o aumento das taxas de erosão, em decorrência das alterações nos padrões de precipitação. Estima-se que, até 2050, a erosão poderá reduzir em 10% a produção agrícola global e remover cerca de 75 bilhões de toneladas de solo (FAO, 2022). No Brasil, a erosão hídrica destaca-se como a mais comum e que mais compromete a qualidade dos solos, devido às condições climáticas, que incluem chuvas de alta intensidade, e às práticas inadequadas de uso e manejo do solo, as quais intensificam o escoamento superficial e a perda da camada fértil do solo. Em resposta a esses desafios, pesquisas sobre erosão têm ganhado destaque nos últimos anos, em virtude das consequências evidentes que provoca na produtividade agrícola, na qualidade da água, nos sistemas hidrológicos e no equilíbrio ambiental (SILVEIRA *et al.*, 2023).

Amore *et al.* (2004) destacam que os problemas relacionados à erosão do solo tendem a se intensificar no futuro em diversas regiões do mundo, em função das mudanças climáticas e da consequente intensificação dos processos associados ao ciclo hidrológico. Entretanto, a literatura voltada à análise de cenários futuros de erosão hídrica ainda é recente e se caracteriza por taxas flutuantes de publicação. Diante disso, a produção científica desempenha um papel fundamental no avanço técnico e na especialização do tema. Assim, revisões de abordagem híbrida possibilitam uma análise mais aprofundada e abrangente da temática, ao integrar a quantificação de tendências e padrões da produção científica, fornecida pela bibliometria, com a síntese criteriosa e o rigor metodológico característico das revisões sistemáticas (VASCONCELOS *et al.*, 2024).

Sob essa perspectiva, a bibliometria e a revisão sistemática se complementam: enquanto a primeira possibilita a identificação de redes de colaboração, temas emergentes, periódicos de maior impacto e países-chave na produção científica, a segunda assegura a aplicação de critérios explícitos de busca, triagem e avaliação da qualidade dos estudos (CHEN, 2017). A complementaridade entre essas abordagens contribui para o aumento da confiabilidade das conclusões, na medida em que promove uma análise integrada do estado da arte, combinando perspectivas quantitativas e qualitativas, que permitem a identificação de lacunas e oportunidades de pesquisa que não se tornam tão evidentes com a aplicação isolada de um único método (JOHRI, 2024). Assim, o objetivo deste artigo é analisar a produção científica relacionada à modelagem da erosão hídrica em cenários futuros, com o intuito de identificar tendências, métodos e variáveis associadas ao campo de estudo. Para tanto, foram analisados 11 anos (2013-2024) de publicações científicas, visando delinear o panorama atual da temática em questão.

2. Metodologia

Foram aplicadas técnicas tradicionais de bibliometria, combinadas com descritores qualitativos e quantitativos, integrando elementos de protocolos de revisão sistemática. Essa abordagem possibilitou a análise direcionada de seções específicas dentro dos artigos selecionados, com ênfase na extração de informações relacionadas à simulação da erosão hídrica em cenários futuros. A partir desse arcabouço metodológico, formularam-se perguntas de diferentes naturezas, em consonância com o objetivo do estudo (tabela 1). O procedimento metodológico compreendeu a seleção da base de dados, a definição de termos de busca e a aplicação de filtros para o refinamento dos resultados, seguida da adoção de critérios de exclusão para a eliminação de estudos não alinhados ao escopo da pesquisa (figura 1). As análises foram conduzidas

para o conjunto final de artigos selecionados, sendo que a tabela 1 sintetiza a relação entre as perguntas de pesquisa, as análises conduzidas e os textos utilizados, enquanto a figura 1 apresenta as etapas metodológicas do estudo.

Tabela 1 – Perguntas de pesquisa .

Perguntas	Análises	Textos utilizados
Quais são as tendências na produção científica associada às simulações futuras da erosão hídrica?	Contribuição por países (bibliometrix)	Todos os artigos
Quais países lideram a publicação de estudos sobre erosão hídrica?	Coocorrência de palavras-chave (Vosviewer)	Todos os artigos
Quais são os periódicos mais influentes no campo de análise?	Top 5 das revistas mais relevantes (bibliometrix)	Todos os artigos
Quais são os documentos mais citados globalmente nessa área de pesquisa?	Top 5 dos documentos mais citados (bibliometrix)	Todos os artigos
Quais regiões climáticas têm sido mais frequentemente modeladas nos estudos analisados?	Título/Resumo/Materiais e métodos	27 artigos
Quais métodos de simulação são mais comumente empregados nas investigações sobre erosão hídrica?	Resumo/Materiais e métodos	Todos os artigos
Quais modelos climáticos são mais utilizados?	Materiais e métodos	Todos os artigos
Quais variáveis ambientais são mais utilizadas, e quais têm maior influência?	Materiais e métodos/Resultados e discussão	Todos os artigos
Os modelos aplicados são validados? Em caso afirmativo, quais métricas de validação são utilizadas?	Materiais e métodos	Todos os artigos
Quais padrões de comportamento da erosão hídrica são apontados pela literatura revisada?	Resultados e discussão	Todos os artigos

Fonte: Autores (2025).

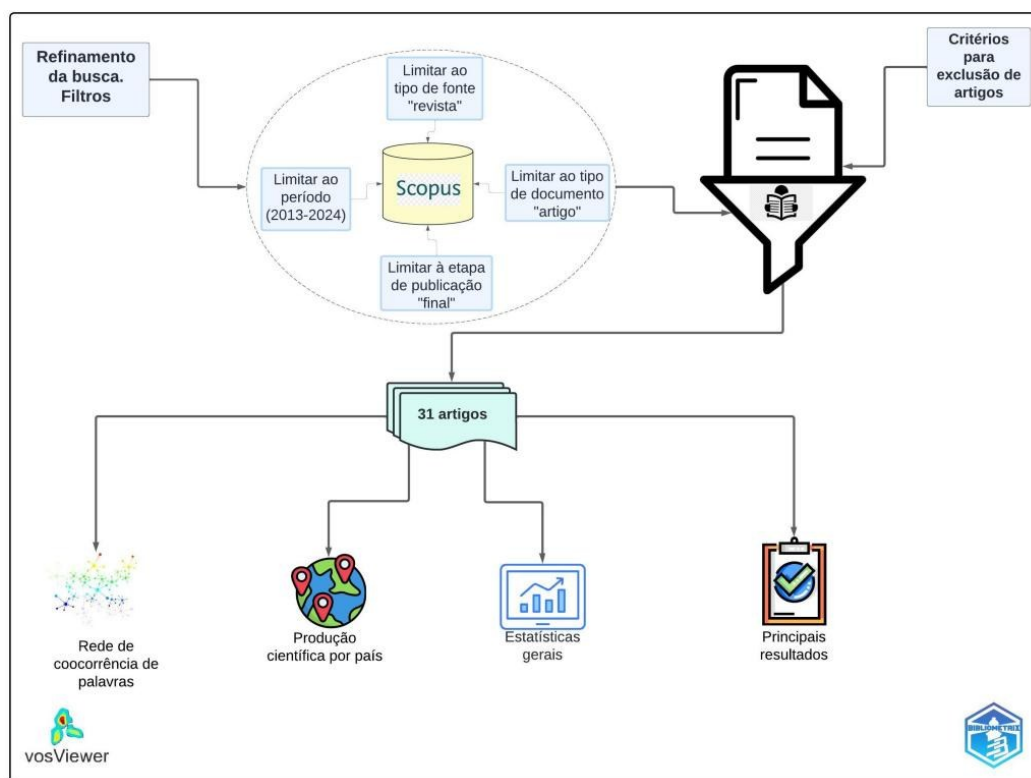


Figura 1 – Esquema metodológico das etapas realizadas para a análise bibliométrica.

Fonte: Autores (2025).

2.1 Base bibliográfica

A base de dados selecionada foi a Scopus, em razão de sua ampla cobertura e de seus recursos analíticos avançados. A plataforma permite a exportação de dados em múltiplos formatos, com base em variáveis previamente definidas, fornecendo informações abrangentes para análises bibliométricas e sistemáticas (VIANA *et al.*, 2017). Além disso, disponibiliza dados de citação a partir de 1996, o que possibilita a realização de análises detalhadas sobre tendências globais de pesquisa e produção científica em diversas áreas do conhecimento (OLIVEIRA *et al.*, 2025).

Atualmente, a Scopus indexa mais de 53 milhões de registros provenientes de mais de 24.000 periódicos científicos revisados por pares, abrangendo um amplo espectro disciplinar. Sua interface online oferece recursos avançados de busca, incluindo operadores booleanos estruturados e filtros específicos por campo, o que favorece a recuperação eficiente, reproduzível e metodologicamente consistente da literatura (OLIVEIRA *et al.*, 2025).

A escolha por uma única base de dados fundamenta-se na necessidade de assegurar a consistência e a homogeneidade dos dados coletados, evitando duplicidades, inconsistências de indexação e vieses decorrentes da integração de bases com critérios distintos. Dessa forma, a utilização exclusiva da Scopus possibilitou a construção de uma base de dados robusta e metodologicamente confiável, adequada para representar o estado da arte sobre a modelagem da erosão hídrica em cenários futuros.

Reconhece-se, contudo, como limitação, a não inclusão de outras bases, como a Web of Science. Ainda assim, considera-se que essa escolha não compromete a representatividade dos resultados, dada a abrangência e relevância da Scopus no contexto da produção científica internacional.

2.2 Estratégia de pesquisa

A busca foi refinada para contemplar as publicações disponíveis até o ano de 2024, abrangendo toda a literatura relevante desde a primeira publicação indexada na base de dados até esse período. Dessa forma, a pesquisa compreendeu

o intervalo entre 2013 e 2024, totalizando 11 anos de análise, com foco em estudos que abordaram a simulação de cenários futuros no contexto da erosão hídrica.

As estratégias de busca foram construídas através de testes e ajustes na combinação de palavras-chave relacionadas ao tema, bem como da utilização de operadores booleanos (AND e OR), que permitem refinar e direcionar a recuperação dos documentos. Por outro lado, o caractere asterisco (*) foi empregado para permitir variações nos sufixos das palavras-chaves, ampliando assim o alcance dos resultados.

Por fim, a equação de busca foi implementada da seguinte maneira: TITLE-ABS-KEY(("Soil erosivity" OR "Soil erosion*" OR "Soil erosion vulnerability" OR "Soil erosion degradation" OR "Soil loss" OR "Soil erosion susceptibility" OR "Surface runoff effects" OR "Runoff effects") AND ("Prediction future scenarios" OR "Simulation Future*" OR "Future* Scenarios" OR "Scenario* Simulation* Future*" OR "Past and Future Scenarios")) AND PUBYEAR > 2000 AND PUBYEAR < 2025 AND PUBYEAR > 2000 AND PUBYEAR < 2025 AND (LIMIT-TO (SRCTYPE,"j")) AND (LIMIT-TO (PUBSTAGE,"final")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE,"ar")), possibilitando a busca dentro dos títulos, resumos e palavras-chave dos artigos.

Após essa etapa, realizou-se uma triagem manual dos artigos, baseada na leitura dos títulos e resumos, para a aplicação dos critérios de exclusão. Foram excluídos os estudos que: (i) não abordavam a modelagem da erosão hídrica, (ii) se concentravam exclusivamente na produção de sedimentos, (iii) não incluíam simulações de cenários futuros ou (iv) se tratavam de revisões bibliográficas.

2.3 Softwares utilizados

Todos os artigos incluídos após a triagem manual foram submetidos à análise de coocorrência de palavras-chave, considerando-se uma ocorrência para cada termo. Para essa finalidade, utilizou-se o software VOSviewer, que permite a criação e a visualização de mapas bibliométricos, facilitando a identificação de conexões entre artigos, autores e periódicos, bem como o mapeamento de relações de coautoria, afiliações institucionais e coocorrência de termos relevantes. De acordo com Van Eck e Waltman (2009), o VOSviewer é capaz de produzir mapas bibliométricos de alta qualidade, o que facilita a interpretação dos resultados e torna esse software uma das melhores opções disponíveis em sua categoria.

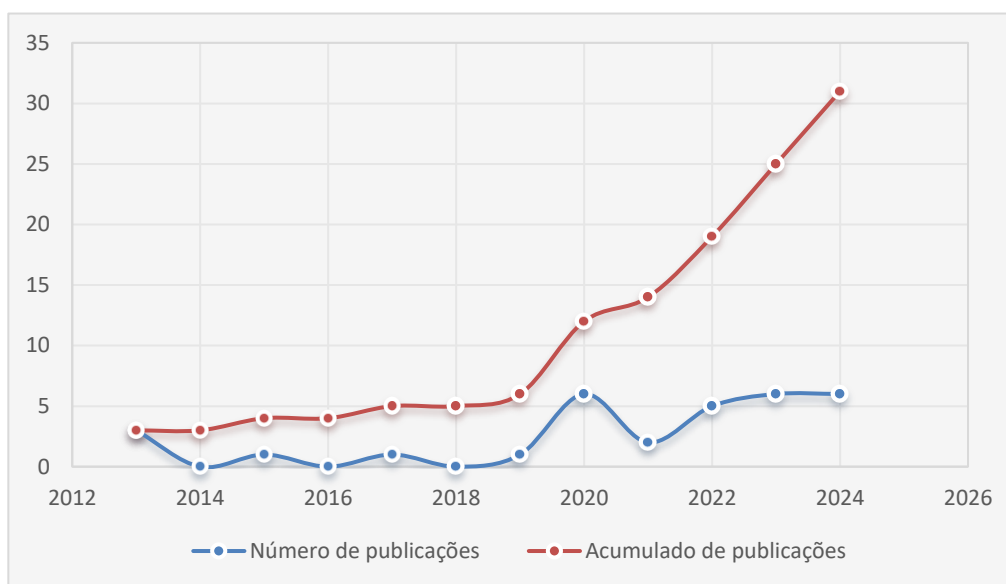
Adicionalmente, utilizou-se o pacote bibliometrix, que oferece um conjunto de ferramentas para análises quantitativas em bibliometria e cienciometria. Esse pacote foi desenvolvido na linguagem R, a qual constitui um ambiente de código aberto que dispõe de algoritmos estatísticos, acesso a rotinas numéricas de alta qualidade e recursos integrados para visualização de dados (ARIA; CUCCURULLO, 2017).

3. Resultados e discussão

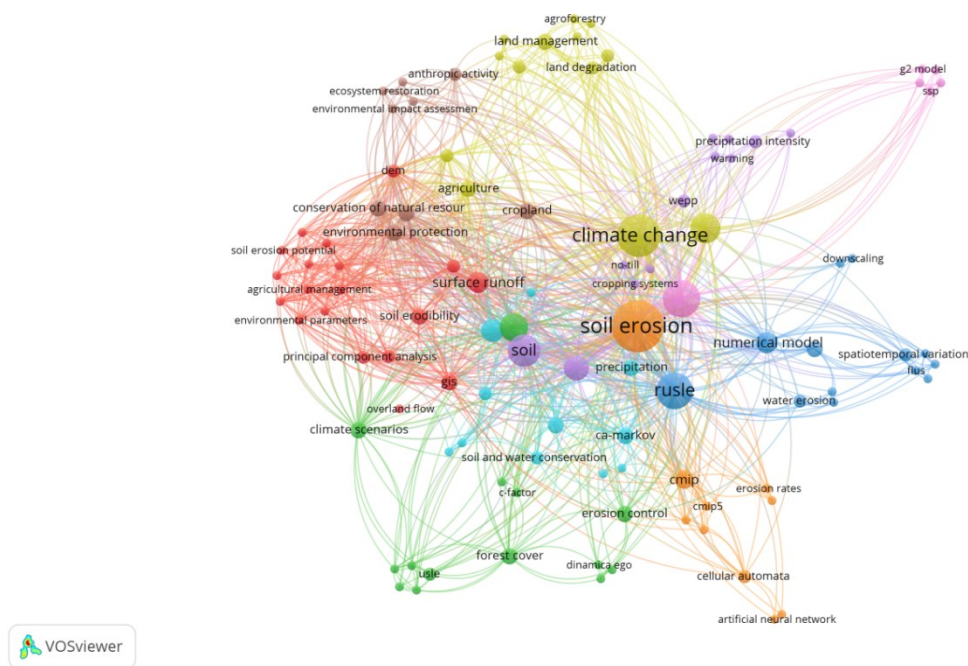
3.1 Tendências de publicações

A busca na base de dados Scopus retornou um total de 77 artigos. Após a aplicação dos critérios de exclusão, foram selecionados 31 documentos, compondo o universo global da pesquisa, com média e desvio padrão de $2,58 \pm 2,50$ artigos/ano. Observou-se um aumento no número acumulado de publicações nos últimos anos, totalizando 25 artigos no período de 2020 a 2024, correspondendo a 80,6% do total (figura 2). Antes de 2020, a produção científica mostrou-se reduzida e irregular, totalizando apenas seis artigos. Foram identificados três picos de produtividade nos anos de 2020, 2023 e 2024, com seis publicações em cada um, os quais, em conjunto, representam 58,0% da produção total. Destaca-se, ainda, que a totalidade dos documentos analisados (100%) foi publicada em língua inglesa.

Esses resultados indicam que o campo científico em questão é relativamente recente, com cerca de uma década de existência, e ainda se encontra em processo de consolidação. A partir de 2020, observa-se um aumento significativo na produção científica, indicando a expansão e o dinamismo contínuo da área de estudo, que pode estar associado à intensificação de eventos climáticos extremos, como tempestades mais severas, secas prolongadas e o aumento do risco de incêndios florestais (BUSICO *et al.*, 2023). Além disso, os avanços nos modelos climáticos desenvolvidos pelo Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados (CMIP), têm contribuído para a expansão desses estudos ao disponibilizar projeções mais consistentes e detalhadas (O'NEILL *et al.*, 2013; PEDERSEN *et al.*, 2021). Soma-se a isso a crescente disponibilidade de dados de sensoriamento remoto e o desenvolvimento de técnicas computacionais avançadas, que têm ampliado as possibilidades analíticas nesse campo.



*Figura 2 – Taxa de crescimento anual das publicações.
Fonte: Autores (2025).*



*Figura 3 – Rede de coocorrência de palavras.
Fonte: Autores (2025).*

Em relação à rede de coocorrência de palavras, foram identificados nove clusters (tabela 2), totalizando 107 termos (figura 3). Os termos mais frequentes foram soil erosion (30 ocorrências), climate change (21 ocorrências), land use/land

cover change (16 ocorrências), revised universal soil loss equation (15 ocorrências), soil (12 ocorrências), future scenarios (10 ocorrências), rainfall erosivity (9 ocorrências) e climate modeling (7 ocorrências).

Tabela 2 – Clusters identificados na análise de coocorrência de palavras-chaves.

Cor	Cluster	Abordagem
	Cluster 1	Agrupa os elementos fundamentais na modelagem da erosão hídrica, com destaque para a erodibilidade do solo e processos hidrológicos-chave, como o escoamento superficial e o fluxo de água em superfície.
	Cluster 2	Relaciona termos vinculados às projeções climáticas e a eventos extremos, especialmente chuvas intensas, que aumentam a erosividade da chuva intensificando os processos de erosão.
	Cluster 3	Apresenta os principais métodos utilizados na modelagem da erosão hídrica e na simulação do uso e cobertura da terra.
	Cluster 4	Aborda as mudanças climáticas e a relevância de práticas sustentáveis para o manejo do solo. Além disso, reúne métodos frequentemente utilizados nesses estudos.
	Cluster 5	Abrange termos relacionados às variáveis climáticas, como temperatura e precipitação, que influenciam as propriedades do solo e aumentam sua suscetibilidade à erosão.
	Cluster 6	Aborda modelos de simulação espacial, como: CA-Markov, lógica fuzzy e o modelo InVEST, empregados nos estudos de uso e cobertura da terra e de erosão hídrica.
	Cluster 7	Destaca técnicas avançadas de modelagem, com referência a métodos computacionais como redes neurais artificiais e autômatos celulares. Do mesmo modo, enfatiza a importância de produtos de sensoriamento remoto e da incorporação de dados climáticos provenientes de CMIP.
	Cluster 8	Compreende temas relacionados ao papel das dimensões socioambientais. Ademais, ressalta a importância da gestão sustentável do território, da avaliação de impactos ambientais e das ações de proteção e recuperação dos ecossistemas.
	Cluster 9	Reúne métodos estatísticos e algoritmos aplicados à modelagem da erosão hídrica, incluindo Random Forest, regressão e abordagens gaussianas.

Fonte: Autores (2025).

A análise da rede de coocorrência de palavras-chave evidencia que a compreensão da erosão hídrica requer uma abordagem integrada, capaz de articular processos físico-hidrológicos, projeções climáticas, mudanças no uso e cobertura da terra e dimensões socioambientais, reforçando o caráter multidisciplinar do tema. No âmbito metodológico, observa-se a coexistência de abordagens tradicionais de modelagem, baseadas em equações empíricas e abordagens mais recentes fundamentadas em técnicas de aprendizado de máquina. Estudos como o de Guo *et al.* (2024), que combinam o modelo RUSLE com algoritmos de aprendizado de máquina para identificar padrões espaciais de suscetibilidade à erosão hídrica, exemplificam essa tendência. Esse cenário sugere uma transição metodológica no campo, caracterizada pela integração progressiva entre métodos convencionais e abordagens orientadas por dados. Tais avanços possuem implicações relevantes para o planejamento e a gestão ambiental, uma vez que a integração entre modelagem climática, mudanças no uso da terra e análise dos processos erosivos é fundamental para subsidiar estratégias de manejo sustentável.

3.2 Países que lideram as publicações

A colaboração e distribuição global das publicações identificou um total de 48 conexões estabelecidas entre diferentes regiões do mundo conforme ilustrado na figura 4. A variação na espessura das linhas representa a força dessas conexões, fornecendo informações relevantes sobre os esforços colaborativos no campo de pesquisa e intercâmbio de conhecimento entre as nações. Por outro lado, observa-se um maior número de colaborações entre Irlanda e Bélgica, Espanha e Alemanha, bem como entre os Estados Unidos e a Hungria.

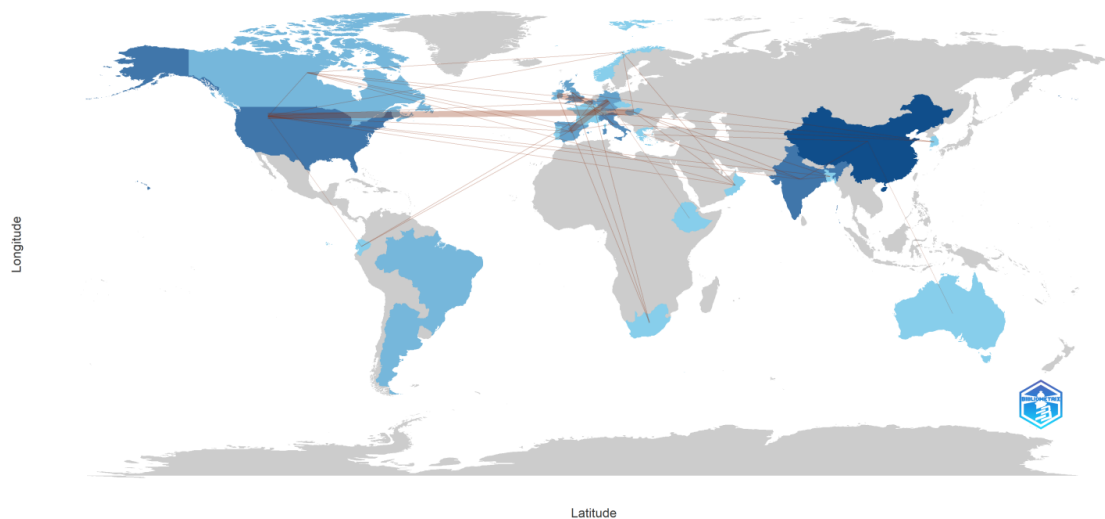


Figura 4 – Colaboração de publicações entre países.
Fonte: Autores (2025).

Tabela 3 – Contribuição da produção científica por país.

Cor	Países	Número de publicações
	China	35
	Índia	21
	Itália	19
	Estados Unidos	19
	Brasil	12
	Espanha	9
	Reino Unido	7
	Irlanda	6
	Argentina	5
	Bélgica	4
	Alemanha	4
	Canadá	3
	Malta	3
	Omã	3
	República Tcheca	2
	Hungria	2
	Coreia do Sul	2
	Suíça	2
	Austrália	1
	Bangladesh	1
	Equador	1
	Etiópia	1
	França	1
	Grécia	1
	Noruega	1
	Portugal	1
	África do Sul	1

Fonte: Autores (2025).

Essas interações são fundamentais para a troca de ideias e recursos entre pesquisadores, ampliando o alcance e a relevância das investigações sobre erosão hídrica em cenários futuros. Quanto à produção por país, a China foi o maior contribuinte, com 35 publicações, seguida pela Índia (21), Itália (19), Estados Unidos (19), e Brasil (12) (tabela 3). Esse padrão pode ser associado ao crescente investimento em pesquisa e desenvolvimento, particularmente em países como a China, onde questões ambientais, como a erosão hídrica, apresentam elevada relevância socioeconômica. No caso do Brasil, embora o volume de publicações seja inferior, destaca-se a importância do tema no contexto nacional, uma vez que a erosão hídrica se configura como um dos principais problemas ambientais, associada à perda de fertilidade do solo, assoreamento de rios e redução da capacidade de suporte da vegetação (MONDAL *et al.*, 2017).

Em contraste, ao analisar o impacto científico medido pelo número de citações, a Suíça ocupou a primeira posição, com um total de 1.009 citações, seguida pela Índia (224), Bélgica (160), Reino Unido (140), China (125) e Equador (124). Esses resultados evidenciam diferenças entre volume de produção e impacto científico, oferecendo uma visão abrangente do papel de cada país tanto na geração quanto na disseminação do conhecimento por meio de colaborações internacionais.

3.3 Periódicos mais influentes

A análise dos periódicos indicou que 22 revistas distintas contribuíram para a produção científica nesse campo. Entre elas, a Catena destacou-se como a principal fonte, concentrando seis artigos (19,4% do total), o que demonstra sua relevância nas pesquisas sobre simulações de cenários futuros de erosão hídrica. Na sequência, os periódicos Land e Land Degradation & Development apresentaram três publicações cada. Outras revistas, como Agricultural Water Management e Climate, contribuíram com apenas um artigo cada, indicando uma participação mais pontual no tema (Figura 5).

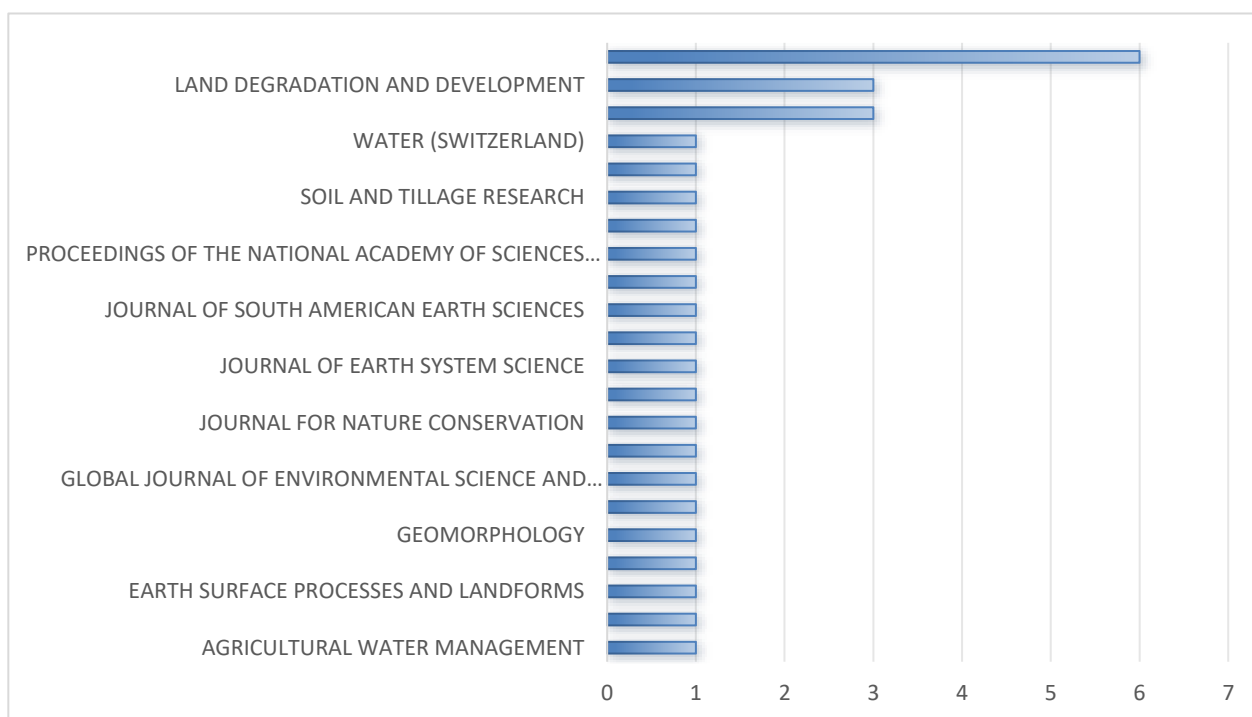


Figura 5 – Periódicos mais influentes.

Fonte: Autores (2025).

Esses resultados evidenciam que, embora a temática possua caráter interdisciplinar, a produção científica permanece concentrada em um número reduzido de periódicos especializados, que atuam como os principais veículos de disseminação do conhecimento. Essa concentração reflete, em parte, o papel de periódicos consolidados, com escopo temático bem definido e público-alvo específico, o que favorece a submissão de estudos alinhados à área. Entretanto, a predominância desses periódicos sugere que a visibilidade e o impacto das pesquisas depende da escolha de revistas reconhecidas no campo.

3.4 Documentos mais citados globalmente

No conjunto dos documentos mais citados, destaca-se de forma expressiva o estudo de Borrelli *et al.* (2020), publicado na Proceedings of the National Academy of Sciences, que acumula 1.009 citações e se consolida como a principal referência global no campo de estudo. Em um segundo nível de influência, estão os trabalhos de López-Vicente *et al.* (2013), com 170 citações, e Mullan (2013), com 110 citações, ambos publicados na revista Catena, além do artigo de Ochoa-Cueva *et al.* (2015), que registra 133 citações publicado pela Land Degradation & Development. O estudo de Chuenchum *et al.* (2020), por sua vez, apresenta impacto moderado, com 95 citações, e foi publicado na revista International Soil and Water Conservation Research (figura 6).

De forma geral, observa-se uma forte concentração de citações em um número reduzido de estudos, com destaque para a expressiva dominância de Borrelli *et al.* (2020), o que evidencia uma distribuição altamente assimétrica do impacto científico na área. Esse padrão indica que uma fração da literatura acadêmica exerce influência substancial na consolidação do conhecimento, podendo sugerir a presença de vieses e tendências predominantes, nos quais determinados estudos consolidam sua centralidade e influenciam a direção das pesquisas e as abordagens metodológicas adotadas. Além disso, a concentração temporal dos trabalhos mais citados em anos específicos, como 2013 e 2020, aponta para momentos-chave de avanço científico, associados tanto ao início das investigações quanto à intensificação recente do interesse pelo tema.

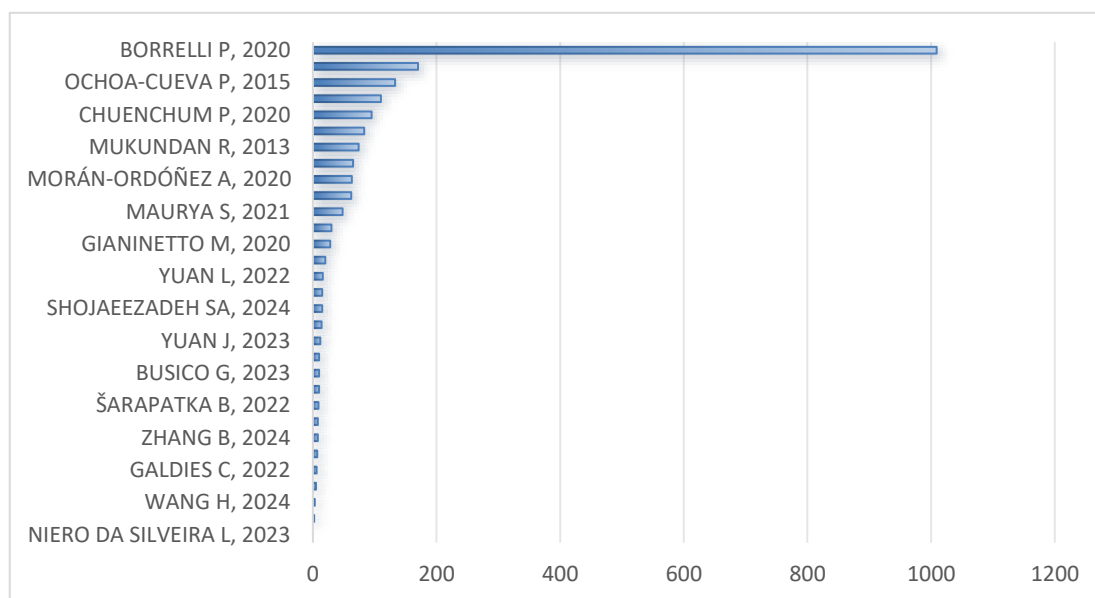


Figura 6 – Documentos mais citados globalmente.

Fonte: Autores (2025).

3.5 Região climática modelada

Dos 31 artigos identificados, 27 foram analisados quanto às regiões climáticas, uma vez que os demais abordavam áreas em escala global. Entre os estudos considerados, observou-se maior concentração de pesquisas em regiões de clima subtropical (25,9%), seguidas por climas temperados (22,2%), tropicais (18,5%) e mediterrâneos (14,8%). Por outro lado, as regiões semiáridas foram menos abordadas, correspondendo a apenas 11,1% da literatura analisada.

Essa lacuna é relevante, pois tais regiões apresentam elevada vulnerabilidade à erosão, agravada pela concentração de chuvas em curtos períodos de tempo e processos de degradação ambiental (QUEIROZ *et al.*, 2020). A predominância de estudos em outras regiões climáticas pode limitar a aplicabilidade dos modelos existentes em contextos semiáridos, uma vez que tais abordagens nem sempre capturam adequadamente as condições específicas desses ambientes.

3.6 Métodos de simulação mais empregados

A literatura evidencia o predomínio do método RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation), identificado em 58% dos documentos analisados. Em estudos mais recentes, observa-se a combinação desse método com abordagens mais avançadas, como técnicas de aprendizado de máquina (9,6%). Os métodos USLE (Universal Soil Loss Equation) e WEPP (Water Erosion Prediction Project) correspondem, cada um, a 12,9% dos estudos, configurando-se como as segundas abordagens mais empregadas. O modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) foi identificado em 6,4% da produção científica. Em menor proporção, com apenas um estudo cada, foram identificados os métodos D-RUSLE (Dynamic Revised Universal Soil Loss Equation), RMMF (Revised Morgan–Morgan–Finney Model), SWAT-WB (Soil and Water Assessment Tool – Water Balance), considerado uma adaptação do SWAT-2005, além das abordagens InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs) e EPM (Erosion Potential Method).

O RUSLE, consiste em um modelo empírico e quantitativo que estima a perda de solo com base na interação entre fatores como erosividade da chuva (R), erodibilidade do solo (K), fator topográfico (LS), uso e manejo do solo (C) e práticas conservacionistas (P) (WISCHMEIER; SMITH, 1978). Trata-se de uma atualização da equação USLE, desenvolvida para facilitar sua aplicação computacional e aprimorar a precisão das estimativas de erosão. No contexto brasileiro, o modelo apresenta elevada adequação às condições climáticas e ambientais, sendo amplamente utilizado em estudos de grande escala com apoio de Sistemas de Informação Geográfica (PANAGOS *et al.*, 2015).

Apesar de sua ampla aplicação, em regiões semiáridas apresenta limitações, especialmente no que se refere à estimativa do fator R (erosividade da chuva), em função da escassez de dados pluviométricos e da elevada variabilidade climática. Em contraste, o modelo WEPP consiste em um modelo dinâmico baseado nos princípios físicos do processo erosivo (LANE *et al.*, 1992). Sua capacidade de incorporar variáveis como estado do solo, cobertura vegetal e umidade antecedente confere maior robustez às simulações. Estudos realizados no Brasil evidenciam seu potencial de aplicação em diferentes contextos, incluindo regiões semiáridas, nas quais o modelo apresentou bom desempenho na previsão da erosão (PISCOYA *et al.*, 2020). Contudo, é necessário que os dados de entrada sejam adequadamente ajustados para refletir as condições específicas de cada área de estudo.

O modelo SWAT, por sua vez, destaca-se por sua capacidade de simulação em escala de bacia hidrográfica, permitindo a análise integrada de processos hidrossedimentológicos (BLAINSKI *et al.*, 2017). O SWAT opera com dados em tempo diário e é utilizado para simular em escala de bacia o ciclo de água e nutrientes e avaliação da eficiência ambiental. Sua aplicação no Brasil é ampla (LIMA *et al.*, 2020), sendo particularmente útil para avaliar impactos de práticas de manejo e uso do solo. No entanto, seu desempenho pode variar conforme a escala de análise, apresentando melhores resultados em mesobacias do que em microbacias, onde tende a apresentar maior discrepância entre dados simulados e observados (NETO *et al.*, 2014). Adicionalmente, a incorporação de técnicas de aprendizado de máquina associadas ao RUSLE indica uma tendência emergente na literatura, que facilita a seleção de variáveis relevantes, contribuindo para estimativas mais precisas, especialmente em ambientes complexos como o semiárido.

3.7 Modelos climáticos mais utilizados

Cerca de 54,8% dos estudos baseiam-se em dados do Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados (Coupled Model Intercomparison Project - CMIP), abrangendo suas diferentes fases (CMIP3, CMIP5 e CMIP6). O CMIP é utilizado como base científica pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), disponibilizando um amplo conjunto de experimentos numéricos que permitem a simulação de mudanças na precipitação sob cenários passados, presentes e futuros (O'NEILL *et al.*, 2013). Ademais, é comum que estudos baseados no CMIP utilizem múltiplos modelos em suas simulações como estratégia para reduzir vieses individuais e aumentar a robustez das projeções (GUPTA; SINGH; JAIN, 2020).

Adicionalmente, 9,6% dos estudos empregam Modelos Climáticos Regionais (RCMs), como o modelo do Instituto Real de Meteorologia dos Países Baixos (KNMI) e o Experimento Coordenado de Redimensionamento Climático Regional (CORDEX), os quais possibilitam maior detalhamento espacial das projeções. Por outro lado, aproximadamente 35,6% das pesquisas não especificam o modelo climático utilizado ou recorrem a valores de erosividade previamente estimados, ou ainda fundamentam suas projeções exclusivamente em mudança no uso e cobertura da terra.

Quanto aos cenários climáticos, cerca de 64,5% dos estudos empregam os Caminhos Socioeconômicos Compartilhados (Shared Socioeconomic Pathways - SSPs) ou as Trajetórias de Concentração Representativa (Representative Concentration Pathways - RCPs). Os SSPs representam uma atualização dos RCPs ao incorporarem pressupostos socioeconômicos à modelagem das emissões de gases de efeito estufa (RIAHI *et al.*, 2016). Complementares aos RCPs, os SSPs consideram variáveis como crescimento populacional, dinâmica econômica, padrões de urbanização e avanços tecnológicos, oferecendo um conjunto integrado para projeções climáticas de longo prazo. Entre os cenários mais utilizados destacam-

se: SSP1-2.6/RCP2.6, que representa um futuro otimista, com redução consistente das emissões ao longo do século; SSP2-4.5/RCP4.5, caracterizado como cenário intermediário, que apresenta um pico de emissões mais alto, mas com uma redução mais lenta; e SSP5-8.5/RCP8.5, considerado o cenário mais pessimista, pois pressupõe rápido crescimento econômico associado à elevada dependência de combustíveis fósseis (O'NEILL *et al.*, 2013).

3.8 Variáveis ambientais mais empregadas

Em relação às variáveis ambientais, 74,1% dos artigos empregam, no processo de modelagem, os fatores clássicos que compõem a equação USLE e, consequentemente, o método RUSLE: erosividade da chuva, erodibilidade do solo, comprimento das encostas, declividade, uso e cobertura da terra e práticas de conservação do solo. Por outro lado, 25,8% dos estudos utilizam variáveis definidas de acordo com o método de modelagem adotado. Entre elas, destacam-se:

- Variáveis climáticas: precipitação, temperatura mínima e máxima, radiação solar, umidade relativa, velocidade do vento e, em alguns casos, concentração de CO₂.
- Variáveis do solo: propriedades físicas como textura, teor de matéria orgânica ou carbono orgânico, profundidade do perfil e porosidade.
- Variáveis topográficas: derivadas de modelos digitais de elevação, como altitude, declividade, comprimento e forma da vertente, área contribuinte e diferentes índices topográficos.
- Variáveis de uso e cobertura da terra: tipos de cultivos, cobertura vegetal, desmatamento e expansão agrícola.
- Variáveis hidrológicas: volume de escoamento superficial, vazão de pico, rendimento de sedimentos e energia cinética da chuva.

No que se refere às variáveis que mais influenciam o processo de erosão hídrica, observou-se que 80,8% dos estudos identificam pelo menos um fator predominante na dinâmica erosiva. Dentre esses, 38,8% destacam a erosividade da chuva como o principal agente desencadeador da erosão. Além disso, 22,5% dos trabalhos apontam que a erosão é majoritariamente impulsionada pela interação entre a erosividade da chuva e o uso e cobertura da terra. Por sua vez, 13% dos estudos atribuem o aumento dos processos erosivos ao uso e cobertura da terra associado às práticas de manejo adotadas nas regiões avaliadas. Em menor proporção, 6,5% dos artigos consideram que o comprimento e a inclinação das encostas constituem o fator de maior peso na intensificação da erosão hídrica.

Estudos realizados em regiões semiáridas, como os de Yuan *et al.* (2023) e Zhang *et al.* (2024), indicam que o aumento da erosão hídrica está principalmente associado à ocorrência de chuvas mais erosivas e às mudanças no uso e cobertura da terra. Além disso, os autores destacam que áreas de pastagem e encostas com maior declividade apresentam maior suscetibilidade à erosão. Por outro lado, Behera *et al.* (2020) associam o aumento da erosão hídrica no futuro às alterações nos padrões de precipitação, em interação com variáveis topográficas e pedológicas. De modo geral, esses resultados evidenciam a complexidade da erosão hídrica e demonstram que, embora alguns fatores exerçam maior influência sobre os processos erosivos, as particularidades ambientais de cada região interferem diretamente na intensidade e distribuição espacial.

3.9 Validação dos modelos

A análise da validação dos modelos indicou que apenas 54,8% dos artigos utilizam alguma métrica para validar o desempenho das estimativas. A validação dos modelos é realizada predominantemente por meio da comparação entre as perdas de solo estimadas e dados observacionais provenientes de medições de campo ou séries históricas. Ademais, diversos estudos empregam métricas estatísticas para quantificar o desempenho preditivo dos modelos, destacando-se o coeficiente de determinação (R²), a eficiência de Nash–Sutcliffe (NSE), o viés percentual (PBIAS) e o erro quadrático médio (RMSE). Nos contextos em que não há dados confiáveis de perda de solo para fins de validação, é comum avaliar a acurácia dos componentes fundamentais da modelagem como erosividade, erodibilidade, topografia e uso e cobertura da terra, por meio de correlações e medidas de concordância, para garantir a confiabilidade das variáveis utilizadas. Contudo, 45,2% dos artigos não fazem referência a procedimentos de validação, o que compromete a confiabilidade e a aplicabilidade prática de seus resultados. Os dados revelam que, apesar dos avanços na modelagem da erosão hídrica, a validação ainda representa uma das principais limitações metodológicas identificadas na literatura analisada.

3.10 Padrão de erosão

Em relação ao padrão da erosão, evidenciou-se que 58,0% dos artigos indicam que, sob determinados cenários de mudanças climáticas, a erosão tende a aumentar de forma substancial, sobretudo em função do incremento da erosividade das chuvas. Por sua vez, 29,0% dos estudos mostram comportamentos regionais contrastantes, que incluem tanto reduções quanto aumentos na erosão, dependendo do período considerado, da área analisada e das práticas de manejo adotadas. Já 13,0% dos trabalhos apontam uma tendência de redução, associada principalmente à conversão de áreas agrícolas em florestas e ao aumento do índice de aridez.

Segundo Borrelli *et al.* (2020), o aumento da frequência de eventos extremos tendem a ampliar significativamente as perdas de solo em escala global, mesmo em regiões onde a precipitação média anual não apresenta aumento expressivo. Além dos fatores climáticos, a expansão agrícola, o desmatamento e a ocupação de áreas declivosas foram frequentemente associados ao agravamento da erosão, enquanto cenários com maior cobertura vegetal apresentaram redução parcial das perdas de solo. Nesse contexto, Ochoa-Cueva *et al.* (2013) destacam que a vegetação exerce papel fundamental na proteção do solo, reduzindo o escoamento superficial e atenuando os efeitos combinados da precipitação e da declividade.

Outro aspecto relevante refere-se à elevada variabilidade espacial dos processos erosivos. Apesar da tendência à intensificação da erosão, alguns estudos identificaram reduções localizadas associadas à diminuição da precipitação total e ao aumento das secas (GALDIES *et al.*, 2021). Esses resultados demonstram que a resposta da erosão às mudanças climáticas não ocorre de forma homogênea, variando conforme as condições ambientais e o uso da terra em cada região. Ainda assim, os achados reforçam a necessidade de estratégias integradas de conservação do solo e manejo sustentável da terra, especialmente em áreas mais vulneráveis. Contudo, conforme destacado por Borrelli *et al.* (2020), embora práticas conservacionistas possam reduzir parcialmente as perdas de solo em cenários menos extremos, sua eficácia tende a ser limitada frente ao aumento projetado da erosividade das chuvas em cenários climáticos mais severos, evidenciando a necessidade de políticas globais mais robustas de mitigação e adaptação climática.

4. Considerações finais

Esta revisão evidencia que os estudos sobre cenários futuros de erosão hídrica constituem um campo emergente, ainda caracterizado por baixo volume de publicações, rede colaborativa global em consolidação, concentração da produção científica em poucos periódicos e em um número restrito de artigos de elevada visibilidade internacional. Nesse contexto, destacam-se países como China, Índia, Itália, Estados Unidos e Brasil liderando a produção científica sobre o tema. Por outro lado, a análise híbrida permitiu ampliar a compreensão da temática e identificar lacunas relevantes, entre as quais se destacam a escassez de estudos em regiões semiáridas e a limitada validação dos modelos empregados.

Do ponto de vista metodológico, observou-se forte predominância do método RUSLE e o uso recorrente de projeções climáticas derivadas do CMIP. Contudo, também foi identificada a utilização de modelos mais complexos, como WEPP e SWAT, além da incorporação de técnicas de aprendizado de máquina associadas ao RUSLE, as quais contribuem para a seleção de variáveis relevantes e para o aprimoramento das estimativas de erosão hídrica.

De maneira geral, os resultados indicam uma tendência à intensificação da erosão hídrica nas próximas décadas, associada ao aumento da erosividade das chuvas sob cenários climáticos extremos. Entretanto, a dinâmica erosiva também se mostrou fortemente condicionada pelo uso e cobertura da terra e pelas práticas de manejo. Assim, este estudo oferece uma síntese abrangente da temática, contribuindo para o fortalecimento da base científica e para o desenvolvimento de estratégias mais eficazes de mitigação e manejo sustentável frente aos desafios impostos pelas mudanças climáticas.

Referências

- Amore, E.; Modica, C.; Nearing, M. A.; Santoro, V. C. *Scale effect in USLE and WEPP application for soil erosion computation from three Sicilian basins*. Journal Of Hydrology, [s. l.], v. 293, n. 1–4, p. 100–114, 13 abr. 2004. DOI 10.1016/j.jhydrol.2004.01.018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.01.018>.
- Behera, M.; Sena, D. R.; Mandal, U.; Kashyap, P. S.; Dash, S. S. *Integrated GIS-based RUSLE approach for quantification of potential soil erosion under future climate change scenarios*. Environmental Monitoring And Assessment, v. 192, n. 11, p. 733, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08688-2>.
- Blainski, E.; Acosta, E.; Nogueira, P. C. P. *Calibração e validação do modelo SWAT para simulação hidrológica em uma bacia hidrográfica do litoral norte catarinense*. Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science, v. 12, n. 2, p. 226, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1951>.

- Borrelli, P.; Robinson, D. A.; Panagos, P.; Lugato, E.; Yang, J. E.; Alewell, C.; Wuepper, D.; Montanarella, L.; Ballabio, C. *Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015-2070)*. Proceedings Of The National Academy Of Sciences, [s. l.], v. 117, n. 36, p. 21994–22001, 24 ago. 2020. DOI 10.1073/pnas.2001403117. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.2001403117>.
- Busico, G.; Grilli, E.; Carvalho, S. C. P.; Mastrocicco, M.; Castaldi, S. *Assessing Soil Erosion Susceptibility for Past and Future Scenarios in Semiarid Mediterranean Agroecosystems*. Sustainability, [s. l.], v. 15, n. 17, p. 12992, 29 ago. 2023. DOI 10.3390/su151712992. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su151712992>.
- Chen, C. *Science Mapping: A Systematic Review of the Literature*. Journal Of Data And Information Science, [s. l.], v. 2, n. 2, p. 1–40, 21 mar. 2017. DOI 10.1515/jdis-2017-0006. Disponível em: <https://doi.org/10.1515/jdis-2017-0006>.
- Chuenchum, P.; Xu, M.; Tang, W. *Predicted trends of soil erosion and sediment yield from future land use and climate change scenarios in the Lancang–Mekong River by using the modified RUSLE model*. International Soil And Water Conservation Research, [s. l.], v. 8, n. 3, p. 213–227, 9 jul. 2020. DOI 10.1016/j.iswcr.2020.06.006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2020.06.006>.
- FAO. Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura, 2022. *Solos saudáveis para as pessoas e para o planeta: FAO pede reversão da degradação do solo*. Roma/Berlim. Disponível em: <https://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/fr/c/1472352/>.
- Galdies, C.; Azzopardi, D.; Sacco, A. *Estimates of soil erosion rates in a principal watershed in Gozo, Malta under current and future climatic conditions*. CATENA, v. 210, p. 105900, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105900>.
- Ganasri, B. P.; Ramesh, H. *Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS - A case study of Nethravathi Basin*. Geoscience Frontiers, [s. l.], v. 7, n. 6, p. 953–961, 1 dez. 2015. DOI 10.1016/j.gsf.2015.10.007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2015.10.007>.
- Guo, J.; Chen, J.; Qi, S. *Impact of Land Use/Cover Change on Soil Erosion and Future Simulations in Hainan Island, China*. Water, v. 16, n. 18, p. 2654, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w16182654>.
- Hernani, L. C.; Freitas, P. L.; Pruski, F. F.; Maria, I.C.; Castro Filho, C.; Landers, J.N. *A erosão e seu impacto*. Infoteca-e (Brazilian Agricultural Research Corporation), 2002. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1124240>.
- Johri, A.; Joshi, P.; Kumar, S.; Joshi, G. *Metaverse for Sustainable Development in a bibliometric analysis and systematic literature review*. Journal Of Cleaner Production, [s. l.], v. 435, p. 140610, 1 jan. 2024. DOI 10.1016/j.jclepro.2024.140610. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140610>.
- Kiani-Harchegani, M.; Sadeghi, S. H.; Singh, V. P.; Asadi, H.; Abedi, M. *Effect of rainfall intensity and slope on sediment particle size distribution during erosion using partial eta squared*. CATENA, [s. l.], v. 176, p. 65–72, 15 jan. 2019. DOI 10.1016/j.catena.2019.01.006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.01.006>.
- Lane, L. J.; Renard, K. G.; Foster, G. R.; Laflen, J. M. *Development and application of modern soil erosion prediction technology - The USDA experience*. Australian Journal Of Soil Research, v. 30, n. 6, p. 893–912, 1992. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/sr9920893>.
- Lima, P. L. T.; Silva, M. L. N.; Quinton, J.; Armstrong, A.; Inda, A. V.; Batista, P. V. G.; Poggere, G. C.; Curi, N. *Tracing the origin of reservoir sediments using magnetic properties in Southeastern Brazil*. Semina Ciências Agrárias, v. 41, n. 3, p. 847, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2020v41n3p847>.
- López-Vicente, M.; Poesen, J.; Navas, A.; Gaspar, L. *Predicting runoff and sediment connectivity and soil erosion by water for different land use scenarios in the Spanish Pre-Pyrenees*. CATENA, [s. l.], v. 102, p. 62–73, 6 fev. 2011. DOI 10.1016/j.catena.2011.01.001. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.01.001>.

- Minella, J. P. G.; Merten, G. H; Reichert, J. M.; Santos, D. R. *Identificação e implicações para a conservação do solo das fontes de sedimentos em bacias hidrográficas*. Revista Brasileira De Ciência Do Solo, v. 31, n. 6, p. 1637–1646, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0100-06832007000600039>.
- Mullan, D. *Soil erosion under the impacts of future climate change: Assessing the statistical significance of future changes and the potential on-site and off-site problems*. CATENA, [s. l.], v. 109, p. 234–246, 17 abr. 2013. DOI 10.1016/j.catena.2013.03.007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.03.007>.
- Neto, J.; Silva, A.; Mello, C.; Júnior, A. *Simulação hidrológica Escalar com o modelo SWAT*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 19, n. 1, p. 177–188, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.21168/rbrh.v19n1.p177-188>.
- O'Neill, B. C.; Kriegler, E.; Riahi, K.; Ebi, K. L.; Hallegatte, S.; Carter, T. R.; Mathur, R.; Van Vuuren, D. P. *A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways*. Climatic Change, [s. l.], v. 122, n. 3, p. 387–400, 14 out. 2013. DOI 10.1007/s10584-013-0905-2. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0905-2>.
- Ochoa-Cueva, P.; Fries, A.; Montesinos, P.; Rodríguez-Díaz, J. A.; Boll, J. *Spatial Estimation of Soil Erosion Risk by Land-cover Change in the Andes OF Southern Ecuador*. Land Degradation And Development, v. 26, n. 6, p. 565–573, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ldr.2219>.
- Oliveira, B. S. M.; Rocha, W. J. S. F.; Souza, D. T. M.; Vasconcelos, R. N. *PADRÕES E TENDÊNCIAS NA MODELAGEM DO CARBONO ORGÂNICO DO SOLO COM DADOS ESPECTRAIS: UMA REVISÃO ABRANGENTE*. Sociedade e Território, [S. l.], v. 37, n. 3, 2025. DOI: 10.21680/2177-8396.2025v37n3ID39901. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/sociedadeeterritorio/article/view/39901>.
- Panagos, P.; Borrelli, P.; Poesen, J.; Ballabio, C.; Lugato, E.; Meusburger, K.; Montanarella, L.; Alewell, C. *The new assessment of soil loss by water erosion in Europe*. Environmental Science & Policy, [s. l.], v. 54, p. 438–447, 25 ago. 2015. DOI 10.1016/j.envsci.2015.08.012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.08.012>.
- Pedersen, J. S. T.; Santos, F. D.; Van Vuuren, D.; Gupta, J.; Coelho, R. E.; Aparício, B. A.; Swart, R. *An assessment of the performance of scenarios against historical global emissions for IPCC reports*. Global Environmental Change, [s. l.], v. 66, p. 102199, 10 dez. 2020. DOI 10.1016/j.gloenvcha.2020.102199. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102199>.
- Piscocoy, V. C.; Souza, W. P. D. E.; Cantalice, J. R. B.; Cunha Filho, M.; Melo, R. C. P. D. E.; Araújo Filho, R. N. D. E. *WEPP MODEL FOR RILL EROSION ESTIMATION IN a BRAZILIAN SEMIARID WATERSHED*. Revista Caatinga, v. 33, n. 3, p. 835–843, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n327rc>.
- Queiroz, M. G.; Da Silva, T. G. F.; Zolnier, S.; Da Rosa Ferraz Jardim, A. M.; De Souza, C. A. A.; Júnior, G. Do N. A.; De Moraes, J. E. F.; De Souza, L. S. B. *Spatial and temporal dynamics of soil moisture for surfaces with a change in land use in the semi-arid region of Brazil*. CATENA, [s. l.], v. 188, p. 104457, 14 jan. 2020. DOI 10.1016/j.catena.2020.104457. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104457>.
- Riahi, K.; Van Vuuren, D. P.; Kriegler, E.; Edmonds, J.; O'Neill, B. C.; Fujimori, S.; Bauer, N.; Calvin, K.; Dellink, R.; Fricko, O.; Lutz, W.; Popp, A.; Cuaresma, J. C.; Kc, S.; Leimbach, M.; Jiang, L.; Kram, T.; Rao, S.; Emmerling, J.; Ebi, K.; Hasegawa, T.; Havlik, P.; Humenöder, F.; Da Silva, L. A.; Smith, S.; Stehfest, E.; Bosetti, V.; Eom, J.; Gernaat, D.; Masui, T.; Rogelj, J.; Strefler, J.; Drouet, L.; Krey, V.; Luderer, G.; Harmsen, M.; Takahashi, K.; Baumstark, L.; Doelman, J. C.; Kainuma, M.; Klimont, Z.; Marangoni, G.; Lotze-Campen, H.; Obersteiner, M.; Tabeau, A.; Tavoni, M. *The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview*. Global Environmental Change, [s. l.], v. 42, p. 153–168, 13 set. 2016. DOI 10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009>.
- Silveira, L. N.; Nascimento, V. F.; Casagrande, F.; De Souza, S. F.; Ometto, J. P. H. B. *Assessment of soil loss susceptibility in geodetic landmarks for the past and future climate change scenarios*. Journal Of South American Earth Sciences, [s. l.], v. 130, p. 104551, 23 ago. 2023. DOI 10.1016/j.jsames.2023.104551. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104551>.

-
- Van Eck, N. J., Waltman, L. *Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping*. Scientometrics, v. 84, n. 2, p. 523–538, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>.
- Vasconcelos, R. N.; Rocha, W. J. S. F.; Costa, D. P.; Duverger, S. G.; De Santana, M. M. M.; Cambui, E. C. B.; Ferreira-Ferreira, J.; Oliveira, M.; Da Silva Barbosa, L.; Cordeiro, C. L. *Fire Detection with Deep Learning: A Comprehensive Review*. Land, [s. l.], v. 13, n. 10, p. 1696, 17 out. 2024. DOI 10.3390/land13101696. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/land13101696>.
- Viana, J.; Santos, J.; Neiva, R.; Souza, J.; Duarte, L.; Teodoro, A.; Freitas, A. *Remote Sensing in Human Health: A 10-Year Bibliometric Analysis*. Remote Sensing, [s. l.], v. 9, n. 12, p. 1225, 28 nov. 2017. DOI 10.3390/rs9121225. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs9121225>.
- Wang, Y.; Dong, Y.; Su, Z.; Mudd, S. M.; Zheng, Q.; Hu, G.; Yan, D. *Spatial distribution of water and wind erosion and their influence on the soil quality at the agropastoral ecotone of North China*. International Soil And Water Conservation Research, [s. l.], v. 8, n. 3, p. 253–265, 18 maio 2020. DOI 10.1016/j.iswcr.2020.05.001. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2020.05.001>.
- Wischmeier, W. H.; Smith, D. D. Predicting rainfall erosion losses : a guide to conservation planning. Washington, USDA, Agriculture Handbook, 1978. 58p.
- Yuan, J.; Liu, X.; Li, H.; Wang, R.; Luo, X.; Xing, L.; Wang, C.; Zhao, H. *Assessment of Spatial–Temporal Variations of Soil Erosion in Hulunbuir Plateau from 2000 to 2050*. Land, v. 12, n. 6, p. 1214, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/land12061214>.
- Zhang, B.; Guo, J.; Fang, H.; Wu, S.; Feng, H.; Siddique, K. H. M. *Soil erosion projection and response to changed climate and land use and land cover on the Loess Plateau*. Agricultural Water Management, v. 306, p. 109187, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.109187>.