



Buffers vegetados na retenção de sedimentos em paisagens agrícolas: uma revisão sistemática

Erivelton César Stroparo¹; Valdemir Antoneli²; João Anésio Bednarz³

Como Citar:

STROPARO, Erivelton César; ANTONELLI, Valdemir; BEDNARZ, João Anésio. Buffers vegetados na retenção de sedimentos em paisagens agrícolas: uma revisão sistemática. Revista Sociedade Científica, vol. 9, n. 1, p. 1407-1434, 2026. <https://doi.org/10.61411/rsc2026135119>

DOI: 10.61411/rsc2026135119

Área do conhecimento:

Ciências Agrárias

Sub-área:

Agronomia

Palavras-chaves: Buffers; Retenção de Sedimentos; Processos Erosivos; Conectividade Hidrossedimentológica

Publicado: 10 de junho de 2026

Resumo

A intensificação das atividades agrícolas tem ampliado os processos erosivos e o transporte de sedimentos para os corpos hídricos, comprometendo a qualidade da água e a sustentabilidade dos agroecossistemas. Nesse contexto, os buffers vegetados destacam-se como uma estratégia eficaz para a mitigação desses impactos. O presente estudo teve como objetivo analisar a eficiência dessas estruturas na retenção de sedimentos e seus efeitos na qualidade da água em paisagens agrícolas, por meio de uma revisão sistemática da literatura. Para a seleção dos estudos, aplicou-se o protocolo *Methodi Ordinatio*, considerando critérios de relevância, fator de impacto, número de citações e ano de publicação. A busca foi realizada nas bases *Science Direct*, *Web of Science* e *Scopus*, resultando em um portfólio final de 35 artigos. Os resultados indicam que a eficiência dos buffers na retenção de sedimentos é elevada, frequentemente superior a 90% em condições adequadas de dimensionamento e posicionamento na paisagem. Observou-se que fatores como largura da faixa, composição vegetal, declividade do terreno e intensidade das chuvas influenciam diretamente na eficiência de retenção. Além disso, verificou-se que sistemas vegetados multifuncionais, com uso de gramíneas e leguminosas, podem associar benefícios ambientais à geração de biomassa e retorno econômico ao agricultor. Neste sentido, pode-se concluir que os buffers vegetados constituem uma solução eficaz e adaptável para o controle da erosão e a proteção da qualidade da água, sendo sua eficiência condicionada à adequação às características locais e à integração com práticas de manejo sustentável.

Vegetated buffers for sediment retention in agricultural landscapes: a systematic review

Abstract

The intensification of agricultural activities has increased erosion processes and the transport of sediments to water bodies, compromising water quality and the

¹Universidade Estadual do Centro Oeste, Irati-PR, Brasil. Email: ✉

²Universidade Estadual do Centro Oeste, Irati-PR, Brasil. Email: ✉

³Universidade Estadual do Centro Oeste, Irati-PR, Brasil. Email: ✉



sustainability of agroecosystems. In this context, vegetated buffers stand out as an effective strategy to mitigate these impacts. The present study aimed to analyze the efficiency of vegetated buffers in sediment retention and their effects on water quality in agricultural landscapes through a systematic literature review. For the selection of studies, the *Methodi Ordinatio* protocol was applied, considering criteria such as relevance, impact factor, number of citations, and year of publication. The search was conducted in the *Science Direct*, *Web of Science*, and *Scopus* databases, resulting in a final portfolio of 35 articles. The results indicate that the efficiency of buffers in sediment retention is high, often exceeding 90% under appropriate design and positioning conditions within the landscape. It was observed that factors such as buffers width, vegetation composition, terrain slope, and rainfall intensity directly influence the performance of these structures. Additionally, it was found that multifunctional vegetated systems, using grasses and legumes, can combine environmental benefits with biomass production and economic returns for farmers. In this sense, it can be concluded that vegetated buffers constitute an effective and adaptable solution for erosion control and the protection of water quality, with their efficiency depending on proper adaptation to local characteristics and integration with sustainable management practices.

Keywords: Buffers, Sediment Retention, Erosion Processes, Hydrosedimentological Connectivity.

1. Introdução

A intensificação das atividades agrícolas nas últimas décadas tem ampliado significativamente a pressão sobre os recursos naturais, especialmente sobre o solo e os sistemas hídricos [1]. Práticas como o preparo intensivo do solo, a supressão da vegetação natural e a expansão de áreas cultivadas contribuem para o aumento da erosão hídrica e do transporte de sedimentos para corpos hídricos. Esse processo não apenas reduz a fertilidade do solo agrícola, mas também compromete a qualidade da



água, favorecendo o assoreamento de rios e reservatórios, além do carreamento de nutrientes e agrotóxicos associados às partículas sedimentares [2].

Nesse contexto, a dinâmica de transporte de sedimentos em paisagens agrícolas está fortemente relacionada à conectividade hidrossedimentológica, conceito que descreve a capacidade de transferência de água e materiais ao longo da paisagem até a rede de drenagem [3,4]. Em áreas onde a conectividade entre vertentes e cursos d'água é elevada, eventos de chuva intensa podem mobilizar grandes quantidades de solo, acelerando os processos erosivos e ampliando a exportação de sedimentos e poluentes difusos para os ecossistemas aquáticos [5,6]. Desta forma, estratégias de manejo que atuem na interrupção ou redução dessa conectividade tornam-se fundamentais para o controle da erosão e para a proteção da qualidade da água em bacias hidrográficas agrícolas [7].

Entre as práticas de conservação do solo e da água, destacam-se os buffers vegetados. Estas zonas tampão, constituídas por gramíneas, arbustos, árvores ou combinações destes, são estabelecidas nas bordas de campos agrícolas ou ao longo de corpos hídricos [8]. Sua finalidade primária é mitigar a velocidade do escoamento superficial, favorecendo a infiltração e a retenção de sedimentos e contaminantes [9]. Adicionalmente, estas estruturas promovem a ciclagem de nutrientes, a estabilização de margens fluviais e a provisão de serviços ecossistêmicos essenciais à biodiversidade [10].

A literatura reporta que, sob variadas condições edafoclimáticas, os buffers são eficazes na mitigação do aporte de sedimentos e contaminantes agrícolas [11]. Contudo, o êxito desta prática está condicionado ao rigor no dimensionamento e à alocação estratégica em pontos de convergência do fluxo superficial [8]. Paralelamente, observa-se uma considerável variabilidade nos resultados reportados, decorrente de fatores como a largura da faixa, composição florística, declividade e intensidade pluviométrica [12]. Apesar do avanço das pesquisas no Hemisfério Norte, os dados encontram-se dispersos



e concentrados em regiões de clima temperado, evidenciando lacunas significativas em áreas tropicais e subtropicais, como o Brasil [13,14]. Nesse sentido, revisões sistemáticas tornam-se ferramentas fundamentais para sintetizar o conhecimento disponível, identificar padrões e estabelecer diretrizes para o manejo sustentável das paisagens agrícolas.

Diante do exposto, o presente estudo objetivou analisar a eficácia dos buffers na retenção de sedimentos e seus impactos na qualidade da água em agroecossistemas, por meio de uma revisão sistemática da literatura. Para tanto, aplicou-se o protocolo *Methodi Ordinatio*, método que permite a seleção e hierarquização de publicações com base no índice *InOrdinatio*, integrando critérios de relevância, impacto e atualidade. Essa abordagem possibilitou a construção de um portfólio bibliográfico qualificado para a análise integrada das evidências e para a identificação de lacunas críticas para o manejo sustentável em regiões tropicais e subtropicais.

2. Metodologia

A base metodológica deste trabalho ampara-se no protocolo de revisão sistemática *Methodi Ordinatio* [15]. Esta abordagem fundamenta-se em um modelo multicritério de tomada de decisão estruturado em nove etapas sequenciais, que visam selecionar e hierarquizar a relevância de produções científicas ao integrar, de forma ponderada, o fator de impacto dos periódicos, a atualidade das publicações e o índice de citações de cada estudo.

O processo operacional iniciou-se pelo estabelecimento da intenção da investigação (Etapa I), focada na relação entre os buffers vegetais, a eficiência na retenção de sedimentos e nutrientes e influência na qualidade da água. Para a coleta do portfólio bibliográfico (Etapas II a IV), realizaram-se buscas preliminares (10 de fevereiro de 2026), nas bases de dados *Science Direct*, *Web of Science* e *Scopus*. A estratégia empregou descritores em língua inglesa, como "*vegetal buffers*", "*sediment*



trapping efficiency" e "*water quality*", os quais foram combinados por meio dos operadores booleanos *OR* e *AND* com delimitação aplicada aos títulos. Visando uma cobertura abrangente que contemplasse desde estudos contemporâneos até artigos considerados "clássicos", estabeleceu-se um recorte temporal entre os anos de 2000 e 2025. Esta fase resultou em um montante inicial de 299 documentos, distribuídos entre *Science Direct* (131), *Web of Science* (88) e *Scopus* (80), selecionando-se exclusivamente artigos de pesquisa nos idiomas português, inglês e espanhol.

Dando continuidade ao protocolo (Etapa V), os registros identificados em cada plataforma foram exportados em formato *RIS* para o gerenciador de referências *Zotero*, onde procedeu-se à identificação e exclusão de duplicatas, restando 235 trabalhos. Estes foram organizados em uma planilha eletrônica (*Microsoft Excel*), contendo metadados essenciais como autoria, título, ano, periódico e link de acesso, facilitando o gerenciamento da etapa de triagem. Na sequência, realizou-se a análise sistemática dos títulos, resumos e palavras-chave, aplicando-se critérios eletivos e de exclusão rigorosos.

Foram selecionados estudos que analisassem especificamente a atuação dos buffers em áreas agrícolas, desde que apresentassem dados quantitativos sobre a retenção de sedimentos, nutrientes ou poluentes, provenientes de experimentos de campo, ensaios controlados ou modelagens hidrológicas que simulassem o escoamento superficial.

Foram excluídos os trabalhos puramente teóricos, como revisões de literatura e editoriais, que serviram apenas para a fundamentação do tema. Também foram descartados estudos sem metodologia clara, aqueles focados apenas em retenção de nutrientes (sem mensuração de sedimentos) e pesquisas sobre barreiras artificiais sem vegetação. Além disso, excluíram-se estudos desenvolvidos em grandes bacias hidrográficas que não isolassem o efeito específico da área vegetal, bem como, estudos realizados em áreas urbanas, florestas naturais ou zonas marinhas. Por fim, foram



desconsiderados experimentos com materiais sintéticos (como grama de plástico) ou que tratassem de grandes barragens, garantindo que a amostra final refletisse apenas o uso de barreiras de vegetação em contextos agrícolas reais. Após a filtragem, 62 artigos foram selecionados e submetidos à análise de relevância a partir da equação *InOrdinatio* (Equação1) [15].

$$InOrdinatio = \frac{Fi}{1000} + a^* [10 - (APE - APU)] + (\Sigma Ci) \quad (1)$$

Onde:

- a) Fi = Fator de impacto da revista, obtido pelo *Journal Citation Reports (JCR)*;
- b) a* = Coeficiente atribuído pelo pesquisador à relevância do ano de publicação, variável de 1 a 10, sendo considerado neste estudo o fator 10 (alta relevância);
- c) APE = Ano da realização da pesquisa nas bases de dados (2026);
- d) APU = Ano de publicação do artigo;
- e) ΣCi = Quantidade de citações do artigo.

Com base nos resultados do cálculo, foram selecionados para análise apenas os estudos com pontuação positiva na escala de relevância. Dessa forma, o portfólio final contou com 35 artigos (Tabela 1), cujos dados foram integralmente avaliados.

Após a seleção final, os 35 artigos foram submetidos à leitura integral para a extração sistemática de dados em planilha eletrônica. Foram catalogadas informações essenciais como o ano de publicação, periódico, país de origem do estudo, além de variáveis específicas do objeto de estudo, como a declividade do terreno, o tipo de solo e as características das barreiras vegetais (composição botânica e largura).

Com o intuito de integrar e relacionar as temáticas e discussões presentes no portfólio, realizou-se uma análise de coocorrência de termos a partir das palavras-chave utilizando o software *VOSviewer* (versão 1.6.20). Ressalta-se que esta ferramenta



permite a criação e exploração de mapas bibliométricos, sendo fundamental para visualizar as inter-relações e a estrutura intelectual do domínio de pesquisa [16].

Tabela 1: Portfólio bibliográfico final selecionado pelo índice InOrdinatio

Recorte temporal	
2004 - 2017	2018 - 2025
Lee, Isenhardt e Schultz (2003) [17]	Burguet <i>et al.</i> (2018) [33]
Abu-Zreing <i>et al.</i> (2004) [18]	Frankl <i>et al.</i> (2018) [34]
Hussein <i>et al.</i> (2007) [19]	Are, Oshunsanya e Oluwatosin (2018) [35]
Dosskey, Helmers e Eisenhauer (2011) [12]	Muñoz-Carpena, Ritter e Fox (2019) [36]
Helmers <i>et al.</i> (2012) [20]	Sirabahenda <i>et al.</i> (2020) [37]
Rodríguez-Caballero <i>et al.</i> (2014) [21]	Luo, Pan e Liu (2020) [38]
Koshiba <i>et al.</i> (2014) [22]	Jiang <i>et al.</i> (2020) [39]
Lambrechts <i>et al.</i> (2014a) [23]	Ramesh <i>et al.</i> (2021) [30]
Lambrechts <i>et al.</i> (2014b) [24]	Yan <i>et al.</i> (2021) [40]
Aslan e Trauth (2014) [25]	Ou <i>et al.</i> (2021) [41]
Muñoz-Carpena, <i>et al.</i> (2015) [26]	Baldan <i>et al.</i> (2021) [42]
Ha e Wu, (2015) [27]	Wu <i>et al.</i> (2023) [43]
Liu <i>et al.</i> (2016) [28]	Muñoz <i>et al.</i> (2024) [44]
Mekonnen <i>et al.</i> (2016) [29]	Kumwimba <i>et al.</i> (2024) [11]
Zhang <i>et al.</i> (2016) [30]	Yan <i>et al.</i> (2024) [45]
Carluer <i>et al.</i> (2017) [31]	Yan <i>et al.</i> (2025a) [46]
Pan <i>et al.</i> (2017) [32]	Song <i>et al.</i> (2025) [47]
	Yan <i>et al.</i> (2025b) [48]

Fonte: Dados da pesquisa, 2026

Previamente ao processamento, todas as etiquetas de palavras-chave foram revisadas e padronizadas para eliminar variações de um mesmo termo (ex: plural e singular ou sinônimos técnicos), garantindo a precisão da rede. Na sequência, os metadados foram exportados para o VOSviewer, onde a análise de coocorrência foi processada considerando termos com no mínimo duas menções. Este critério permitiu a identificação dos principais clusters temáticos, evidenciando as tendências e lacunas científicas sobre a eficiência dos buffers na retenção de sedimentos e nutrientes em áreas agrícolas.



A seção a seguir apresenta os resultados da pesquisa, correlacionando as características dos estudos revisados com a eficiência dos buffers vegetados na contenção de sedimentos e no controle da erosão em áreas agrícolas.

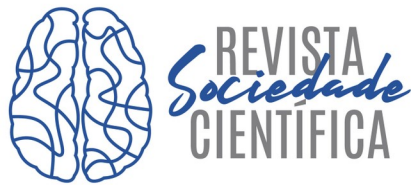
3. **Desenvolvimento e discussão**

Considerando o material selecionado, foi possível verificar que o interesse científico pela utilização de buffers vegetados consolidou-se a partir da década de 2000, impulsionado pela necessidade de mitigar impactos hidrossedimentológicos em bacias agrícolas sob pressão. Embora estudos desta natureza tenham marcos iniciais importantes [49], a intensificação de eventos climáticos extremos e a acelerada perda de solo por práticas convencionais de manejo renovaram a emergência do tema. Reporta-se que estudos afirmam que a eficiência dessas barreiras não depende apenas da largura e densidade, mas da adaptação do tipo de vegetação às especificidades climáticas regionais [8,28]. A variabilidade global encontrada nos artigos revela que, enquanto climas temperados focam em faixas de gramíneas densas (*filter strips*), regiões tropicais e subtropicais demandam estruturas multiestratificadas para suportar regimes de chuvas intensas. Essa diversidade de contextos justifica a produção de conhecimento que integre fatores biofísicos e parâmetros de design, visando estratégias de conservação de água e solo mais resilientes às mudanças globais.

3.1. Panorama da produção científica temporal

A distribuição temporal das publicações selecionadas (Figura 1) revela que o estudo sobre buffers vegetados e retenção de sedimentos e nutrientes apresenta um crescimento descontínuo, porém ascendente, na última década.

Nossos achados apontam que, entre 2000 e 2013, a produção científica foi esporádica, fato que corrobora com a compreensão e validação dos protocolos experimentais e a definição das bases teóricas sobre o tema. Entretanto, a partir de 2014, verificou-se uma intensificação do debate científico, ano que registrou o maior volume



de publicações, representando 14,3% do total. Esse movimento coincide com a ampliação das discussões globais sobre serviços ecossistêmicos e resiliência climática [50,51].

A manutenção de um patamar elevado em anos recentes, com picos em 2021 e 2025 que somados detêm 22,8% das ocorrências. Essa condição confirma que a otimização e avaliação da real eficiência dos buffers permanece na fronteira do conhecimento.



Figura 1: Evolução temporal das publicações do portfólio final (2000–2025)

Fonte: Dados da pesquisa (2026).

Tal tendência é impulsionada pela busca de soluções de base biotecnológica para o manejo sustentável do solo e controle de erosão e sedimentos, atrelado mais recentemente, aos efeitos destes na qualidade da água.

3.2. Representatividade e qualificação editorial

A análise da evolução temporal revelou que o interesse pelas buffers vegetados se intensificou na última década. Complementarmente, a análise do portfólio bibliográfico analisado aponta que esse crescimento não é apenas quantitativo, mas sustentado por uma base científica altamente qualificada (Figura 2).



Observa-se que 31,4% da amostra está concentrada nos dois principais periódicos da área: *Journal of Hydrology* (17,1%) e *Ecological Engineering* (14,3%). Essa concentração em periódicos de alto impacto demonstra que quase um terço das evidências sobre a eficácia dos buffers advém de publicações com rigoroso foco em processos hidrológicos e restauração ecossistêmica. Somando-se a estes os periódicos *Science of the Total Environment* (11,4%) e *Water Resources Research* (8,6%), nota-se que mais da metade do portfólio (51,4%) está alocada em revistas de elite voltadas à gestão ambiental e recursos hídricos. Em contra partida, nossos achados revelaram uma diversidade editorial notável, com 28,6% dos artigos distribuídos em periódicos de ocorrência única.

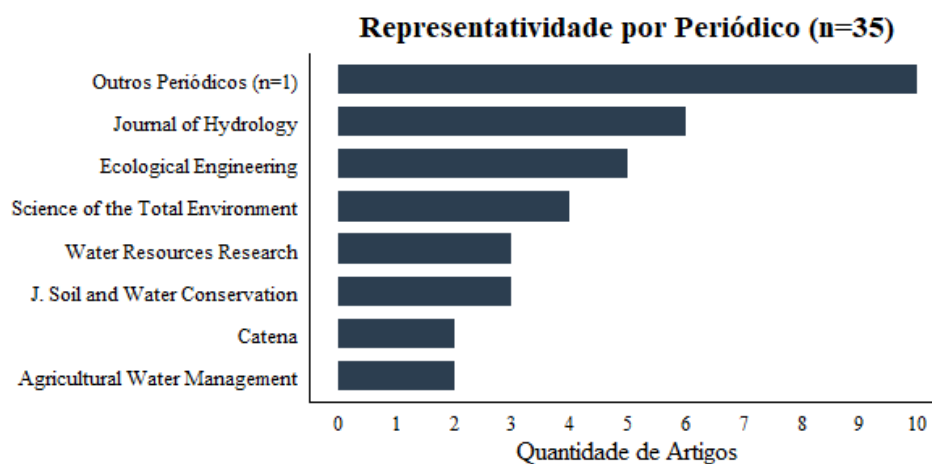


Figura 2: Representatividade dos principais periódicos no portfólio bibliográfico selecionado

Fonte: Dados da pesquisa (2026).

Essa dispersão indica que a temática em estudo é transversal, despertando o interesse de diferentes nichos do conhecimento, desde a agronomia até a geomorfologia, o que justifica a busca por soluções que integrem a conservação do solo à resiliência climática, conforme discutido anteriormente.

3.3. Distribuição geográfica e contextos climáticos

Ao observar a dispersão geográfica das publicações (Figura 3), verifica-se uma concentração de pesquisas no Hemisfério Norte, com destaque para a China (22,9%) e Estados Unidos (20%). Essa polarização indica que o estado da arte do monitoramento de buffers está situado em regiões com agricultura intensiva e alta pressão sobre os recursos hídricos [8].

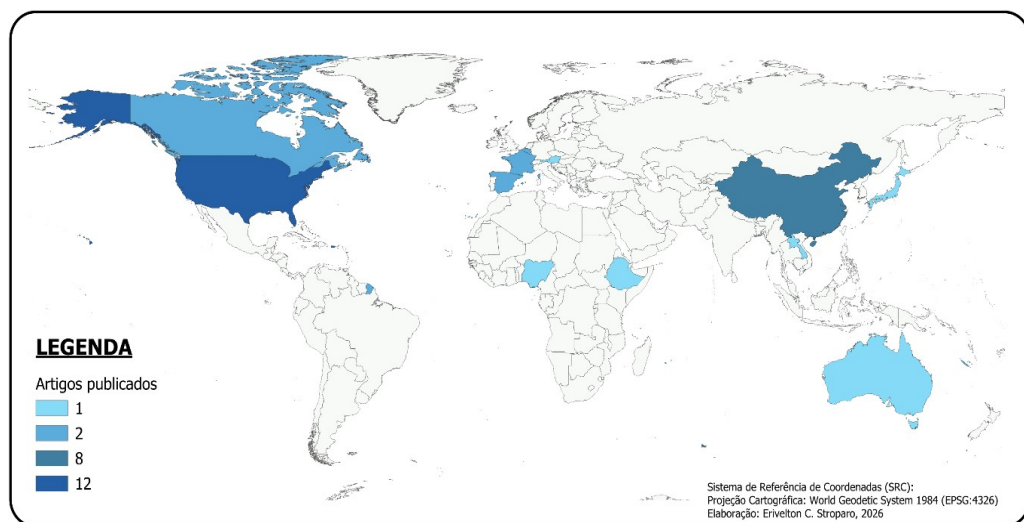


Figura 3: Distribuição geográfica dos trabalhos avaliados

Fonte: Dados da pesquisa (2026).

A predominância desses países sugere que os parâmetros de dimensionamento dominantes na literatura foram validados sob dinâmicas hidrossedimentológicas e regimes climáticos temperados, o que exige cautela ao transpor tais estratégias para regiões de latitudes inferiores [8]. Nesse cenário, chama a atenção a escassez de estudos sistemáticos no Brasil que componham o portfólio de elite da respectiva área. Dada a vasta extensão das terras agricultáveis em território brasileiro e a relevância estratégica do agronegócio para a economia nacional, a baixa representatividade de dados locais revela uma lacuna importante.



A carência de monitoramento sistemático em bacias hidrográficas tropicais restringe o estabelecimento de diretrizes de dimensionamento que incorporem a agressividade climática e as características pedológicas nacionais, elementos cruciais para assegurar a funcionalidade hidrológica das zonas ripárias (especialmente nas Áreas de Preservação Permanente - APPs) e das faixas de bordadura [13,14].

É importante destacar que a presença de estudos em países europeus (França, Bélgica, Espanha e Áustria) demonstram uma abordagem consolidada sobre a multifuncionalidade dos buffers, tratando-os como infraestrutura verde integrada à paisagem agrícola [52]. Entretanto, a inclusão de pesquisas na Etiópia, Nigéria e Laos traz uma perspectiva essencial sobre a aplicação de soluções baseadas na natureza em solos tropicais, onde as faixas de proteção enfrentam pressões hidrogeomorfológicas distintas e exigem arranjos vegetais capazes de suportar regimes de precipitação intensos. Essa capilaridade global reforça que o uso de buffers possui validade universal como estratégia de conservação [7]. No entanto, a variação na densidade de estudos entre os continentes evidencia uma lacuna importante: embora o conceito seja global, a adaptação técnica da vegetação deve responder estritamente às necessidades locais de resiliência ambiental [10].

3.4. Análise da eficácia dos buffers vegetados na retenção de poluentes

A análise da eficiência dos buffers fundamenta-se na seleção criteriosa da literatura científica onde, após a aplicação do *Methodi Ordinatio* e a análise de 35 artigos validados, foram selecionados 10 estudos representativos para compor a matriz comparativa de dados (Tabela 2). Ressalta-se que esta seleção foi realizada visando refletir a heterogeneidade global do tema, integrando estudos de impacto com diversidade de contextos geográficos. Esta espacialização é desde climas tropicais na Nigéria e Etiópia até zonas temperadas e frias na Europa e América do Norte, além de abranger diferentes escalas, desde calhas experimentais até microbacias hidrográficas completas.



Tabela 2: Síntese dos parâmetros estruturais e indicadores de eficiência dos buffers nos estudos selecionados

Autoria, ano, local	Contexto experimental	Configuração do Buffer (Largura/Vegetação)	Eficiência de retenção
Are, Oshunsanya e Oluwatosin (2018) [35]; Nigéria	Delineamento experimental (DBC) em encosta; monitoramento de indicadores físicos e hidrológicos; milho.	Capim Vetiver + cobertura morta – L: 0,5 m; C: 10 a 20m	Nutrientes: 55-73% no estoque de Carbono Orgânico.
Carluer <i>et al.</i> , (2016) [31]; França	Modelagem (VFSSMOD) para projetar buffers para retenção de sedimentos e pesticidas; Áreas agrícolas com cultivo convencional	Variável dependendo da carga de sedimentos	Dependente da largura do buffer, tipo de solo, declividade e intensidade da chuva
Pan <i>et al.</i> , (2017) [31]; Japão	Experimento em Calha (<i>Flume experiment</i>); Forrageiras (Pastagem).	<i>Dactylis glomerata</i> (gramínea) e <i>Trifolium repens</i> (trevo-branco); foco na fisiologia	Trevo branco foi mais eficiente em todos os testes.
Yan <i>et al.</i> (2021) [40]; China	Parcelas: (20m) sob chuva natural; monitoramento hidrológico e nutrientes; 4 safras; Cultivo de milho.	Gramíneas: Alfalfa (<i>Medicago sativa L.</i>) e Grama Nativa (<i>Setaria viridis</i>). L: de 1 a 2m.	S: 62,30%; Escoamento: 37,91%; N, P, NO ₂ > 50%.
Lambrechts <i>et al.</i> (2014) [23]; Bélgica	Experimento em calha experimental (<i>flume</i>) de 2 m de comprimento; Áreas agrícolas.	Gramínea (<i>Lolium perenne</i>) e leguminosa (Trevo branco - <i>Trifolium repens</i>); L: 1m.	S: 35% e 50%
Kumwimba <i>et al.</i> (2024) [11]; China	Parcelas de campo, monitoramento plurianual; delineamento experimental (blocos); e produção animal.	Vegetação arbórea, gramíneas, arbustos e solo exposto; L: 2, 5, 10, 14 e 18 m.	vegetação arbórea 100% (S) e ~90% (N e P), especialmente em faixas de 18m.
Yan <i>et al.</i> (2024) [45]; China	Calha experimental (<i>flume</i>) (2,0 m x 0,8 m) + Modelagem; áreas agrícolas	Gramínea (Azevém - <i>Lolium multiflorum Lam.</i>); L: 2m.	S; 95%; 37-94% para pesticidas.
Lee Isenhardt e Schultz (2003) [17]; EUA	Parcelas de campo; áreas agrícolas.	<i>Panicum virgatum</i> (grama) e arbustos. L: 7,1m e 16,3m.	Misto (16,3m): S: 97%, N: 94%, P: 91%. Grama (7,1m): S: 95%, N: 80%, P: 78%.
Mekonnen <i>et al.</i> (2016); Etiópia [29]	Parcelas de campo em encostas de 8% de declividade; Cultivo de Teff, alta perda de solo (~70 t/ha/ano).	<i>P. pedicellatum</i> (Desho) e outras. L: 1,5m.	S: Desho: 76%; Vetiver: 59%.
Helmert <i>et al.</i> (2012) [20]; EUA	12 microbacias (escala real de paisagem); Rotação milho-soja sob plantio direto.	Pradaria nativa (Prairie). L: 37 a 78 m.	S: 96%. (Retenção média anual - 4 anos

L: largura, C: comprimento do buffer; S: sedimentos; N: nitrogênio; P: fósforo.
Fonte: Dados da pesquisa (2026).



Foi possível verificar a predominância no uso de gramíneas como componente principal dos Buffers, com destaque para espécies vegetais como o azevém (*Lolium perenne*) e grama-nativa (*Setaria viridis* e o *Panicum virgatum*), as quais são recorrentes na literatura devido ao seu rápido desenvolvimento, principalmente, à alta densidade de perfilhos, que atua como um filtro mecânico eficiente contra o escoamento superficial [53,54].

Contudo, os dados revelam que não existe uma regra universal para o seu dimensionamento, onde a largura, por exemplo, é uma variável adaptativa que responde às necessidades locais. Enquanto em pequenas propriedades na Etiópia faixas estreitas de apenas 1,5 m de largura com a espécie nativa *Desho* (gramínea forrageira nativa das terras altas da África) mostraram-se viáveis e capazes de reter até 76% dos sedimentos, em sistemas de larga escala nos Estados Unidos as extensões podem variar entre 37 e 78 m. A literatura indica a existência de um ponto de saturação, onde o aumento excessivo da largura não se traduz em ganhos estatísticos proporcionais na retenção de sedimentos, sugerindo que o posicionamento estratégico do buffer na base da vertente é muitas vezes mais determinante do que a sua dimensão absoluta.

Frente à eficácia por tipo de poluente, os resultados apontam que a retenção de sedimentos é consistentemente alta, superando os 90% em sistemas bem estabelecidos, como observado no uso de pradarias nativas em Iowa, que atingiu 96% de eficiência [20], entretanto, a captura de nutrientes e pesticidas exige uma complexidade maior do sistema [7].

Embora sistemas com vegetação lenhosa e arbórea apresentem alta eficiência na captura de nutrientes (cerca de 90%) e na retenção de sedimentos, frequentemente em grande parte ou quase em sua totalidade, o seu tempo de estabelecimento é longo. Kumwimba e colaboradores reportam desenvolvimento lento das plantas pode ser um obstáculo quando a recuperação da área precisa de resultados imediatos [11].



Tratando-se de pesticidas, verificou-se que a eficiência é seletiva, mostrando-se superior para compostos que se ligam ao solo, como o inseticida/acaricida organofosforado - clorpirifós [55], e menos eficaz para herbicidas altamente solúveis, como a atrazina, cuja mitigação depende mais da condutividade hidráulica saturada do solo e da capacidade de infiltração do que da barreira física superficial (buffer).

Por fim, a viabilidade dos buffers está atrelada à sua resistência perante as variações climáticas e ao seu custo-benefício para o produtor rural. Pesquisas reportam que buffers são sensíveis à eventos climáticos extremos e períodos de vulnerabilidade agrícola, como o início do cultivo, quando o solo está descoberto [20,31].

Nesse cenário, a escolha de espécies com valor econômico agregado, como leguminosas e gramíneas forrageiras, permite que as faixas vegetadas atuem não apenas como barreiras à erosão e ao escoamento superficial, mas também como áreas produtivas [56]. Essas áreas contribuem para a geração de biomassa e forragem, agregando retorno econômico ao sistema.

Além disso, essa abordagem de múltiplo uso pode mitigar a percepção de perda de área cultivável pelo agricultor, facilitando a adoção de tecnologias de conservação. Dessa forma, a eficácia ambiental e a viabilidade econômica podem coexistir na gestão de bacias hidrográficas [57,58].

3.5. Análise de coocorrência e estrutura intelectual da pesquisa

A análise de coocorrência das palavras-chave, processada via software *VOSviewer*, oferece uma visão panorâmica e integrada das frentes de investigação que sustentam os resultados apresentados anteriormente. A Figura 4 apresenta como a literatura científica organiza-se em clusters temáticos que conectam a eficácia biofísica dos buffers à gestão estratégica das bacias hidrográficas.

O Cluster Verde, centralizado nos termos "vegetal buffer" e "sediment retention", atua como o núcleo da rede. Ele valida a discussão anterior de que a função primária desses sistemas é a proteção do solo contra a erosão em paisagens agrícola [8]. A forte



ativos produtivos. A proximidade entre "qualidade da água" e o uso de gramíneas forrageiras como o trevo-branco (*Trifolium repens*) e a grama *Desho*, confirmando assim a hipótese de que a viabilidade econômica e a eficácia ambiental coexistem de forma harmoniosa. A integração desses termos prova que a adoção de tecnologias de conservação pelo agricultor é facilitada quando a faixa de proteção é percebida como parte integrante do sistema produtivo e não apenas como perda de área cultivável. Dessa forma, a estrutura intelectual da área demonstra que o futuro das zonas ripárias e buffers vegetados reside na multifuncionalidade: sistemas que são hidrológicamente precisos no controle de sedimentos, mas economicamente resilientes para quem os maneja.

4. **Considerações finais**

A análise sistemática do portfólio de 35 artigos, selecionados pelo rigor do índice *InOrdinatio*, consolida a transição conceitual dos buffers como estruturas passivas de conservação para componentes biotecnológicos de precisão e de tecnologia social. Nossos achados revelaram que a eficácia desses sistemas na retenção de sedimentos e nutrientes, bem como o reflexo na qualidade da água, é fortemente atrelada por meio do posicionamento estratégico na paisagem, robustez estrutural da vegetação e multifuncionalidade econômica.

Verificou-se que a retenção de sedimentos atinge níveis superiores a 90% quando o buffer é implantado de forma assertiva, reforçando que a localização na base da vertente é o principal determinante para interromper a conectividade hidrossedimentológica. Contudo, a lacuna identificada na produção científica brasileira indica que a simples transposição de modelos de países do Hemisfério Norte para bacias tropicais exige cautela, dada a necessidade de diretrizes que considerem a climatologia local.

Por fim, com o presente estudo foi possível concluir que a sustentabilidade dos buffers em áreas agrícolas depende da percepção de valor pelo produtor rural. A



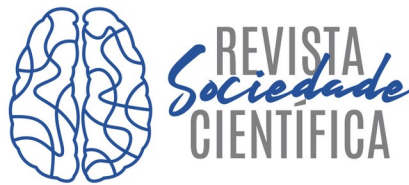
integração de gramíneas e leguminosas forrageiras pode transformar a faixa de proteção em um ativo produtivo, permitindo que a eficácia ambiental e a viabilidade econômica sejam coexistentes. Assim, buffers multifacetados apresenta-se como a solução mais resiliente para garantir a proteção imediata das Áreas de Preservação Permanente (APPs) e recursos hídricos, frente aos desafios climáticos globais.

5. Declaração de direitos

Os autores declaram ser detentores dos direitos autorais da presente obra, que o artigo não foi publicado anteriormente e que não está sendo considerado por outra Revista/Journal. Declaram que as imagens e textos publicados são de responsabilidade dos autores, e não possuem direitos autorais reservados a terceiros. Textos e/ou imagens de terceiros são devidamente citados ou devidamente autorizados com concessão de direitos para publicação quando necessário. Declaram respeitar os direitos de terceiros e de Instituições públicas e privadas. Declaram não cometer plágio ou autoplágio e não ter considerado/gerado conteúdos falsos e que a obra é original e de responsabilidade dos autores.

6. Referências

1. FAO. **Status of the World's Soil Resources**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2015.
2. PIMENTEL, D.; BURGESS, M. Soil erosion threatens food production. **Agriculture**, v. 3, p. 443-463, 2013. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture3030443>.
3. ZANANDREA, F.; PAUL, L. R.; MICHEL, G. P.; KOBİYAMA, M.; ZANINI, A. DA S.; ABATTI, B. H. Conectividade dos sedimentos: conceitos, princípios e aplicações. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 2, 2020. DOI: <https://doi.org/10.20502/rbg.v21i2.1754>.
4. BRACKEN, L. J.; WAINWRIGHT, J.; ALI, G. A.; TETZLAFF, D.; SMITH, M. W.; REANEY, S. M.; ROY, A. G. Concepts of hydrological connectivity: Research approaches, Pathways and future agendas. **Earth-Science Reviews**, v. 119, p. 17-34, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.02.001>.



5. ANTONELI, V.; THOMAZ, E. L. Relação entre o cultivo de fumo (*Nicotina tabacum L.*) e a produção de sedimentos na Bacia do Arroio Boa Vista, Guamiranga – PR. **Geografia**, Rio Claro, v. 35, n. 2, p. 383-397, 2010.
6. KNAPP, J. L. A.; BERGHUIJS, W. R.; Floriancic, M. G.; Kirchner, J. W. Catchment hydrological response and transport are affected differently by precipitation intensity and antecedent wetness. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 29, p. 3673-3685, 2025. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-29-3673-2025>.
7. DOSSKEY, M. G.; VIDON, P.; GURWICK, N. P.; ALLAN, C. J.; DUVAL, T. P.; LOWRANCE, R. The Role of riparian vegetation in protecting and improving chemical water quality in streams. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 46. p. 261-277, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2010.00419.x>.
8. YUAN, Y.; BINGNER, R. L.; LOCKE, M. A. A review of effectiveness of vegetative buffers on sediment trapping in agricultural areas. **Ecohydrology**, v. 2, n. 3, p. 321-336, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1002/eco.82>.
9. LOWRANCE, R.; ALTIER, L. S.; NEWBOLD, J. D.; SCHNABEL, R. R.; GROFFMAN, P. M.; DENVER, J. M.; CORRELL, D. L.; GILLIAM, J. W.; ROBINSON, J. L.; BRINSFIELD, R. B.; STAVER, K. W.; LUCAS, W.; TODD, T. H. Water quality functions of riparian forest buffers in Chesapeake Bay watersheds. **Environmental Management**, v. 21, p. 687-712, 1997. DOI: <https://doi.org/10.1007/s002679900060>.
10. STUTTER, M. I.; CHARDON, W. J.; KRONVANG, B. Riparian buffer strips as a multifunctional management tool in agricultural landscapes: Introduction. **Journal of Environmental Quality**, v. 41, p. 297-303, 2012. DOI: <https://doi.org/10.2134/jeq2011.0439>.



11. KUMWIMBA, A. N.; AKTER, S.; LI, X.; DZAKPASU, M.; IFON, B. E.; MANIRAKIZA, B.; MUYEMBE, D. K.; ZHANG, Y.; HUANG, J.; GUADIE, A. Nutrient and sediment retention by riparian vegetated buffer strips: Impacts of buffer length, vegetation type, and season. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 369, art. 109050, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.109050>.
12. DOSSKEY, M. G.; HELMERS, M. J.; EISENHAUER, D. E. A design aid for sizing filter strips using buffer area ratio. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 66, n. 1, 29-39, 2011. DOI: <https://doi.org/10.2489/jswc.66.1.29>.
13. ATTANASIO, C. M.; GANDOLFI, S.; ZAKIA, M. J. B.; J. C. T. V.; LIMA, W. DE P. A importância das áreas ripárias para a sustentabilidade hidrológica do uso da terra em microbacias hidrográficas. **Bragantia**, v. 71, p. 493-501, 2012.
14. GUIDOTTI, V.; FERRAZ, S. F. B.; PINTO, L. F. G.; SPAROVEK, G.; TANIWAKI, R. H.; GARCIA, L. G.; BRANCALION, P. H. S. Changes in Brazil's forest code over time and the challenge of implementation. **Land Use Policy**, v. 94, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104511>.
15. PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. M. Avanços na composição da *Methodi Ordinatio* para revisão sistemática de literatura. **Ciência da Informação**, v. 46, n. 2, p. 161-187, 2017.
16. ARRUDA, H. E. R. S.; LESSA, M.; PROENÇA JR., D.; BARTHOLO, R. VOSviewer and Bibliometrix. **Journal of the Medical Library Association**, v. 110, n. 3, p. 392-395, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5195/jmla.2022.1434>.
17. LEE, K. H.; ISENHART, T. M.; SCHULTZ, R. C. Sediment and nutrient removal in an established multi-species riparian buffer. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 58, n. 1, p. 1-8, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1080/00224561.2003.12457491>.



18. ABU-ZREIG, M., RUDRA, R. P., LALONDE, M. N., WHITELEY, H. R.; KAUSHIK, N. K. Experimental investigation of runoff reduction and sediment removal by vegetated filter strips. **Hydrol. Process.**, 18: 2029-2037, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.1400>.
19. HUSSEIN, J.; YU, B.; GHADIRI, H. ROSE, C. Prediction of surface flow hydrology and sediment retention upslope of a vetiver buffer strip. **Journal of Hydrology**, v. 338, n. 3, p. 261-272, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.02.038>.
20. HELMERS, M. J.; ZHOU, X.; ASBJORNSEN, H.; KOLKA, R.; TOMER, M. D.; CRUSE, R. M. Sediment removal by prairie filter strips in row-cropped ephemeral watersheds. *Journal of Environmental Quality*, v. 41, n. 5, p. 1531-1539, 2012. DOI: <https://doi.org/10.2134/jeq2011.0473>.
21. RODRIGUEZ-CABALLERO, E.; CANTÓN, Y.; LAZARO, R.; SOLÉ-BENET, A. Interactions between surface components and rainfall properties: non-linearities in the hydrological and erosive behavior of semiarid catchments. *Journal of Hydrology*, v. 517, p. 815-825, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.06.018>.
22. KOSHIBA, S.; BESEBES, M.; SOALADAOB, K.; NGIRAIN GAS, M.; ISECHAL, A.; VICTOR, S.; GOLBUU, Y. 2000 years of sustainable use of watersheds and coral reefs in Pacific Islands: a review for Palau. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 144, p. 1-10, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2014.02.006>.
23. LAMBRECHTS, T.; FRANÇOIS, S.; LUTTS, S.; MUÑOZ-CARPENA, R.; BIELDERS, C. L. Impact of plant growth and morphology and of sediment concentration on sediment retention efficiency of vegetative filter strips: flume experiments and VFSSMOD modeling. *Journal of Hydrology*, v. 511, p. 800-810, 2014a. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.02.030>.



24. LAMBRECHTS, T.; DE BRAEKELEER, C.; FAUTSCH, V.; ISERENTANT, A.; RENTMEESTERS, G.; LUTTS, S.; BIELDERS, C. L. Can vegetative filter strips efficiently trap trace elements during water erosion events? A flume experiment with contaminated sediments. *Ecological Engineering*, v. 68, p. 60-64, 2014b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.03.092>.
25. ASLAN, A.; TRAUTH, KATHLEEN, T. Development and Demonstration of a GIS-Based Cumulative Effectiveness Approach to Buffer Design and Evaluation, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v. 140, n. 2, 2014. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000692](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000692).
26. MUÑOZ-CARPENA, R.; RITTER, A.; FOX, G. A.; PEREZ-OVILLA, O. Does mechanistic modeling of filter strip pesticide mass balance and degradation processes affect environmental exposure assessments? *Chemosphere*, v. 139, p. 410-421, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.07.010>.
27. HA, M.; WU, M. Simulating and evaluating best management practices for integrated landscape management scenarios in biofuel feedstock production. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, v. 9, n. 6, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1002/bbb.1579>.
28. LIU, Y.-J.; HU, J.-M.; WANG, T.-W.; CAI, C.-F.; LI, Z.-X.; ZHANG, Y. Effects of vegetation cover and road-concentrated flow on hillslope erosion in rainfall and scouring simulation tests in the Three Gorges Reservoir Area, China. *CATENA*, v. 136, p. 108-117, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.06.006>.
29. MEKONNEN, M.; KEESSTRA, S. D.; RITSEMA, C. J.; STROOSNIJDER, L.; BAARTMAN, J. E. M. Sediment trapping with indigenous grass species showing differences in plant traits in northwest Ethiopia. *CATENA*, v. 147, p. 755-763, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.08.036>.



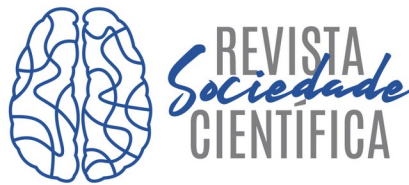
30. RAMESH, R.; KALIN, L.; HANTUSH, M.; CHAUDHARY, A. A secondary assessment of sediment trapping effectiveness by vegetated buffers. **Ecological Engineering**, v. 159, p. 106094, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.106094>.
31. CARLUER, N.; LAUVERNET, C.; NOLL, D.; MUÑOZ-CARPENA, R. Defining context-specific scenarios to design vegetated buffer zones that limit pesticide transfer via surface runoff. **Science of The Total Environment**, v. 575, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.105>.
32. PAN, D.; GAO, X.; DYCK, M.; SONG, Y.; WU, P.; ZHAO, X. Dynamics of runoff and sediment trapping performance of vegetative filter strips: run-on experiments and modeling. **Science of The Total Environment**, v. 593-594, p. 54-64, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.158>.
33. BURGNET, M. Evaluation of disruption of sediment connectivity and herbicide transport across a slope by grass strips using a magnetic iron oxide tracer, **Soil and Tillage Research**, v. 180, p.268-281, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.02.014>.
34. FRANKL, A.; PRÊTRE, V.; NYSSSEN, J.; SALVADOR, P. G. The success of recent land management efforts to reduce soil erosion in northern France, **Geomorphology**, v. 303, p.84-93, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.11.018>.
35. ARE, K.S.; OSHUNSANYA, S.O.; OLUWATOSIN, G. A. Changes in soil physical health indicators of an eroded land as influenced by integrated use of narrow grass strips and mulch, **Soil and Tillage Research**, v. 184, p. 269-280, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.08.009>.
36. MUÑOZ-CARPENA, R.; RITTER, A.; FOX, G. A. Comparison of empirical and mechanistic equations for vegetative filter strip pesticide mitigation in long-



- term environmental exposure assessments, **Water Research**, v.165, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.114983>.
37. SIRABAHENDA, Z.; ST-HILAIRE, A.; COURTENAY, S. C.; VAN DEN HEUVEL, M. R. Assessment of the effective width of riparian buffer strips to reduce suspended sediment in an agricultural landscape using ANFIS and SWAT models. **CATENA**, v. 195, p. 104762, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104762>.
38. LUO, M.; PAN, C.; LIU, C. Experiments on measuring and verifying sediment trapping capacity of grass strips, **CATENA**, v. 194, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104714>.
39. JIANG F, PREISENDANZ H. E, VEITH T. L, CIBIN R. Riparian buffer effectiveness as a function of buffer design and input loads, **Journal of Environmental Quality** v. 49, p. 1599-1611, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/jeq2.20149>
40. YAN, Y.; ZHANG, X.; LIU, J.; LI, J.; DING, C.; QI, Z.; SHEN, Q.; GUO, M. The effectiveness of selected vegetation communities in regulating runoff and soil loss from regraded gully banks in the Mollisol region of Northeast China. **Land Degradation & Development**. v. 32, p. 2116-2129, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.3866>.
41. OU, Y.; ROUSSEAU, A. N.; YAN, B.; WANG, L.; ZHANG, Y. Grass barriers for mitigating diffuse pollution within a source water area - A case study of Northeast China, **Agricultural Water Management**, v. 243, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106461>.
42. BALDAN, D.; MEHDI, B.; FELDBACHER, E.; PINIEWSKI, M.; HAUER, C.; HEIN, T. Assessing multi-scale effects of natural water retention measures on in-stream fine bed material deposits with a modeling cascade, **Journal of Hydrology**, v. 594, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125702>.



43. WU, S.; CHUI, T. F. M.; LI, C.; LUO, M.; PAN, C. A trapping capacity constraint model for sediment transport in vegetative filter strips (VFS) on sloping surfaces. **Hydrological Processes**, v.37, n. 4, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.14868>.
44. MUÑOZ, J.-A.; GUZMÁN, G.; SORIANO, M.-A.; GÓMEZ, J. A. Appraising trapping efficiency of vegetative barriers in agricultural landscapes: Strategy based on a probabilistic approach based on a review of available information. **International Soil and Water Conservation Research**, [s. l.], v. 12, n. 3, p. 615-634, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2023.12.001>.
45. YAN, L.; WANG, X.; OU, Y.; PANG, S.; CUI, Q.; HOU, X. Pesticides trapping performance of vegetative filter strips in black soil region, Northeast China: controlled experiments and VFSSMOD-W modeling. **Ecological Engineering**, [s. l.], v. 209, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2024.107384>.
46. YAN, H.; DENG, J.; ZU, Y.; CHEN, J.; YAN, K.; ZHAN, F.; ZHANG, T.; LI, B.; LI, Y.; CUI, Q.; HOU, X. Straw checkerboard barriers enhance heavy metals stabilization efficiency of artificial plant communities in lead-zinc mine wastelands. **Ecological Engineering**, [s. l.], v. 220, 2025a. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2025.107749>.
47. SONG, L.; RIBOLZI, O.; BOITHIAS, L.; XAYYATHIP, K.; VALENTIN, C.; SOULILEUTH, B.; ROBAIN, H.; DE ROUW, A.; SOUNYAFONG, P.; SILVERA, N.; SISOUVANH, P.; JANEAU, J.-L.; SAVENG, I.; OEURN, C.; PIERRET, A. Soil erosion control in tree plantations on steep slopes: Runoff water and sediment trapping efficiency of riparian grass buffer in mountainous humid tropics. **Ecological Engineering**, [s. l.], v. 212, 107447, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2025.107537>.



48. YAN, L.; OU, Y.; SUI, Y.; LIU, H.; DENG, Y.; CUI, Q.; SHANG, M. Impact of concentrated flow and shallow water table on pesticides trapping efficiency of vegetative filter strips – A case study of Northeast China. **Soil and Tillage Research**, [s. l.], v. 251, 2025b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2025.106557>.
49. MAGETTE, W. L.; BRINSFIELD, R. B.; PALMER, R. E.; WOOD, J. D. Nutrient and sediment removal by vegetated filter strips. **Transactions of the ASAE**, v. 32, n. 2, p. 663-667, 1989. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10197/4157>.
50. COSTANZA, R.; DE GROOT, R.; SUTTON, P.; VAN DER PLOEG, S.; ANDERSON, S. J.; KUBISZEWSKI, I.; FARBER, S.; TURNER, R. K. Changes in the global value of ecosystem services. **Global Environmental Change**, v. 26, p. 152-158, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002>.
51. IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC, 2014. 151 p. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>.
52. LIQUETE, C.; KLEESCHULTE, S.; DIGE, G.; MAES, J.; GRIZZETTI, B.; OLAH, B.; ZULIAN, G. Mapping green infrastructure based on ecosystem services and network analysis: A case study in Europe. **Environmental Science & Policy**, v. 54, p. 420-428, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.07.009>.
53. LEE, K. H.; ISENHART, T. M.; SCHULTZ, R. C.; MICKELSON, S. K. Nutrient and sediment removal by switchgrass and multi-species riparian buffers. **Agroforestry Systems**, v. 48, n. 2, p. 121-132, 1999. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1006201302242>.



54. DELETIC, A.; FLETCHER, T. D. Performance of grass filters used for stormwater treatment - a field and modelling study. **Journal of Hydrology**, v. 317, n. 3-4, p. 261-275, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.05.021>.
55. SPADOTTO, C. A. **Avaliação de riscos ambientais de agrotóxicos em condições brasileiras**, Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, p. 20, 2006. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/15967>.
56. LIN, C.-H.; ZUMPF, C.; JANG, C.; VOIGT, T.; TIAN, G.; OLADEJI, O.; COX, A.; MEHZABIN, R.; LEE, D. K. Biomass yield potential, feedstock quality, and nutrient removal of perennial buffer strips under continuous zero fertilizer application. **Biogeosciences**, v. 21, p. 4765-4784, 2024. DOI: <https://doi.org/10.5194/bg-21-4765-2024>.
57. COLE, L. J.; STOCKAN, J.; HELLIWELL, R. Managing riparian buffer strips to optimise ecosystem services: A review. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 296, p. 106891, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106891>.
58. ENGLUND, O.; BÖRJESSON, P.; MOLA-YUDEGO, B.; BERNDDES, G.; DIMITRIOU, I.; CEDERBERG, C.; SCARLAT, N. Strategic deployment of riparian buffers and windbreaks in Europe can co-deliver biomass and environmental benefits. **Communications Earth & Environment**, v. 2, p. 176, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00247-y> .