


RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS POR VOÇOROCAS: IDENTIFICAÇÃO DAS TÉCNICAS UTILIZADAS NO ANO DE 2023, A PARTIR DO GOOGLE ACADÊMICO

RECOVERY OF AREAS DEGRADED BY GULLIES:
IDENTIFICATION OF THE TECHNIQUES USED IN 2023,
FROM GOOGLE SCHOLAR


RECUPERACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS POR VOÇOROCAS:
IDENTIFICACIÓN DE LAS TÉCNICAS UTILIZADAS EN EL AÑO 2023,
DE GOOGLE SCHOLAR

Gabriel Amorim Thaumaturgo da Silva¹

 0009-0002-3686-4153

gabriel.thaumaturgo23@gmail.com

Antônio José Teixeira Guerra²

 0000-0003-2562-316X

antonioguerrea@gmail.com

1 Geógrafo pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG/UFRJ). ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3686-4153>. E-mail: gabriel.thaumaturgo23@gmail.com.

2 Professor Titular do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Coordenador do LAGESOLOS. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2562-316X>. E-mail: antonioguerrea@gmail.com.

Artigo recebido em março de 2024 e aceito para publicação em julho de 2024.



Este artigo está licenciado sob uma Licença
Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional.

RESUMO: Com o aumento dos eventos extremos de chuva relacionados às mudanças climáticas, a erosão dos solos tornou-se uma crescente preocupação entre os pesquisadores, que buscam compreender e mitigar os impactos por meio de técnicas de monitoramento, controle e recuperação. Portanto, este estudo visa identificar as técnicas de recuperação de áreas degradadas por voçorocas, aplicadas em estudos de caso realizados no Brasil, com recorte temporal para o ano de 2023, disponibilizados pela plataforma do *Google Acadêmico*. A pesquisa torna-se relevante pela necessidade de compreender as técnicas que estão sendo utilizadas, bem como a sua eficácia e eficiência, frente aos impactos das mudanças climáticas e os eventos extremos de precipitação. Por fim, este trabalho busca fornecer subsídios para futuras pesquisas na temática de recuperação de áreas degradadas, contribuindo para uma gestão sustentável dos solos.

Palavras-chave: Erosão. Recuperação. Voçoroca

ABSTRACT: With the increase in extreme rainfall events related to climate change, soil erosion has become a growing concern among researchers, who seek to understand and to mitigate impacts through monitoring, control and recovery techniques. Therefore, this study aims at identifying the techniques for the recovery of areas degraded by gullies, applied in case studies carried out in Brazil, with a time frame for the year 2023, made available by the Google Scholar platform. The research is made relevant by the need to understand the techniques that are being used, as well as their effectiveness and efficiency, in the face of the impacts of climate change and extreme precipitation events. Finally, this work seeks at providing subsidies for future research on the theme of recovery of degraded areas, contributing to a sustainable management of soils.

Keywords: Erosion. Recovery. Gully.

RESUMEN: Con el aumento de los eventos de lluvias extremas relacionados con el cambio climático, la erosión del suelo se ha convertido en una preocupación creciente entre los investigadores, quienes buscan comprender y mitigar los impactos a través de técnicas de monitoreo, control y recuperación. Por lo tanto, este estudio tiene como objetivo identificar las técnicas para la recuperación de áreas degradadas por cárcavas, aplicadas en estudios de caso realizados en Brasil, con un marco temporal para el año 2023, puesto a disposición por la plataforma Google Scholar. La investigación se hace relevante por la necesidad de comprender las técnicas que se están utilizando, así como su efectividad y eficiencia, frente a los impactos del cambio climático y los eventos extremos de precipitación. Finalmente, este trabajo busca otorgar subsidios para futuras investigaciones sobre el tema de recuperación de áreas degradadas, contribuyendo a un manejo sostenible de los suelos.

Palabras clave: Erosión. Recuperación. Voçoroca.

INTRODUÇÃO

A erosão dos solos é caracterizada como um fenômeno natural, com ocorrências ao redor do mundo. Por transformar drasticamente as paisagens em diferentes escalas, é considerada um problema ambiental em diferentes países (Jorge; Guerra, 2013).

A erosão dos solos, como fator natural, desencadeia processos complexos de desagregação, transporte e deposição de partículas, sendo moldada por diferentes agentes, como a água, gelo e o vento. Além disso, os fatores antrópicos também podem acelerar os processos erosivos. Este trabalho se concentra na erosão hídrica, pois é caracterizada por muitos pesquisadores como um dos principais desafios em áreas tropicais, tendo em vista os elevados índices pluviométricos que intensificam a erosão, atrelada assim a outros fatores que influenciam no processo erosivo, como as características das encostas, cobertura vegetal, erosividade e erodibilidade, e as intervenções antrópicas (Guerra, 2005; Guerra *et al.*, 2017; Santos, 2017; Guerra *et al.*, 2023).

A erosão hídrica transcende fronteiras geográficas, com a possibilidade de afetar qualquer paisagem com declividade superior a 3° (Jorge; Guerra, 2013; Guerra *et al.*, 2020; Guerra *et al.*, 2023). Com isso, poderá gerar consequências na própria paisagem analisada (*onsite*), como também impactos significativos fora do local de origem (*offsite*), como sedimentos sendo depositados em estradas, rios, entre outros impactos decorrentes do transporte e deposição de sedimentos (Blaikie; Brookfield, 1987; Goudie, 1995; Fullen; Catt, 2004; Cunha; Guerra, 2006; Jorge; Guerra, 2013; Guerra, 2014; Guerra *et al.*, 2017; Poesen, 2018; Mushi *et al.*, 2019).

Ao passarem por diferentes processos erosivos, os solos podem ser caracterizados como solos degradados. De acordo com Guerra (2014), ao passar por diferentes processos, o solo poderá perder sedimentos e matéria orgânica (nutrientes), além da possibilidade de sofrer com a desertificação, infertilidade e o abandono. Outros fatores

preponderantes na degradação dos solos são as ações antrópicas, que precisam ser analisadas em conjunto com os processos erosivos que degradam os solos (Fullen; Catt, 2004; Jorge; Guerra, 2013; Guerra *et al.*, 2023).

A degradação dos solos tem seu início atrelado a diferentes fatores, como o desmatamento, a utilização das encostas para pecuária, agricultura sem adoção de práticas conservacionistas, como também o corte inapropriado de taludes para abertura de estradas, onde somados, tendem a acelerar o escoamento superficial nas encostas, dando origem a feições erosivas que vão degradar os solos e a paisagem (Wild, 1993; Fullen; Catt, 2004; Araujo *et al.*, 2008; Poesen, 2018; Coelho Netto, 2021). O somatório destes fatores evidencia que, a degradação dos solos reduzem a qualidade dos mesmos, produzindo impactos severos na sociedade (Morgan, 2005; Araujo *et al.*, 2008; Guerra *et al.*, 2017; Poesen, 2018; Mushi *et al.*, 2019; Xiong *et al.*, 2019).

A ação antrópica, contudo, pode acelerar os processos erosivos, resultando na formação de feições erosivas notáveis, como ravinas e voçorocas. Essas duas feições erosivas, em muitos casos, estão relacionadas ao desmatamento descontrolado para a implementação da pecuária extensiva e ocupação desordenada, que deixam o solo exposto e compactado, facilitando o início do processo erosivo (Fullen *et al.*, 2011; Albuquerque; Vieira, 2014; Guerra *et al.*, 2023).

De certo modo, compreender a atuação dos processos erosivos que causam a degradação do solo é de grande importância para entender a dinâmica existente em cada ambiente, além de favorecer a tomada de decisão sobre quais metodologias e técnicas devem ser utilizadas para a recuperação de áreas degradadas por voçorocas. Além disso, cada vez mais novas técnicas estão surgindo e sendo adaptadas para a recuperação dessas áreas. Entretanto, antes da implementação de qualquer técnica para a recuperação de áreas degradadas por voçorocas é necessário que se realize o diagnóstico da feição erosiva, a fim de que se alcance a eficácia das técnicas utilizadas e o objetivo da recuperação (Fullen *et al.*, 2011; Jorge; Guerra, 2013; Guerra *et al.*, 2023).

De acordo com o relatório do Conselho Consultivo Científico das Academias Europeias (EASAC, 2018), os dados mundiais nos últimos 30 anos apontam para um aumento da severidade e magnitude dos eventos hidrometeorológicos, podendo trazer impactos significativos na degradação dos solos, além de desencadear a formação de diferentes feições erosivas, como as voçorocas. Para Nearing *et al.*, (2004), a erosão dos solos intensificada pelo aumento do regime de eventos pluviométricos, oriundo das mudanças climáticas, poderá causar a degradação dos solos e trazer grandes impactos ambientais, sociais e econômicos para as sociedades, conseqüentemente afetando a qualidade de vida e os serviços ecossistêmicos.

Portanto, o presente trabalho tem por objetivo identificar as técnicas de recuperação de voçorocas mais utilizadas no ano de 2023, servindo como subsídio para estudos futuros na temática da recuperação de voçorocas.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a realização deste trabalho, a metodologia foi estruturada em diferentes etapas. Em um primeiro momento, houve o levantamento de publicações disponíveis acerca das temáticas abordadas neste trabalho, como a erosão e a degradação dos solos, feições erosivas e as diferentes técnicas de recuperação de áreas degradadas por erosão. Para esta etapa, optou-se em utilizar repositórios nacionais e internacionais, onde pudesse encontrar monografias, dissertações de mestrado e teses de doutorado, além de artigos, capítulos e livros nacionais e internacionais.

Em um segundo momento, realizou-se a busca de “estudos de caso” a partir da plataforma do *Google Acadêmico*, a fim de identificar produções que abordassem a recuperação de áreas degradadas por voçorocas, a partir de diferentes técnicas. Para a coleta dos estudos de caso no *Google Acadêmico*, utilizou-se a opção “**busca avançada**”. Na opção “**Encontrar artigos com todas as palavras**”, utilizou-se a frase “**Técnicas de recuperação de voçorocas**”, de modo que fosse possível encontrar as palavras em qualquer lugar dos artigos. Além disso, foi escolhido o recorte temporal de 2023 para abordar este trabalho. A escolha deste recorte se deu por dois motivos: 1) muitos artigos ficaram represados em decorrência da pandemia de Covid-19 e; 2) escalas temporais ampliadas apresentaram um resultado elevado de artigos, onde tal análise seria inviável para o tempo de desenvolvimento deste trabalho e para a proposta que ele fora realizado.

O terceiro momento consistiu na tabulação dos artigos adquiridos na segunda etapa, gerando quadros e gráficos, com informações importantes sobre os estudos de casos coletados no *Google Acadêmico*, de modo que fosse possível identificar o título do artigo, autores, repositório e edição, os agentes influenciadores do processo erosivo e a técnica utilizada para a recuperação da voçoroca, além da sua localização geográfica.

EMBASAMENTO TEÓRICO-METODOLÓGICO

Erosão do Solo

A erosão é classificada como o processo de desagregação, remoção, transporte e deposição das partículas de solo. Tais processos ocorrem a partir de diferentes agentes modeladores, como a ação da água (erosão hídrica), do vento (erosão eólica) e do gelo (erosão glacial). Cabe destacar também que esses processos ocorrem de forma natural, mas também podem ser acelerados por atividades antrópicas (Neves, 2015).

Em Guerra (2005), Guerra *et al.*, (2017) e Santos (2017), os autores destacam que, diante de diferentes agentes erosivos, a erosão hídrica é a mais importante, especialmente em áreas tropicais, por apresentarem elevados índices pluviométricos. Portanto, esse tipo de erosão é responsável por gerar grandes impactos na paisagem, sendo considerada como um dos maiores problemas ambientais ao redor do mundo, onde em alguns casos, a degradação e a perda de grandes hectares de solos atingem níveis irreversíveis de recuperação (Morgan, 2005; Andrade; Freitas, 2018; Bartley *et al.*, 2020; Guerra *et al.*, 2020; Masroor *et al.*, 2022; Guerra *et al.*, 2023).

Além disso, Santos (2017) e Guerra (2021) destacam que a erosão hídrica possui algumas fases básicas, sendo: 1º) Caracterizado pela remoção das partículas de solo; 2º) Transporte das partículas em superfície e/ou subsuperfície, até que haja a redução da energia existente no fluxo; 3º) Deposição das partículas de solos em áreas mais baixas da encosta, seja nas planícies fluviais, na própria rede de drenagem, reservatórios, estradas, entre outros.

A erosão, tratando-se como fator natural, poderá gerar consequências na própria paisagem analisada, como também impactos significativos fora do local de origem, como a deposição de sedimentos em estradas, rios, entre outros impactos associados (Blaikie; Brookfield, 1987; Cunha; Guerra, 2006; Guerra *et al.*, 2017; Poesen, 2018; Mushi *et al.*, 2019).

Para entender a erosão, é necessário que haja a compreensão do início do processo erosivo. A erosão dos solos tem seu estágio inicial associado ao impacto das gotas de chuva, seja de forma direta (impacto da chuva) ou indireta (gotejamento no solo oriundo da interceptação realizada pelas copas das árvores). Esse processo é definido por *splash* ou salpicamento, e tem o poder de causar a ruptura dos agregados, além de acarretar na selagem dos solos, reduzindo assim a porosidade e o aumento do escoamento superficial (Morgan, 2005; Guerra, 2005, 2015). A energia cinética presente na gota da chuva determina a erosividade (capacidade da chuva em causar erosão) e, conseqüentemente, a ocorrência do *splash* e a ruptura dos agregados, desencadeando o início da erosão e a sucessão de diferentes processos erosivos (Guerra, 2005). O autor também destaca que, a erosão por *splash*, ocasiona a formação de crostas e a selagem dos solos, e conseqüentemente, a redução da infiltração no solo e o aumento das taxas de escoamento superficial, podendo ocorrer o aumento da perda de solo.

Após a ocorrência do *splash*, há o início do processo de infiltração da água no solo, que poderá saturar o solo e desencadear a criação de poças (*ponds*). Quando o solo perde a sua capacidade de armazenamento de água e há a criação de poças, dá-se início ao escoamento superficial e/ou subsuperficial, podendo ocasionar a erosão nos solos (Chorley *et al.*, 1984; Selby, 1991; Morgan, 2005; Guerra, 2005, 2016, 2021). O escoamento superficial é caracterizado pelo fluxo de água que percorre a superfície dos solos, onde podem apresentar pequenos cursos e/ou lençol de água que podem ser intensificados pelas gotas de chuva, entretanto, os fluxos podem perder energia ao encontrar obstáculos durante a sua trajetória (Guerra, 2007, 2021; Loureiro, 2013; Silva, 2014).

De acordo com Hasset e Banwart (1992) a erosão provocada pela água possui duas fases, sendo (1) a remoção e (2) o transporte das partículas na superfície, entretanto, o transporte de sedimentos também pode ocorrer por escoamento subsuperficial através de dutos (*piping*), onde o colapso da estrutura desses dutos pode dar origem a voçorocas.

O período de escoamento superficial (*runoff*) e/ou subsuperficial é caracterizado como o momento de transição do processo de atuação da erosão, que anteriormente atuava na remoção de partículas e sedimentos e, posteriormente no transporte desses sedimentos que foram removidos (Morgan, 2005; Guerra, 2005, 2007, 2016, 2021; Loureiro, 2013; Silva, 2014; Pereira, 2015; Poesen, 2018; Mushi *et al.*, 2019).

De acordo com Guerra (2005), a água ao encontrar o solo saturado tende a descer pelo terreno, desencadeando assim um escoamento em lençol/laminar (*sheetflow*). Para Morgan (1986), tal fluxo é caracterizado como o ponto inicial do processo erosivo, pois o fluxo ao provocar a erosão em lençol, tende a desencadear pequenas incisões no solo, que irão concentrar o fluxo de água. Posteriormente, ocorre o desenvolvimento do fluxo linear (*flowline*), caracterizado como a concentração de fluxos de água nas incisões geradas anteriormente, onde tal processo poderá acarretar no aumento da profundidade do fluxo e a redução da velocidade em decorrência do aumento da rugosidade, dando início assim à uma futura ravina (Guerra, 2005).

A formação de ravinas e voçorocas

Como apresentado anteriormente, Guerra (2005) estabelece que o escoamento laminar (*sheetflow*) poderá desencadear a erosão laminar (pequenas incisões no solo), de modo que o fluxo linear (*flowline*) irá se concentrar nas feições geradas, dando início à formação de ravinas. Para o autor, a concentração constante de fluxos de água na incisão, irá desencadear o desenvolvimento de microrravinas, que tendem a evoluir a partir da turbulência dos fluxos de água e de rugosidades existentes pela deposição dos sedimentos. Logo em seguida, há a formação de microrravinas com cabeceiras, caracterizadas pelo nível de equilíbrio dinâmico, pois são resultantes da erosão dentro da própria ravina.

Nas encostas, a erosão é dada pela precipitação e pela ação da água que escoar na declividade da encosta, removendo o solo a partir de diferentes processos erosivos que geram feições erosivas na paisagem, como as ravinas e voçorocas (Selby, 1993). Com isso, o desenvolvimento e a evolução de ravinas estão associados diretamente à ocorrência do aumento dos sedimentos que são transportados no escoamento (*runoff*), sendo esse um processo erosivo complexo, que demanda atenção dos especialistas para a conservação dos solos (Bryan, 1990).

De acordo com Selby (1993), as ravinas podem evoluir ao ter seu canal alargado e aprofundado, sendo caracterizadas, então como uma voçoroca, possuindo largura maior que 30 cm e profundidade maior que 60 cm. Por outro lado, o autor destaca que as voçorocas também podem surgir na ruptura das encostas a partir da intervenção humana, como a retirada de cobertura vegetal, deixando o solo totalmente exposto aos efeitos da chuva e dos processos erosivos. Contudo, Hasset e Banwart (1992) apontam que o transporte de sedimentos também pode ocorrer por escoamento subsuperficial através de dutos (*piping*), onde o colapso da estrutura dos dutos pode dar origem a voçorocas.

Entretanto, caso o escoamento superficial continue a fluir de forma concentrada nas ravinas/rede de ravinas, poderá acarretar em um aprofundamento lateral e vertical dessa feição erosiva, dando origem às voçorocas que poderão rebaixar até o lençol freático, ou ao substrato rochoso, não podendo mais incidir naquele ponto (Fullen; Catt, 2004; Morgan, 2005; Guerra, 2014; Guerra *et al.*, 2020; Loureiro *et al.*, 2020; Frota Filho; Vieira, 2020; Guerra; Jorge, 2021; Guerra, 2021; Guerra *et al.*, 2023).

Tanto a literatura brasileira como a internacional possuem diferentes formas de realizar a classificação das voçorocas, sendo utilizada comumente no Brasil e no mundo, a classificação estabelecida pelo “Glossário de Ciência dos Solos”, de 1987, dos Estados Unidos, no qual são determinadas medidas e parâmetros para as voçorocas, sendo caracterizadas como feições com mais de 50 cm de largura e de profundidade (Morgan, 2005; Guerra, 2014). Outros autores também discutem o efeito da chuva e da água nas encostas, destacando que a erosão nas encostas é resultado de processos como o escoamento superficial, *splash* e ravinamento, atrelados aos fatores controladores da erosão (erosividade da chuva, erodibilidade dos solos, características das encostas e cobertura vegetal) para a sua ocorrência (Goudie, 1995).

Degradação e Recuperação dos Solos

A degradação ambiental caracteriza-se como resultado da ação do homem sobre o meio, onde o ser humano não leva em consideração os limites existentes na natureza. A degradação ambiental possui diferentes formas, sendo umas delas a degradação dos solos, cuja característica refere-se à destruição das proeminências do relevo (Guerra; Guerra, 2010).

Ao passarem por diferentes processos erosivos em conjunto com distintos controladores, os solos poderão ser caracterizados, então, como solos degradados. Tal degradação vai além da formação de diferentes feições erosivas, como as ravinas e voçorocas. A degradação também pode ser caracterizada como a perda de sedimentos, nutrientes e matéria orgânica, podendo ocasionar a desertificação, infertilidade e abandono do solo (Guerra, 2014; Poesen, 2018; Mushi *et al.*, 2019; Guerra *et al.*, 2023). Além dos aspectos físicos, Jorge e Guerra (2013) destacam que a ação antrópica também é um fator a ser adotado na análise das interações dos processos que desencadeiam a degradação dos solos, de modo que as técnicas de controle e correção precisam levar em consideração a relação antrópica e a dinâmica do solo, dentre os diferentes usos do solo.

A degradação dos solos pode ocorrer a partir de diferentes fatores, seja de forma direta ou indireta. Entretanto, seu início comumente está atrelado à ação de fatores antrópicos no solo, como o desmatamento para abertura de estradas e ferrovias; agricultura e pecuária com a utilização de fogo e práticas não conservacionistas; pecuária em encostas íngremes; cortes de taludes e construções. A intervenção nesse caso, pode desencadear o aumento do escoamento superficial nas encostas e, conseqüentemente, a formação de ravinas e voçorocas que irão causar a degradação dos solos, dificultando seu processo de recuperação (Wild, 1993; Fullen; Catt, 2004; Araujo *et al.*, 2008; Lima; Guerra, 2019; Coelho Netto, 2021).

A degradação dos solos a partir das voçorocas, em muitos casos, está relacionada ao desmatamento, à pecuária extensiva nas encostas e à compactação dos solos, que influenciam na ocorrência de erosão laminar, a qual poderá

reduzir a fertilidade dos solos pela perda de nutrientes e sedimentos (Albuquerque; Vieira, 2014; Lima; Guerra, 2019; Coelho Netto, 2021).

Portanto, entender o funcionamento dos processos erosivos que causam a degradação do solo é de vital importância para a compreensão da dinâmica existente em cada ambiente, de modo que possa favorecer a tomada de decisão e a escolha das diferentes técnicas para a recuperação de áreas degradadas por ação de voçorocas (Fullen *et al.*, 2011; Jorge; Guerra, 2013; Guerra *et al.*, 2023).

Técnicas de Recuperação de Áreas Degradadas por Voçorocas

A degradação dos solos pela erosão hídrica é um problema que ocorre ao redor do mundo, gerando impactos econômicos, sociais e ambientais (Hernani *et al.*, 2002). Esse processo pode desencadear a formação de voçorocas, que se caracterizam como o nível mais avançado da erosão dos solos, de modo que a recuperação destas feições se torna necessária, caso estejam em ambientes que possam trazer impactos significativos (Camapum de Carvalho, 2006).

De acordo com Griffith (1986), a recuperação refere-se à restauração dos recursos em determinada área, de modo que seja possível o retorno das espécies naturais da região, tanto em composição, quanto em frequência. Entretanto, alguns autores recomendam que a recuperação de áreas degradadas por voçorocas seja realizada após o diagnóstico dos processos erosivos e fatores controladores existentes na feição erosiva (Jorge; Guerra, 2013; Vanmaercke *et al.*, 2016).

Para a Embrapa (2006), o diagnóstico é de fundamental importância para o estabelecimento e o dimensionamento das diferentes técnicas de controle da erosão e recuperação de áreas degradadas, pois os diferentes tipos de análise (química, física e textural) do solo poderão apresentar resultados que irão favorecer a tomada de decisão sobre o planejamento das técnicas a serem utilizadas para a recuperação de cada área degradada.

Cada vez mais novas técnicas de recuperação de áreas degradadas por voçorocas estão surgindo, com aplicações distintas em diferentes países (Rodrigues *et al.*, 2007; Jorge; Guerra, 2013; Guerra *et al.*, 2023). Tal fato ocorre devido à evolução das pesquisas desenvolvidas em diferentes instituições, em decorrência dos avanços tecnológicos que buscam alternativas ecológicas de recuperação de áreas degradadas por erosão (Rodrigues *et al.*, 2007). Entretanto, Cardoso e Pires (2009) apontam que determinadas técnicas de recuperação de voçorocas ainda demandam altos custos de mão de obra e insumos, pois estão atreladas diretamente ao tamanho da feição erosiva e à dimensão da área que se pretende recuperar. Os referidos autores também apontam que as técnicas de recuperação só podem ser escolhidas e aplicadas após um diagnóstico profundo da área afetada pela erosão, de modo que se observe a tipologia do relevo, o solo, o uso e ocupação do solo, fauna e flora, precipitação e os fatores antrópicos envolvidos, para que se possa alcançar o sucesso da recuperação.

Como visto, cada vez mais novas técnicas de recuperação de áreas degradadas por voçorocas surgem, apresentando assim diferentes níveis de dificuldade e custos, com a possibilidade de combinar diferentes técnicas, a partir do diagnóstico da feição erosiva. Além disso, as técnicas precisam fornecer condições básicas para a recuperação, como a fertilidade do solo para a regeneração da vegetação e a contenção das feições erosivas e seus processos (Santana; Nunes, 2021). Portanto, surge aqui, a necessidade de apresentar nos próximos tópicos, as principais técnicas de controle e recuperação de áreas degradadas por voçorocas.

Técnicas Convencionais de Engenharia

As intervenções para controle e recuperação realizadas por obras de engenharia, são estabelecidas a partir de critérios dispostos pela geotécnica. Com isso, as obras buscam controlar os fluxos de água a partir de sistemas de drenagem com escadas hidráulicas, obras de contenção e barramentos das encostas dos taludes das voçorocas, e em alguns casos, reposição da vegetação (Carvalho *et al.*, 2001). A seguir, duas principais intervenções utilizadas pela engenharia para controle e recuperação de áreas degradadas por voçorocas.

Em primeiro lugar, pode-se citar os **muros de contrafortes**, os quais Neiva *et al.* (2014) destacam que são obras de baixo custo, responsáveis pela contenção do talude, que podem ser aplicados a partir de paredes transversais que ficam expostas, ou por paredes de concreto e vigas inclinadas. Ainda em Neiva *et al.* (2014), o muro de contraforte consegue suportar o solo embaixo da armação de concreto, além da necessidade de a intervenção estar associada ao direcionamento da drenagem.

Outra intervenção são os **muros de gabião**, que consistem em blocos construídos a partir de fragmentos de rochas envolvidos em uma tela de arame, de modo que possam apresentar uma boa permeabilidade e resistência à movimentação do solo. Em determinadas construções de muros de gabião, utilizam-se estacas vivas, onde o material vegetal poderá se desenvolver e enraizar, reduzindo os processos erosivos e trazendo mais segurança para a estrutura (Verdum *et al.*, 2016). Para Neiva *et al.* (2014), essa estrutura poder reter os sedimentos oriundos da erosão dos solos,

por ser instalada em taludes com declividade acentuada. Entretanto, Carvalho (2001) destaca que, caso não seja instalada uma manta geotêxtil como filtro, processos erosivos internos poderão ocorrer, abalando a estrutura construída.

Sistemas Agroflorestais

Os sistemas agroflorestais possuem alta importância na mitigação das mudanças climáticas, na melhoria da sustentabilidade dos recursos naturais, bem como na redução da erosão dos solos e na reabilitação de áreas degradadas pela erosão, como apontam Tomar *et al.*, (2021). Além disso, os autores destacam que a prática tem sido desenvolvida ao longo de séculos, tendo como objetivo a combinação entre espécies perenes e lavouras comerciais, ou criação de gado, podendo ocorrer em sequência ou simultaneamente.

De certo modo, Dagar e Gupta (2016) destacam que os sistemas agroflorestais possuem capacidade de recuperar solos degradados, mesmo em regiões áridas e semiáridas com solos salinos, que poderão ser utilizados para agricultura e/ou outras atividades afins. Nestes ambientes podem ser utilizadas árvores e lavouras que suportem a baixa disponibilidade hídrica, que devem ser selecionadas, de modo que se possa utilizar a própria água salina para a irrigação desses sistemas (Dagar; Gupta, 2016).

Técnicas Conservacionistas

As técnicas conservacionistas são utilizadas a fim de aumentar a resistência dos solos aos processos erosivos, considerando o aumento da degradação dos solos, oriundos do uso inadequado (Nogueira *et al.*, 2012; Poesen, 2018; Mushi *et al.*, 2019; Guerra *et al.*, 2023). De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2017), as técnicas conservacionistas irão atuar em determinadas etapas do processo erosivo, além da possibilidade de estas serem aplicadas em conjunto, pois os solos necessitam de práticas que se complementam para uma melhor conservação. Para os autores, as técnicas conservacionistas podem ser subdivididas em três categorias: sendo mecânicas, edáficas e vegetativas.

As **práticas mecânicas** são caracterizadas como intervenções artificiais que buscam atenuar a velocidade do escoamento superficial da água, de modo que facilite a infiltração eficiente da água no solo (Nogueira *et al.*, 2012). Além disso, Andrade *et al.* (2005) e Machado *et al.* (2006) destacam que as práticas mecânicas possuem como objetivo principal a criação de condições propícias e adequadas para a introdução de práticas edáficas e vegetativas, pois o desenvolvimento das técnicas mecânicas realiza o transporte e movimentação dos solos, a partir de obras de drenagem e contenção.

Entre as práticas mecânicas, existem diferentes técnicas que podem ser citadas, como a construção de terraços e bacias de retenção para a redução do escoamento das enxurradas; a construção de barreiras no interior da voçoroca para a retenção dos sedimentos; a construção de barreiras nas laterais e paredes, com paliçadas de bambu, por exemplo, para reter sedimentos e estabilizar a feição erosiva, entre outras práticas (Machado *et al.*, 2006).

As **práticas edáficas** constituem um conjunto de técnicas que visam melhorar os atributos químicos e físicos dos solos, com o objetivo de controlar a erosão e contribuir para a conservação dos solos, além de criar ambientes favoráveis à implementação de práticas vegetativas (Nogueira *et al.*, 2012; Bertoni; Lombardi Neto, 2017; Andrade *et al.*, 2023; Guerra *et al.*, 2023). Dentre as práticas edáficas, as principais técnicas utilizadas correspondem a adubação verde, controle do fogo, calagem, adubação orgânica e química, e correção dos solos, sendo que todas irão influenciar no aumento da fertilidade dos solos e de teores de matéria orgânica, permeabilidade, cobertura vegetal e porosidade (Pruski *et al.*, 2006; Nogueira *et al.*, 2012; Bertoni; Lombardi Neto, 2017).

Por fim, as **práticas vegetativas** buscam proteger o solo através do plantio de espécies selecionadas, com o objetivo de reestruturar a vegetação anteriormente existente (Marques *et al.*, 2020). As práticas vegetativas também possuem a capacidade de proteger o solo das enxurradas e da ação do *splash*, além da possibilidade de serem aplicadas em conjunto com as práticas mecânicas, a fim de reduzir e controlar a erosão (Silva *et al.*, 2015).

Entre as práticas vegetativas, Silva *et al.* (2015) destacam as principais para conservação de solo e água, como: a rotação de cultura, de modo que se evite o esgotamento dos nutrientes no solo; a cultura em faixas de rotação, onde os cultivos são dispostos em faixas niveladas, com larguras variáveis e alternadas, onde a densidade das culturas poderá reduzir o poder erosivo do escoamento; as culturas em faixas de retenção, pois obstruem o caminho da enxurrada a partir do plantio de gramíneas, como capim e cana-de-açúcar; as culturas de proteção e adubação verde, com a introdução de espécies leguminosas no período de entressafra da cultura principal, de modo que se proteja o terreno do impacto das gotas de chuva e outros tipos de erosão; entre outras práticas direcionadas a feições erosivas específicas.

Portanto, a seleção das práticas a serem utilizadas devem levar em consideração as características específicas da feição erosiva, como topografia, clima, vegetação, pluviosidade, e fatores antrópicos envolvidos, além da possibilidade de combinar diferentes práticas para se alcançar a recuperação da área degradada.

Técnicas de Bioengenharia de Solos

A bioengenharia dos solos é uma das principais técnicas de recuperação de solos degradados e é uma das que vem sendo utilizadas com maior frequência ao redor do mundo, sendo aplicada em diferentes situações de recuperação de áreas degradadas por voçorocas (Jorge; Guerra, 2013; Andrade *et al.*, 2023). De acordo com Fullen *et al.* (2011), o aumento gradativo desta técnica está ligado a diferentes motivos, pois ao utilizar geotêxteis produzidos com fibra vegetais, os materiais resultantes desta aplicação podem trazer benefícios para a conservação dos solos.

As técnicas de bioengenharia do solo buscam utilizar plantas vivas e mortas, microorganismos, além de elementos estruturais inertes como pedra, tijolo, concreto e outros, para o controle da erosão, estabilização e recuperação de áreas degradadas, como as voçorocas (Andrade *et al.*, 2023). Entretanto, Giupponi *et al.* (2018) e Mickovski (2021) apontam que a vegetação, em muitos casos, é o elemento responsável por garantir a estabilização das feições que estão sendo recuperadas.

A técnica citada neste tópico tem por objetivo acelerar a recuperação da paisagem, a partir da reconstrução das feições degradadas e a correção dos processos que aceleram a degradação, de modo que reduza a degradação e acelere a recuperação (Araujo *et al.*, 2008; Longo *et al.*, 2019; Maffra; Sutili, 2020; Holanda *et al.*, 2021; Antônio *et al.*, 2021; Andrade *et al.*, 2023).

Por utilizar plantas vivas, bioinsumos e microrganismos, essa técnica busca recompor a vegetação da feição erosiva após o controle da erosão. Com isso, há a implementação de mantas de geotêxteis, sendo aplicadas em conjunto com as espécies selecionadas para a recuperação de áreas degradadas, sendo este o pilar de tal metodologia (Araujo *et al.*, 2008; Longo *et al.*, 2019; Maffra; Sutili, 2020; Holanda *et al.*, 2021; Antônio *et al.*, 2021). De acordo com a literatura, desde 1950 os geotêxteis contribuem bastante para a conservação dos solos nos projetos de engenharia, sendo caracterizados por uma manta contra erosão, que pode ser constituída por diferentes tipos de materiais, além de possuir características biodegradáveis, caso sejam utilizadas folhas e outros materiais de cobertura florestal, como buriti e outras espécies (Smets *et al.*, 2009; Bhattacharyya, 2010; Guerra, 2011; Andrade *et al.*, 2023).

Dentro da temática de bioengenharia dos solos, os geotêxteis podem ser elaborados a partir da palmeira do buriti, entre outras espécies (Smets *et al.*, 2009; Bhattacharyya, 2010; Guerra, 2011; Andrade *et al.*, 2023), onde a manta tem por objetivo proteger o solo e as sementes dispostas, até que ocorra o crescimento da cobertura vegetal e a estabilização da feição erosiva, que irá promover a redução do escoamento superficial e, conseqüentemente, o retorno da capacidade de infiltração no solo, bem como a redução dos impactos das gotas no solo (Lekha, 2004).

Entretanto, os seguintes autores Smets *et al.* (2009), Bhattacharyya (2010), Guerra (2011), Andrade *et al.*, (2023), apontam que para garantir o sucesso na aplicação das técnicas de bioengenharia dos solos, é de vital importância o monitoramento dos processos erosivos, de modo que haja o diagnóstico e prognóstico dos fatores que aceleram a erosão e degradação da paisagem, levando-se em conta as diferentes variáveis existentes, como desmatamento, intervenções antrópicas, entre outros. Os autores apontam que a não realização do diagnóstico e prognóstico das áreas impactadas e degradadas, antes da implementação de técnicas de recuperação, poderá trazer o fracasso de todo o projeto elaborado, pois não há conhecimento sobre a dinâmica existente na paisagem a ser recuperada.

No entanto, para Andrade *et al.* (2023), as técnicas convencionais de engenharia tornam-se inalcançáveis em feições erosivas onde há pouco ou nenhum acesso a maquinário pesado. Com isso, os autores afirmam que as técnicas de bioengenharia de solos se destacam para a recuperação de áreas degradadas, pois apresentam diferentes potenciais, como: a redução de custos para execução e manutenção; a melhoria estética com o aumento de áreas verdes, onde anteriormente havia uma área degradada; a possibilidade de recuperação de áreas degradadas em locais de acesso complexo para maquinários; o aumento da formação de húmus, pouca ou nenhuma necessidade de movimentação de terra, ou cortes de taludes e aterros; o reaproveitamento de resíduos orgânicos para a utilização em aterros, para construção de geotêxteis, entre outros, são as vantagens potenciais existentes nas técnicas de bioengenharia de solos (Andrade *et al.*, 2023).

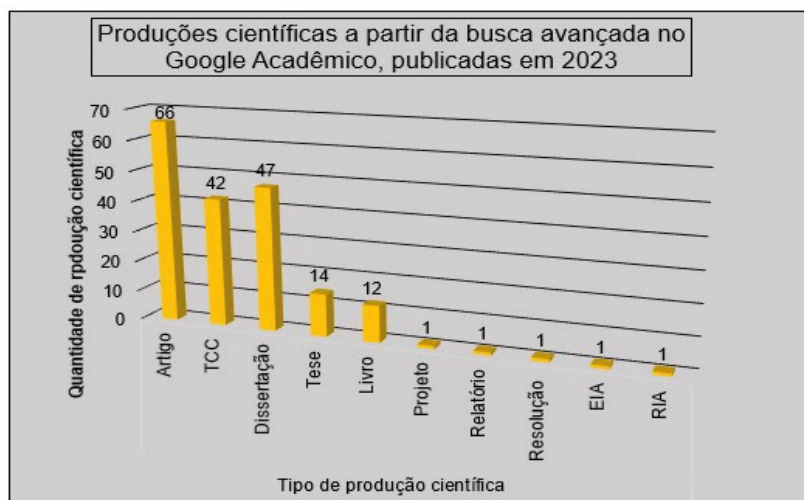
RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente trabalho teve por objetivo identificar diferentes técnicas de recuperação de áreas degradadas por voçorocas utilizadas no ano de 2023, em estudos de caso realizados no Brasil, além da identificação dos agentes causadores das voçorocas, as técnicas selecionadas para a recuperação e a distribuição espacial destas feições erosivas contidas nos estudos de caso.

Posto isto, utilizou-se a busca avançada na plataforma do *Google Acadêmico*, onde foi possível utilizar a frase “Técnicas de recuperação de Voçorocas”, com o objetivo de realizar uma busca onde pudesse abranger todas as palavras em qualquer parte das produções científicas publicadas no ano de 2023.

No que tange a busca pelos estudos de caso a partir da frase “Técnicas de Recuperação de Voçorocas”, obteve-se um total de 186 produções, distribuídas em diferentes tipos de produções científicas, onde foi possível identificar a presença de artigos, TCCs (Trabalho de Conclusão de Curso), dissertações de mestrado, teses de doutorado, livros, projetos, resoluções, relatórios, Estudos de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), como demonstrado no Gráfico 1.

Gráfico 1. Resultado das produções científicas encontradas a partir da busca avançada com a frase chave.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Após a busca avançada, foi possível observar o predomínio de produções científicas em Artigos, TCCs e Dissertações de Mestrado (Gráfico 1). Entretanto, ao analisar as 186 produções científicas encontradas, foi possível observar que nem todas as produções científicas abordavam estudos de caso voltados para a utilização de técnicas de recuperação de áreas degradadas por voçorocas (Gráfico 2).

Gráfico 2. Resultado das produções científicas sobre a recuperação de áreas degradadas por voçorocas, a partir da frase chave de pesquisa.

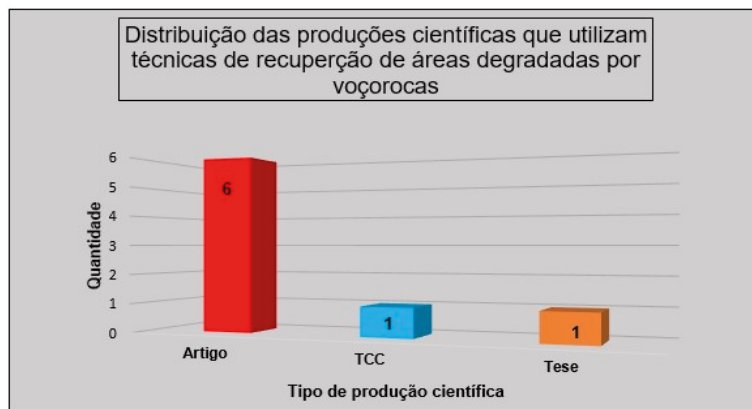


Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Diante das 186 produções científicas encontradas (Gráfico 2), foi possível identificar que, apenas 4% (n=8) estavam relacionadas a estudos de casos que utilizavam técnicas para a recuperação de áreas degradadas por voçorocas, enquanto 96% (n=178) das demais produções científicas abordavam temas tangenciais à temática, como o monitoramento de feições erosivas.

As (n=8) produções científicas que abordam a utilização de técnicas para a recuperação de voçorocas, estavam distribuídas entre Artigos, Trabalhos de Conclusão de Curso (TCCs) e Teses de Doutorado (Gráfico 3).

Gráfico 3. Distribuição das produções científicas que utilizam técnicas de recuperação de áreas degradadas por voçorocas.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Entre as produções que abordam a recuperação de áreas degradadas, foi possível observar o predomínio de artigos (n=6), além de um Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) e uma Tese de Doutorado, onde estes dois últimos possuem uma produção para cada título (Gráfico 3).

Com isso, criou-se um quadro com a listagem dessas produções, onde foi possível anexar os agentes causadores das voçorocas identificadas nos estudos de caso, as técnicas utilizadas para a recuperação e a distribuição espacial destas feições no Brasil (Quadro 1).

Quadro 1. Produções científicas que abordam a temática de recuperação de áreas degradadas, no ano de 2023.

Título	Repositório	Agente causador da feição erosiva	Técnica utilizada na recuperação da voçoroca	Localização
Artigo 1- Recuperação de voçorocas e de áreas degradadas, no Brasil e no mundo- estudo de caso da voçoroca de Sacavém – São Luís - MA	Revista Brasileira de Geomorfologia	Baixa cobertura vegetal	Bioengenharia de Solos	Maranhão, Nordeste
Artigo 2- Proposta de Recuperação Ambiental de Voçorocas a partir da técnica de Bioengenharia de Solos	Ânima Educação	Desmatamento e Construção de Rodovias	Bioengenharia de Solos	Sabará, Minas Gerais, Sudeste
Artigo 3- Técnicas de manejo voltadas à recuperação de áreas degradadas por erosão: Análise de 15 anos de estudos na voçoroca da Fazenda Experimental do Campus Glória-UFU	Revista Brasileira de Geomorfologia	Extração de cascalho, desmatamento.	Técnicas Conservacionistas (mecânicas, edáficas e vegetativas)	Uberlândia, Minas Gerais, Sudeste
Tese 4- Ravinas e voçorocas: Bioengenharia e retardantes químicos como tecnologia de controle e tratamento	Locus Repositório Institucional da UFV	Desmatamento	Bioengenharia de Solos	Minas Gerais
Artigo 5- Proposta de Recuperação de área degradada: Estudo de caso Ponte do Palmito, Alegre – RS	Cadernos Camiiani	Agropecuária/Manejo inadequado do solo	Bioengenharia de Solos	Espírito Santo, Sudeste
Artigo 6- O impacto do uso da terra nas características dos solos na APA do Timburi, Presidente Prudente - SP	Geofronter (UEMS)	Desmatamento e atividades agropecuárias	Bioengenharia de Solos	São Paulo, Sudeste
Artigo 7- Estabilização de erosão hídrica em Antropossolos com técnicas de bioengenharia na Área de Proteção Ambiental de Uso Sustentável do Timburi, município de Presidente Prudente, SP, Brasil	Revista Brasileira de Geomorfologia	Agropecuária; Pastagem e, Manejo inadequado do solo	Bioengenharia de Solos	São Paulo, Sudeste
TCC 8- Plano de recuperação de área degradada da fazenda retirada bonita em Campina Verde – MG	Repositório Institucional da Universidade Federal de Uberlândia	Agropecuária/Manejo inadequado do solo/Pastagem	Plantio de mudas e Espécies pioneiras	Minas Gerais, Sudeste

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Com relação ao diagnóstico das voçorocas existentes nos estudos de caso (Quadro 1), foi possível observar um padrão entre os agentes que influenciam na formação dos processos erosivos. Os estudos de caso apontam que as principais causas da formação das voçorocas estudadas estão associadas ao uso extensivo da pastagem e agropecuária, além do manejo inadequado dos solos, para diferentes intervenções, como o desmatamento e construção de rodovias. Frente ao que foi exposto e discutido no arcabouço teórico-metodológico, diferentes autores apontam que a degradação dos solos e o desenvolvimento de voçorocas estão intrinsecamente relacionadas a várias ações no solo, especialmente as de origem humana, como o desmatamento, a pecuária extensiva, o corte de encostas para abertura de rodovias e ocupações irregulares, que impermeabilizam os solos, entre outras intervenções que são capazes de aumentar o fluxo superficial das águas (Wild, 1993; Fullen; Catt, 2004; Araujo *et al.*, 2008; Lima; Guerra, 2019; Coelho Netto, 2021; Guerra *et al.*, 2023).

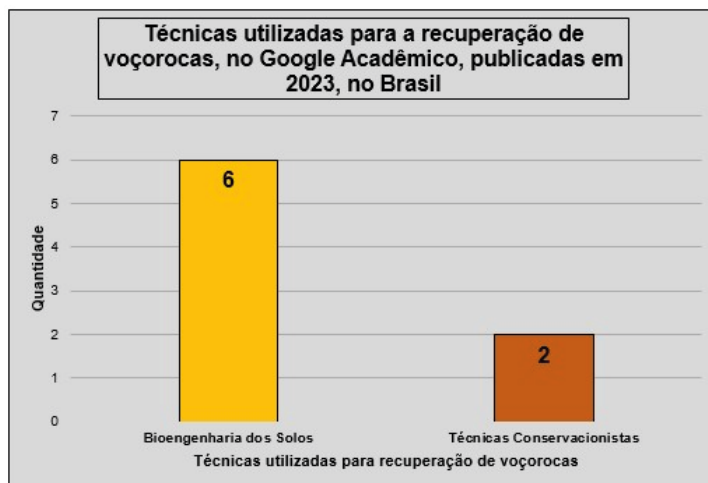
Além disso, Carvalho *et al.* (2001) destacam que as intervenções antrópicas realizadas por projetos de engenharia, são as que mais causam a degradação dos solos em estradas, pois as voçorocas surgem próximas às redes de drenagem, devido ao fluxo concentrado nos eventos de chuva. Portanto, Carvalho *et al.* (2001) destacam a necessidade de se aplicar medidas preventivas e corretivas, ao realizar intervenções nos solos, pois a degradação dos solos a partir das voçorocas, de acordo com Hernani *et al.* (2002) trazem danos ambientais, econômicos e sociais.

Outro ponto a ser apresentado, refere-se à distribuição espacial dos estudos de caso e suas voçorocas. Ao analisar a distribuição espacial, percebe-se o predomínio de recuperação de voçorocas no estado de Minas Gerais (Gráfico 4). Para Curi *et al.* (1992), vários são os fatores que influenciam na degradação dos solos no estado, onde um deles pode ser caracterizado pelos grandes contrastes fisiográficos e bióticos, associados ao clima, relevo, vegetação e uso da água. Diante disto, os autores apontam que a relação entre o homem e o solo, ocorre através de diferentes formas e intensidade, onde trazem mais impactos negativos do que positivos para a conservação dos solos.

Cabe destacar também que, as demais 178 produções científicas que não estavam associadas à temática da recuperação de áreas degradadas por voçorocas foram organizados em quadros (para melhor organização e análise, além de favorecer a consulta no decorrer da elaboração deste trabalho, onde algumas produções serviram como base para a elaboração do referencial teórico-metodológico, pois apresentavam temas relacionados à erosão e monitoramento dos solos, processos erosivos e outros temas que se inter-relacionam com a abordagem deste trabalho. Entretanto, tais produções servirão para trabalhos futuros, não cabendo sua discussão aqui.

Por fim, foi possível analisar as técnicas utilizadas para a recuperação de voçorocas. De acordo com as 8 produções encontradas a partir da frase chave, no Google Acadêmico para o ano de 2023, foi possível identificar técnicas Conservacionistas e de Bioengenharia de Solos (Gráfico 4).

Gráfico 4. Técnicas utilizadas para a recuperação de voçorocas, em estudos de caso no Google Acadêmico, publicados no Brasil em 2023.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Cada vez mais surgem novas técnicas de recuperação de áreas degradadas (Jorge; Guerra, 2013), entretanto, as produções científicas para o ano de 2023 no Google Acadêmico apresentaram a utilização de Técnicas Conservacionistas e de Bioengenharia dos Solos.

Para Verdum *et al.* (2016) as técnicas conservacionistas possuem métodos e técnicas específicas para a gestão agrícola, onde é possível realizar o manejo correto dos solos, a fim de reduzir a perda de solo em áreas produtivas dos agricultores. Além disso, os autores destacam que a utilização de técnicas conservacionistas possibilita uma interação e maior relação da comunidade rural com a natureza, de modo que a sociedade poderá passar a ter um olhar racional sobre a disponibilidade dos recursos.

Entretanto, ao observar o gráfico 4, percebe-se o predomínio das técnicas de Bioengenharia dos Solos. Tal fato pode ser explicado por Gray e Sotir (1996), Gomes (2005), Durló e Sutili (2005), visto que esses autores apontam a Bioengenharia dos Solos como uma técnica de baixo custo, pois os materiais utilizados para a recuperação das feições erosivas podem ser obtidos na própria localidade, como materiais vivos e inertes (rochas), que vão garantir a estabilização, o controle da feição erosiva e a sucessão ecológica natural a partir da utilização dos materiais vivos e o contato com o solo.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados neste estudo sobre as técnicas de recuperação de voçorocas em estudos de caso realizados no Brasil, no ano de 2023, surgem algumas conclusões, além da necessidade de avançar em novas frentes de pesquisa e análise.

Com relação à temática e a utilização do *Google Acadêmico* como ferramenta de busca, houve uma baixa representatividade da temática, tendo como resultado um número limitado de produções científicas (4% ou n=8) entre os resultados oriundos da busca avançada, para o ano de 2023. Entretanto, essa conclusão torna-se importante para traçar novas metodologias de busca avançada em diferentes repositórios.

Uma segunda conclusão envolve os tipos de produções científicas, pois estas apresentaram certa variedade, sendo possível observar a temática em artigos (n=6), teses (n=1) e trabalhos de conclusão de curso (n=1) o que evidencia que a problemática de recuperação de áreas degradadas por voçorocas está sendo abordada sob diferentes perspectivas e contextos acadêmicos.

Foi possível concluir também que, a interferência antrópica é um dos fatores significativos na formação e desenvolvimento das voçorocas, pois os estudos de caso mostraram que as principais causas de formação das voçorocas estavam associadas ao uso extensivo da pastagem, agropecuária, adoção do manejo inadequado do solo, desmatamento e utilização do fogo, além da abertura de estradas em encostas e áreas florestadas.

A distribuição espacial dos estudos de caso mostrou que as produções se concentravam em sua maior parte, no estado de Minas Gerais, onde a literatura aponta que essa relação pode estar relacionada à variedade dos fatores fisiográficos, bióticos e climáticos, ligados ao uso inadequado do solo em áreas específicas do estado.

Concluiu-se também que as técnicas de recuperação mais utilizadas foram as conservacionistas e de bioengenharia de solos. As técnicas conservacionistas foram destacadas pela capacidade de gestão agrícola, enquanto a utilização da bioengenharia dos solos ficou evidente por apresentar um caráter de baixo custo, cuja implementação para controle e estabilização pode utilizar materiais presentes na própria região da feição erosiva, ou em áreas adjacentes, tornando-se uma técnica eficaz, desde que se realize o diagnóstico correto.

Enfim, os resultados obtidos nesta pesquisa sugerem a necessidade contínua de pesquisas sobre as temáticas de erosão dos solos, degradação e recuperação, tendo em vista o avanço de novas técnicas de recuperação de áreas degradadas, bem como a adoção de práticas preventivas, corretivas, e conservacionistas nas intervenções no solo, de modo que se evite danos ambientais, econômicos e sociais, tendo em vista as mudanças climáticas e o impacto oriundo do aumento da recorrência dos eventos extremos de chuva.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, A. R. C.; VIEIRA, A. F. S. G. Erosão dos solos na Amazônia. *In*: Guerra, A. J. T.; Jorge, M. C. O. (Orgs.). **Degradação dos solos no Brasil**. 1º ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 223-259, 2014.
- ANDRADE, A. G.; FREITAS, P. L. Prevenção do avanço da degradação e recuperação de terras degradadas. *In*: VILELA, G. F.; BENTES, M. P. de M.; OLIVEIRA, Y. M. M. de; MARQUES, D. K. S.; SILVA, J. C. B. (Orgs.). **Vida terrestre: contribuições da Embrapa**. Brasília, Embrapa, 2018.
- ANDRADE, A. G.; PORTOCARRERO, H.; CAPECHE, C. L. Práticas mecânicas e vegetativas para controle de voçorocas. Rio de Janeiro, Embrapa, **Comunicado Técnico 33**, p.1-4, 2005.
- ANDRADE, A. G.; PORTOCARRERO, H.; CHAVEZ, T. A. Bioengenharia de solos aplicada ao controle da erosão e a recuperação de áreas com alto nível de degradação. *In*: LOUREIRO, H. A. S., GUERRA, A. J. T. (Org.). **Erosão dos Solos em Áreas Tropicais**. 1ª ed. Rio de Janeiro, Editora Interciência, p.149-187, 2023.
- ANTÔNIO, G.M *et al.* Avaliação de eficiência da implantação da técnica de bioengenharia de solos de enrocamento vegetado. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 14(06), p. 3422-3436, 2021.
- ARAUJO, G.H.S; ALMEIDA, J.R; GUERRA, A.J.T. **Gestão Ambiental de Áreas Degradadas**. 3ºed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008.

- BARTLEY, R.; POESEN, J.; WILKINSON, S.; VANMAERCCKE, M. A review of the magnitude and response times for sediment yield reductions following the rehabilitation of gullied landscapes. **Earth Surface Process and Landforms**, UK, 45, 2020.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 10º ed. São Paulo, Ícone, 2017.
- BHATTACHARYYA, R. **Utilization of Palm-Mat Geotextiles for Soil Conservation on Arable Loamy Sands in the United Kingdom**. Tese de Doutorado. University of Wolverhampton, Wolverhampton, 2010.
- BLAIKIE, P.; BROOKFIELD, H. Defining and Debating the Problem. In: BLAIKIE, P.; BROOKFIELD, H. (Org.). **Land Degradation and Society**. Londres, Methuen & Co. Ltd, p. 1-26, 1987.
- BRYAN, R. B Knickpoint evolution in rillwash. **Catena Supplement**, Alemanha, 17, p. 111-132, 2011.
- CAMAPUM DE CARVALHO, J. *et al.* In: CAMAPUM DE CARVALHO, J. *et al* (Orgs.). **Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro**. Brasília, Editora Finatec, 1ª ed, p. 39-91, 2006.
- CARDOSO, R. S. B.; PIRES, C. V. Voçorocas: Processos de formação, prevenção e medidas corretivas. XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, **Anais[...]**, Viçosa, 2009.
- CARVALHO, J. C.; MARISAIDES, C. L.; MORTARI, D. Considerações sobre prevenção e controle de voçorocas. VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão. **Anais [...]**. Goiânia, Goiás, 2001.
- CHORLEY, R. J.; SCHUMM, S. A.; SUDGEN, D. E. **Geomorphology**. Cambridge, University Press, 1984.
- COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B (Orgs.). **Geomorfologia – uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 15º ed, p. 93–148, 2021.
- CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. Degradação Ambiental. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, p. 337-380, 2006.
- CURI, N.; CARMO, D. N.; BAHIA, V. G.; FERREIRA, M. M.; SANTANA, D.P. Problemas relativos ao uso, manejo e conservação do solo em Minas Gerais. **Embrapa Milho e Soja**, 1992.
- DAGAR, J. C.; GUPTA, S. R. Agroforestry: Potentials for rehabilitation of degraded lands, constraints and the way forward. In: DAGAR, J. C.; TEWARI, J. C. (Orgs.). **Agroforestry Research Developments**. Índia, Nova Science Publishers, p. 47-97, 2016.
- DURLO, M. A.; SUTILI, F. J. **Bioengenharia: Manejo biotécnico de cursos de água**. Porto Alegre, EST Edições, 2005.
- EASAC - European Academies' Science Advisory Council. **Extreme Weather Events in Europe**. 2018. Disponível em: <<https://easac.eu/publications/details/extreme-weather-events-in-europe/>>. Acesso em: Fevereiro de 2024.
- EMBRAPA. Recuperação de voçorocas em áreas rurais. **Sistema de Produção** 04. 2006.
- FROTA FILHO, A. B.; VIEIRA, A. F. S. G. Monitoramento de Voçorocas na bacia Colônia Antônio Aleixo, Manaus – AM. In: VIEIRA, A. F. S. G; MOLINARI, D. C. (Orgs.). **Geografia Física da Amazônia**. São Paulo, Alexa Cultural; Manaus: EDUA, p. 45-59, 2020.
- FULLEN, M. A.; CATT, J. A. **Soil Management – Problems and Solutions**. Oxford, Oxford University Press, 2004.
- FULLEN, M. A *et al.* Utilizing biological geotextiles: introduction to the Borassus Project and Global Perspectives. **Land Degradation and Development**, v. 22, p. 453-462, 2011.
- GIUPONNI, L.; BORGONOVO, G.; GIORGI, A.; BISCHETTI, G. B. How to renew soil bioengineering for slope stabilization: some proposals. **Landscape and Ecological Engineering**, 2018.
- GOUDIE, A. **The Changing Earth – Rates of Geomorphological Processes**. Oxford, Blackwell, 1995.
- GUERRA, A. J. T. **Erosão dos solos e movimentos de massa: abordagens geográficas**. Curitiba, CRV, 2016.
- GUERRA, A. J. T.; BEZERRA, J. F. R.; FULLEN, M. A.; MENDONÇA, J. K. S.; JORGE, M. C. O. The effects of biological geotextiles on gully stabilization in São Luís, Brazil. **Natural Hazards**, 2015.
- GUERRA, A. J. T.; BEZERRA, J. F. R. ; JORGE, M. C. O. Recuperação de voçorocas e de áreas degradadas, no Brasil e no mundo - estudo de caso da voçoroca do Sacavém - São Luís - MA. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 24, p. 1-20, 2023.
- GUERRA, A. J. T. Degradação dos Solos – Conceitos e Temas. In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O (Orgs.). **Degradação dos solos no Brasil**. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 1º edição, p. 15–50. 2014.
- GUERRA, A. J. T.; FULLEN, M. A.; JORGE, M. C. O.; BEZERRA, J. F. R.; SHOKR, M.S. Slope Processes, Mass Movement and Soil Erosion: A Review. **Pedosphere**, v.27(1), p. 27–41, 2017.
- GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. Degradação dos solos - abordagens teóricas e estudos de casos ao longo de 25 anos no âmbito do LAGESOLOS. **Humboldt - Revista de Geografia Física e Meio Ambiente**, v. 1, p. 674-685, 2021.
- GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O.; RANGEL, L. A.; BEZERRA, J. F. R.; LOUREIRO, H. A. S.; GARRITANO, F. N. Erosão dos solos, diferentes abordagens e técnicas aplicadas em voçorocas e erosão em trilhas. **William Morris Davis Revista de Geomorfologia**, v. 1, p. 75-117, 2020.

- GUERRA, A. J. T.; MENDONÇA, J. K. S. Erosão dos Solos e a Questão Ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T (Orgs.). **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, p. 225-256, 2007.
- GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Orgs.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, p. 17-56, 2005.
- GUERRA, A.J.T. Processos Erosivos nas Encostas. In CUNHA, S.B.; GUERRA, A.J.T (Orgs.). **Geomorfologia – Exercícios, Técnicas e Aplicações**. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 5º ed, p. 139 – 155, 2011.
- GUERRA, A. J. T. Processos Erosivos nas Encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia – Uma Atualização de Bases e Conceitos**. 15º ed. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, p. 149-209, 2021.
- GUERRA, A. T; GUERRA, A. J. T. **Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico**. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2010.
- GRAY, D. H.; SOTIR, R. B. **Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization: a practical guide for erosion control**. New York, Wiley, 1996.
- GRIFFITH, J. J. **Recuperação de áreas degradadas em unidades de conservação**. Viçosa: UFV, 1986.
- HASSET, J. J.; BANWART, W. L **Soils and their Enviroment**. Nova Jersey, Prentice Hall, 1992.
- HERNANI, L. C.; FREITAS, P. L.; PRUSKI, F. F.; MARIA, I. C.; CASTRO FILHO, C.; LANDERS, J. N. A erosão e seu impacto. In: MANZATTO, C. V.; FREITAS JUNIOR, E.; PERES, J. R. R. (Orgs.). **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro, **Embrapa Solos**, p. 47–60, 2002.
- HOLANDA, F. S. R.; ARAÚJO, R. N.; PEDROTTI, A.; WILCOX, B. P.; MARINO, R. H.; SANTOS, L. D. V. Um Panorama da Bioengenharia de Solos no Nordeste do Brasil. **Revista Ambiente & Água**, 16, 2021.
- JORGE. M. C. O.; GUERRA, A. J. T. Erosão dos Solos e Movimentos de Massa – Recuperação de Áreas Degradadas com Técnicas de Bioengenharia e Prevenção de Acidentes. In: JORGE. M. C. O.; GUERRA, A. J. T (Orgs.). **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas**. São Paulo, Oficina de Textos, p. 7–30, 2013.
- LEKHA, K. R. Field instrumentation and monitoring of soil erosion in coir geotextile stabilished slopes: a case study. **Geotextiles and Geomembranes**, v.22, p. 399-413, 2004.
- LIMA, P. A.; GUERRA, A. J. T. Degradação do Solo em Municípios do Sul do Estado de Mato Grosso do Sul Decorrente da Implantação da Colônia Agrícola Nacional de Dourados – CAND. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, Vol. 42 – 1, 2019.
- LONGO, M. H. C.; SOUZA, C. A.; SOELRA, M. L.; IKEMATSU, P.; CAMPOS, S. J. A. M.; BITAR, O, Y. Recuperação de Áreas Degradadas por Mineração: Associação de Técnicas de Bioengenharia de Solos com Geração e Manutenção de Serviços Ecossistêmicos. **Revista IPT: Tecnologia e Inovação**. São Paulo, SP, v.3, n. 12, 2019.
- LOUREIRO, H. A. S. **Monitoramento e diagnóstico de áreas degradadas na bacia hidrográfica do rio São Pedro (RJ): estudos experimentais em voçoroca e utilização de geotêxteis de fibra de bananeira**. Dissertação (Mestrado em Geografia), Programa de Pós-Graduação em Geografia/Universidade Federal do Rio de Janeiro - PPGG/UFRJ, Rio de Janeiro, 2013.
- MACHADO, L.; RESENDE, A.; CAMPELLO, E. Recuperação de voçorocas em áreas rurais. Seropédica: **Embrapa Agrobiologia**, 2006.
- MAFFRA, C. R. B.; SUTILI, F. J. The Use of Soil Bioengineering to Overcome Erosion Problems in a Pipeline River Crossing in South America. **Innov. Infrastruct. Solut.** 5, 24. 2020.
- MARQUES, M. L.; *et al.*, .Erosion in gullies and impact on the chemical properties of soil and water. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, 2020.
- MASROOR, M. D.; SAJJAD, H.; REHMAN, S.; SINGH, R.; RAHAMAN, M. H.; SAHANA, H.; AHMED, R.; AVTAR, R. Analysing the relationship between drought and soil erosion using vegetation health index and RUSLE models in Godavari middle sub-basin, India. **Geoscience Frontiers**, v. 13, n. 2, 2022.
- MICKOVSKI, S. B. Re-Thinking Soil Bioengineering to address climate change challenges. **Sustainability**, 13, 3338, 2021.
- MORGAN, R. P. C. **Soil Erosion and Conservation**. Inglaterra, Longman Group, 1986.
- MORGAN, R. P. C **Soil Erosion and Conservation**. 3º edition. Inglaterra: Blackwell Publishing, 2005.
- MUSHI, C. A.; NDOMBA, P. M.; TRIGG, M. A.; TSHIMANGA, R. M.; MITALO, F. Assessment of Basin-Scale Erosion within the Congo River Basin: a Review. **Catena**, 178, p. 64-76, 2019.
- NEARING, M. A.; PRUSKI, F. F.; O'NEAL, M. R. Expected climate change impacts on soil erosion rates: A review. **Journal of Soil and Water Conservation**, 59, 1, p. 43-50, 2004.
- NEIVA, E. S; FARIA, F. E; NOGUEIRA, G. T; JORGE, R. P. **Estruturas de contenção, escavações e escoramentos**. Dissertação (Mestrado em Tópicos Especiais em Mecânica dos Solos), Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MG). 2014.

- NEVES, S. R. A.; GUERRA, A. J. T.; NUNES, G. F. R. A erodibilidade dos solos no médio e baixo curso da bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes (Paraty, RJ). *In: Territórios Brasileiros: Dinâmicas Potencialidades e Vulnerabilidades*, Teresina, Piauí, v. 16, p. 1-7, 2015.
- NOGUEIRA, N.; OLIVEIRA, O.; MARTINS, C.; BERNARDES, C. Utilização de leguminosas para recuperação de áreas degradadas. Goiânia, *Enciclopédia Biosfera*, n.8, v.14, 2012
- PEREIRA, L. S. **Análises físico-químicas de solos com distintas coberturas vegetais e processos hidroerosivos em área degradada na bacia do rio Maranduba – Ubatuba, São Paulo**. 2015. Dissertação (Mestrado em Geografia), Programa de Pós-Graduação em Geografia/Universidade Federal do Rio de Janeiro - PPGG-UFRJ, Rio de Janeiro, 2015.
- POESEN, J. Soil Erosion in the Anthropocene: Reserach Needs. *Earth Surface Processes and Landforms*, b.43, p. 64-84, 2018.
- PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; TEIXEIRA, A. F.; CECÍLIO, R. A.; SILVA, J. M. A.; GRIEBELER, N. P. **Hidros: dimensionamento de sistemas hidroagrícolas**. Viçosa: Editora UFV, 2006.
- RODRIGUES, G. B.; MALTONI, K. L.; CASSIOLATO, A. M. R. Dinâmica da regeneração do subsolo de áreas degradadas dentro do bioma Cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, n.1, p.73-80, 2007.
- SANTANA, A.; NUNES, J. O. Práticas conservacionistas e recuperação de área degradada por voçoroca em uma propriedade rural, no município de Regente Feijó (SP). *Geoambiente On-line*, Goiânia, n. 40, 2021.
- SILVA, M. L. N.; FREITAS, D. A. F.; CÂNDIDO, B. B.; OLIVEIRA, A. H. **Manejo e Conservação de solo e da água: guia de estudos**. Lavras – MG, Universidade Federal de Lavras/UFLA, 2015.
- SANTOS, R. C. **Avaliação Da Erosão Dos Solos Na Bacia Hidrográfica Do Rio Pequeno, Paraty – RJ**. Dissertação de Mestrado em Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, PPGG-UFRJ, Rio de Janeiro, 2017.
- SELBY, M.J. **Earth's changing surface: an introduction to geomorphology**. 5° ed. Oxford, Oxford University Press, 1991.
- SILVA, L.F.T.C. **Análise da suscetibilidade à erosão ao longo da RJ-165 (Estrada Paraty-Cunha)**. Dissertação de Mestrado em Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, PPGG/UFRJ, Rio de Janeiro, 2014.
- SMETS, T *et al.* Concentrated Flow Erosion Rates Reduced Through Biological Geotextiles. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 34, p. 493-502, 2009.
- TOMAR, J. M. S.; AHMED, A.; BHAT, J. A.; KAUSHAL, R., SHUKLA, G.; KUMA, R. Potential and Opportunities of Agroforestry Practices in Combating Land Degradation. *In: SHUKLA, G.; CHAKRAVARTY, S; PANWAR, P.; BHAT, J. A. (Orgs.). Agroforestry – Small Landholder's Tool for Climate Change Resiliency and Mitigations*. IntechOpen, p. 1-13, 2021.
- VANMAERCKE, M.; POESEN, J.; MELE, B. V.; DEMUZERE, M.; BRUYNSEELS, A.; GOLOSOV, V.; BEZERRA, J. F. R.; BOLYSOV, S.; DVINSKI, A.; FRANKL, A.; FUSEINA, Y.; GUERRA, A. J. T.; HAREGEWEYN, N.; IONITA, I.; IMWANGANA, F. M.; MOEYERSONS, J.; MOSHE, I.; SAMAN, A. N.; NIACSU, L.; NYSSSEN, J.; OTSUKI, Y.; RADOANE, M.; RYSIN, I.; RYZHOV, Y. V.; YERMOLAEV, O. How fast do gully headcuts retreat?. *Earth-Science Reviews*, v. 154, p. 336-355, 2016.
- VERDUM, R.; VIEIRA, C. L.; CANEPPELE, J. C. G.; **Métodos e técnicas para o controle da erosão e conservação do solo**. Porto Alegre, IGEO/UFRGS, 2016.
- WILD, A. **Soils and the Environment: an Introduction**. Cambridge, Cambridge University Press, 1993.
- XIONG, M; SUN, R; CHEN, L. A Global Comparison of Soil Erosion Associated With Land Use and Climate Type. *Geoderma*, 343, p. 31-39, 2019.