



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

KAROLINE DE SOUSA ALMEIDA

TÉCNICAS DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL EM ÁREAS SECAS
DEGRADADAS: REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

FORTALEZA

2024

KAROLINE DE SOUSA ALMEIDA

TÉCNICAS DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL EM ÁREAS SECAS DEGRADADAS:
REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido.

Orientador: Professor Dr. José Carlos de Araújo.

FORTALEZA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A448t Almeida, Karoline de Sousa.

Técnicas de recuperação ambiental em áreas secas degradadas : revisão sistemática da literatura /
Karoline de Sousa Almeida. – 2024.
54 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2024.

Orientação: Prof. Dr. José Carlos de Araújo.

1. Áreas degradadas. 2. Desertificação. 3. Deterioração do solo. 4. Protocolo PRISMA 2020. 5. Recuperação
ambiental. I. Título.

CDD 630

KAROLINE DE SOUSA ALMEIDA

TÉCNICAS DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL EM ÁREAS SECAS DEGRADADAS:
REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido.

Orientador: Professor Dr. José Carlos de Araújo.

Aprovada em ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. José Carlos de Araújo (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Bruna de Freitas Iwata
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof^a. Isabel Cristina da Silva Araújo
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. José Carlos de Araújo, pela excelente orientação, apoio e paciência. As professoras participantes da banca examinadora a Prof^a. Dr. Bruna de Freitas Iwata (Instituto Federal do Piauí - IFPI) e a Prof^a. Isabel Cristina da Silva Araújo (Universidade Federal do Ceará - UFC) e Chistiane Farias Coelho (Universidade Federal do Ceará - UFC) pelo tempo, pelas colaborações e sugestões.

À Instituição Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio. Agradecer a Universidade Federal do Ceará, em especial, ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola-PPGEA e aos colegas do Grupo de Pesquisa Hidrosedimentológica do Semiárido – HIDROSED, por todo o apoio.

Aos colegas da turma de mestrado, Moyses, Eduardo e Erica pela ajuda e por todo o tempo passado juntos nas aulas, laboratórios e em ambientes sociais. Por último, gostaria de expressar a minha gratidão a Deus e a minha família.

“A natureza não faz nada em vão”
(Aristóteles).

RESUMO

Atualmente, a degradação da terra e a desertificação afetam mais de 3 bilhões de pessoas no planeta. Esses problemas ambientais globais destroem os ecossistemas terrestres e reduzem a disponibilidade dos recursos ambientais, afetando a capacidade da terra para fornecer os bens e serviços ecossistêmicos. As regiões secas, como o Semiárido do Brasil, situam-se entre as áreas mais vulneráveis da Terra em relação à degradação e à desertificação, daí a relevância de estudos sistemáticos sobre o tema. O objetivo geral da presente dissertação é identificar e analisar as principais técnicas de recuperação de áreas secas degradadas em processo de desertificação, por meio de uma revisão sistemática da literatura usando o Protocolo *PRISMA* 2020. Para tanto, este trabalho é norteado pela seguinte questão de pesquisa: Quais são as principais técnicas de recuperação ambiental utilizadas no mundo para a recuperação de áreas secas em processo de desertificação ou desertificadas? Para tanto, a pesquisa foi realizada no portal de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, acesso ao portal CAFE, nas bases de dados *Science Direct* e *Web of Science*. Os descritores utilizados foram “*dry areas*” ou “*recovery of degraded areas*”; e “*desertification*”. Inicialmente, em julho de 2023, a busca identificou 1.145 artigos, que seguiram para a fase de triagem. Foram estabelecidos os seguintes critérios de triagem: (i) exclusão de artigos duplicados; (ii) exclusão dos artigos que, após a leitura (com foco no título, resumo, palavras-chave e conclusão) não se enquadram no propósito desta revisão; e (iii) a identificação dos artigos de prioridade máxima após a triagem. Deste modo, sete artigos foram classificados como de máxima prioridade. Foram identificadas seis principais técnicas de recuperação ambiental em áreas secas degradadas, que são: Exclusão (ou mesmo chamada de cerca ou Gdel ou Hima); Cultivo de contorno; Transformação de campos inclinados em terraço; Cerca viva de contorno; Plantio de árvores e grama planejadas para conservação do solo e da água; e Pilhas ramificadas. Conclui-se que as técnicas descritas nesta revisão refletem a complexidade dos desafios na recuperação de áreas degradadas pela desertificação. É importante compreender que a escolha e aplicação de cada técnica deve ser adaptada às características específicas de cada área, assim como a colaboração entre as diferentes partes interessadas para garantir a eficácia e a sustentabilidade das ações de recuperação.

Palavras-chave: recuperação; áreas degradadas; desertificação; protocolo *PRISMA* 2020.

ABSTRACT

Currently, land degradation and desertification affect more than 3 billion people on the planet. These global environmental problems destroy terrestrial ecosystems and reduce the availability of environmental resources, affecting the earth's ability to provide ecosystem goods and services. Dry regions, such as the Semi-Arid region of Brazil, are among the most vulnerable areas on Earth in relation to degradation and desertification, hence the relevance of systematic studies on the topic. The general objective of this dissertation is to identify and analyze the main recovery techniques for dry areas degraded in the process of desertification, through a systematic review of the literature using the PRISMA 2020 Protocol. To this end, this work is guided by the following research question: What are the main environmental recovery techniques used in the world to recover dry areas undergoing desertification or desertification? To this end, the research was carried out on the journal portal of the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel – CAPES, access to the CAFE portal, in the Science Direct and Web of Science databases. The descriptors used were “dry areas” or “recovery of degraded areas”; and “desertification”. Initially, in July 2023, the search identified 1,145 articles, which proceeded to the screening phase. The following screening criteria were established: (i) exclusion of duplicate articles; (ii) exclusion of articles that, after reading (focusing on the title, abstract, keywords and conclusion) do not fit the purpose of this review; and (iii) identification of top priority articles after screening. Therefore, seven articles were classified as high priority. Six main environmental recovery techniques were identified in degraded dry areas, which are: Exclusion (or even called fence or Gdel or Hima); Contour cultivation; Transformation of sloped fields into terraces; Contour hedge; Planting trees and grass planned for soil and water conservation; and Branched stacks. It is concluded that the techniques described in this review reflect the complexity of the challenges in recovering areas degraded by desertification. It is important to understand that the choice and application of each technique must be adapted to the specific characteristics of each area, as well as collaboration between different interested parties to ensure the effectiveness and sustainability of recovery actions.

Keywords: recovery; degraded áreas; desertification; protocol PRISMA 2020.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Zonas do domínio seco de acordo com o Índice de Aridez	17
Figura 2 – Delimitação do Semiárido em 2021	20
Figura 3 – Etapas da revisão sistemática da literatura.....	28
Figura 4 – Publicações dos artigos por revista	33
Figura 5 – Publicações dos artigos por ano	33
Figura 6 – Esquema técnica de exclusão	40
Figura 7 – Esquema dos processos ativos de recuperação	40

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Informações gerais dos artigos	31
Quadro 2 – Países de afiliação do primeiro autor.....	34
Quadro 3 – Agrupamento dos estudos analisados	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características gerais das técnicas de recuperação ambiental dos estudos.....	42
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAFe	Comunidade Acadêmica Federada
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão de Santa Catarina
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IA	Índice de Aridez
NEPRADE	Núcleo de Estudos em Recuperação de Áreas Degradadas
ONU	Organização das Nações Unidas
PRISMA	Itens de Relatório Preferidos para Revisões Sistemáticas e Meta-análises
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
UNCCD	Convenção de Combate à Desertificação das Nações Unidas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	Áreas degradadas e desertificação	14
2.1.1	Causas e efeitos da degradação da terra	14
2.1.2	Desertificação e suas consequências	15
2.2	Áreas secas	16
2.3	Semiárido Brasileiro e Caatinga	19
2.3.1	Características do Semiárido Brasileiro	19
2.3.2	Ecosistema da Caatinga e sua biodiversidade.....	22
2.4	Recuperação ambiental de áreas degradadas	23
2.4.1	Funções e serviços dos ecossistemas.....	23
2.4.2	Recuperação, restauração e reabilitação ecológica de áreas degradadas.....	25
3	MATERIAL E MÉTODOS	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1	Análise dos estudos incluídos	31
4.2	Técnicas de recuperação ambiental	35
5	CONCLUSÕES	44
	REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

Atualmente uma das questões ambientais mais importantes no mundo é a desertificação, pois juntamente à seca e à degradação da terra, afeta mais de 3 bilhões de pessoas (UNCCD, 2022). A maioria das pessoas vulneráveis residem em comunidades pobres e rurais, fenômeno identificado como *racismo ambiental* (BEARD *et al.*, 2024). Em 2019, 20% da terra global estava degradada em alguma extensão, totalizando 30 milhões de quilômetros quadrados (UNCCD, 2022).

No Brasil, as áreas propensas à desertificação estão inseridas principalmente no Semiárido Brasileiro. São locais com degradação profunda da cobertura vegetal e do solo, denominadas núcleos de desertificação (PEREZ-MARIN *et al.*, 2012; MARENGO *et al.*, 2018; REFATI *et al.*, 2023).

Ao longo da história, as áreas propensas à desertificação do Semiárido Brasileiro, sofreram com a exploração dos recursos naturais, incluindo atividades como pastoreio e extrativismo excessivo, processos erosivos associados principalmente ao estresse hídrico e queimadas. Esses fenômenos são acentuados pela inserção dessas áreas em ecossistemas mais sensíveis, como a Caatinga (BARRETO-NETO; MARCHESI, 2019). O uso inadequado dos recursos naturais nestas áreas tem como consequências a deterioração da qualidade de vida da população (SOUSA *et al.*, 2008).

A seca e a desertificação são fenômenos distintos, mas relacionados, uma vez que as secas reduzem as atividades geradoras de emprego e renda, e a intervenção humana intensifica a pressão sobre os recursos naturais (TRAVASSOS; DE SOUZA, 2011; BARRETO NETO; MARCHESI, 2019).

A recuperação de uma determinada área consiste em restituir a uma condição não degradada o ecossistema que foi degradado, o qual pode diferir das condições originais (BRASIL, 2000). A técnica de recuperação depende do grau de degradação da terra (MACEDO *et al.*, 2008); assim, ela deve ser baseada em opções de manejo e conservação ecologicamente viáveis e socialmente aceitáveis (MENGISTU *et al.*, 2005).

Assim, temos como problema de pesquisa a seguinte questão: Quais as principais técnicas de recuperação de áreas secas em processo de desertificação? Ao observar a lacuna existente na literatura de trabalhos que compilem as técnicas de recuperação ambiental de áreas secas degradadas utilizadas no mundo para a recuperação de áreas secas desertificadas ou em processo de desertificação, notou-se a viabilidade de analisar as técnicas de recuperação de

áreas degradadas em processo de desertificação e/ou desertificadas, por meio de uma revisão sistemática da literatura.

Para tanto, testamos a seguinte hipótese: as principais técnicas de recuperação ambiental de áreas secas em processo de desertificação incluem a restauração florestal, a reconstrução de solo e a criação de reservas florestais.

Nesse sentido, a escolha do tema se justifica pela relevância do cenário da desertificação nas áreas secas do globo terrestre, e entender as diferentes técnicas de recuperação de áreas degradadas é importante, pois cada ambiente possui suas características de solo, fauna e flora nativos, conhecendo suas características e o tipo de degradação (mineração, desmatamento, queima, depósito de lixo, dentre outros) é possível discutir a atual situação compreendendo e explicando as causas, consequências sendo possível propor soluções adequadas para cada situação.

Desse modo, este trabalho partiu da necessidade de contribuir de forma significativa para a compreensão das questões decorrentes de soluções de técnicas sustentáveis para a recuperação das áreas degradadas em processo de desertificação. Assim, o objetivo geral da presente dissertação é analisar, a partir da literatura qualificada, as principais técnicas de recuperação de áreas secas degradadas em processo de desertificação. São objetivos específicos:

1. Mapear, por meio de uma Revisão Sistemática da Literatura, as técnicas de recuperação de áreas degradadas em processo de desertificação; e
2. Descrever as principais técnicas de recuperação de áreas secas degradadas e/ou em processo de desertificação.

A dissertação está dividida em três capítulos, além de uma breve introdução geral. No primeiro capítulo apresenta-se uma revisão teórica que inclui conceitos sobre áreas degradadas e desertificação, áreas secas, Semiárido Brasileiro e a Caatinga, além de conceitos relacionados à recuperação ambiental de áreas degradadas. No segundo capítulo é apresentada a metodologia adotada neste trabalho. No terceiro capítulo há a apresentação dos resultados e a respectiva discussão. Ao final, são elencadas as principais conclusões.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção de referencial teórico serão apresentados conceitos sobre áreas degradadas e desertificação, áreas secas, semiárido brasileiro e a Caatinga e conceitos relacionados à recuperação ambiental de áreas degradadas.

2.1. Áreas degradadas e desertificação

2.1.1. Causas e efeitos da degradação da terra

A degradação da terra é um problema ambiental global que afeta o meio ambiente, pode danificar, de forma temporária ou permanente, mudando as características físicas, químicas e biológicas do solo (KUMAR *et al.*, 2022).

Segundo as Nações Unidas, de acordo com Convenção de Combate à Desertificação (UNCCD), a degradação da terra é a destruição dos ecossistemas terrestres (por exemplo, erosão da terra), que consiste na redução dos recursos (solo, ar, água, fauna e flora) afetando a capacidade da terra para fornecer bens e serviços ecossistêmicos e suas funções para o benefício da população (CRITCHLEY; HARARI; MEKDASCHI-STUDER, 2021).

A erosão do solo é um processo natural identificado em todo o globo. Esse processo é proveniente da desagregação, transporte e deposição das partículas de solo, provocadas principalmente pela ação da água (erosão hídrica) e/ou do vento (erosão eólica) (PEREIRA *et al.*, 2003; FLORENZANO, 2016). Carvalho (2008, p. 35) define que:

Há duas formas de erosão: Geológica, natural ou erosão normal [...] envolve o arranque das partículas ou matérias e o seu transporte, [...], sem intervenção humana, atuando paulatinamente em todos os meios. Acelerada, antrópica ou induzida pelo homem, ou dos solos agrícolas e obras, é aquela provocada pela ação humana.

Apesar de natural, a erosão pode ser rapidamente intensificada pelas ações antrópicas, como desmatamento (SIMPLÍCIO *et al.*, 2021), urbanização (BELHO *et al.*, 2024), plantio em condições inadequadas (JESUS *et al.*, 2022), mineração e construção de estradas (NAVARRO-HEVIA *et al.*, 2016; FARIAS *et al.*, 2019), entre outros.

De acordo com Carvalho (2008), o processo erosivo atua naturalmente através da energia da gota de chuva que impacta o solo e das forças decorrentes da ação do escoamento da água no solo. Segundo o autor, a intensidade da erosão é maior quanto menor for a proteção

do solo. Para Rubira *et al.* (2016) o desmatamento e o uso inadequado do solo podem aumentar significativamente a taxa de erosão do solo.

Jesus *et al.* (2022) destacam alguns dos problemas ambientais e socioeconômicos causados pela erosão do solo, como o assoreamento de corpos d'água superficiais, o agravamento da qualidade e quantidade da água, a perda da fertilidade do solo e a redução de energia elétrica disponível.

Para Kuhn *et al.* (2023), a mudança do uso da terra provocada pelas ações antrópicas e a intensificação dos eventos de precipitação são os principais fatores que influenciam o aumento da taxa de erosão. Ainda segundo os autores, a erosão linear está estreitamente relacionada à intensidade das precipitações, pois quanto maior for a intensidade, maior será a probabilidade de desenvolvimento de processos do tipo ravinas e voçorocas. A ravina é formada pela concentração do escoamento superficial da água no solo por meio de ramificações em pontos de ruptura, e atinge profundidades de aproximadamente 30 a 50 cm. Já a voçoroca é um processo erosivo mais grave, pois envolve o fluxo do escoamento superficial e subsuperficial da água no solo e atinge profundidades maiores que 50 cm. As voçorocas correspondem a *cicatrices morfológicas* que normalmente caracterizam as áreas desertificadas ou em processo de desertificação (FLORENZANO, 2011; ALMEIDA FILHO; GAMA JÚNIOR, 2019; ALENCAR *et al.*, 2020; SIMPLÍCIO *et al.*, 2021; ALENCAR *et al.*, 2022).

2.1.2. Desertificação e suas consequências

A desertificação é um processo global com efeitos locais que afeta as regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas em todo o mundo. As Nações Unidas, de acordo com a Convenção de Combate à Desertificação (UNCCD), define desertificação como a degradação da terra em áreas áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultantes de vários fatores, incluindo variações climáticas e atividades humanas (UNCCD, 1994).

Para Pinheiro, Oliveira e Sales (2015), a desertificação é um processo no qual ocorre o desaparecimento de espécies vegetais, o aumento da erosão dos solos, o assoreamento de rios e lagos e uma maior intensificação dos processos morfogenéticos que passam a prevalecer sobre as ações pedogénicas.

Atualmente, a desertificação é uma das questões ambientais mais importantes no mundo, pois juntamente à seca e à degradação da terra, afeta mais de 3 bilhões de pessoas, a

maioria em comunidades pobres e rurais. Em 2019, cerca de 20% da superfície terrestre estava degradada, totalizando 30 milhões de quilômetros quadrados (UNCCD, 2022).

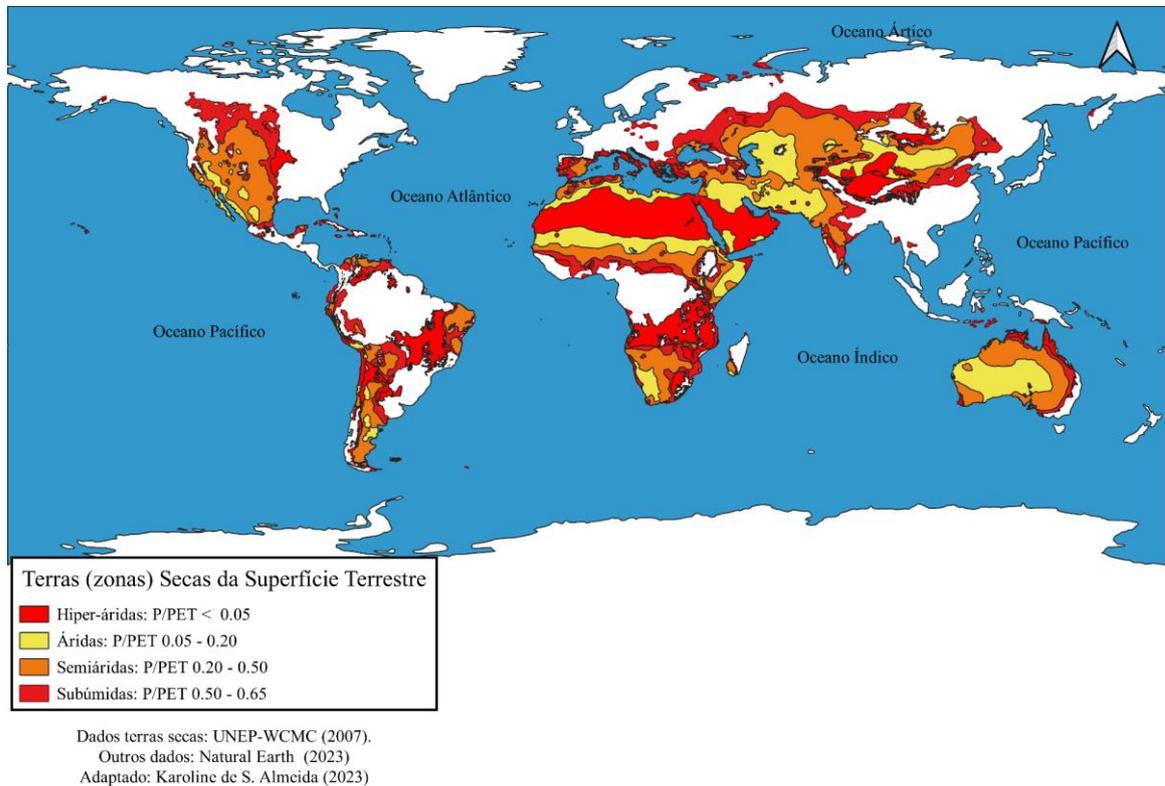
No Brasil, as áreas propensas à desertificação estão inseridas principalmente no Semiárido Brasileiro. São locais com degradação profunda da cobertura vegetal e do solo, denominadas núcleos de desertificação (PEREZ-MARIN *et al.*, 2012; MARENGO *et al.*, 2018; REFATI *et al.*, 2023). Os principais Núcleos de desertificação do Nordeste Brasileiro são os de Gilbués – PI (SIMPLÍCIO *et al.*, 2021), Irauçuba - CE (OLIVEIRA e SALES, 2015), Seridó - RN (COSTA *et al.*, 2009), Cabrobó – PE (SHEYDDER-DE-O-LOPES e CELESTINO-SOARES, 2016), Inhamuns – CE (ADERALDO e NERY, 2022) e Jaguaribe – CE (GUERRA *et al.*, 2010).

2.2. Áreas secas

As terras secas cobrem mais de 40% da superfície terrestre (SCHIMMEL, 2010; BASTINS *et al.*, 2017; BURRELL; EVANS; KAUWE, 2020). O grau de aridez de um determinado lugar na superfície terrestre é dado pelo Índice de Aridez – IA , definido de acordo com a razão entre a evaporação potencial (Ep) e a precipitação (P), ou seja, $IA = Ep / P$ (GREVE *et al.*, 2019).

Segundo Bastins *et al.* (2017), o domínio seco é dividido em quatro zonas, de acordo com o Índice de Aridez: (i) a zona “hiperárida” (IA 0,05), (ii) a zona “árida” (IA de 0,05 a 0,20), (iii) a zona “semiárida” (IA de 0,20 a 0,50); e (iv) a zona “subúmida seca” (IA de 0,50 a 0,65). Essas zonas podem ser visualizadas na Figura 1. Segundo essa distribuição (SORENSEN, 2009), as zonas hiperáridas, áridas, semiáridas e subúmidas secas ocupam, respectivamente, 6,6%, 10,6%, 15,2 % e 8,7% da superfície terrestre (MAESTRE *et al.*, 2021).

Figura 1 – Zonas do domínio seco de acordo com o Índice de Aridez



Fonte: UNEP-WCWC (2007); Natural Earth (2023); adaptado pela autora, 2023.

Rani e Paul (2023) explicam que, nas zonas secas, a erosão é um dos principais fatores que afetam a superfície do solo. Isso se deve à baixa presença de vegetação e à quantidade de detritos soltos no solo. Ainda segundo os autores, as regiões secas da terra são os ambientes mais vulneráveis do globo, normalmente sujeitos a secas frequentes e à intensiva e extensiva exploração de seus recursos naturais.

Para Mishra e Singh (2010), a seca é um fenômeno que ocorre em todas as zonas climáticas, desencadeado pela redução na quantidade de precipitação durante um longo período, afetando assim a capacidade do sistema de fornecer água suficiente para as demandas estabelecidas pela sociedade (DE ARAÚJO; BRONSTERT, 2016). Além disso, a seca afeta os recursos hídricos superficiais e subterrâneos, o que pode resultar não somente na diminuição da quantidade de água disponível, mas também na má qualidade da água e no fracasso da agricultura (RANI; PAUL, 2023).

Os ecossistemas presentes em regiões áridas destacam-se por sua singularidade em comparação com outros (WU *et al.*, 2021), pois englobam uma ampla variedade de ambientes, todos caracterizados pela escassez de água, como desertos, estepes, savanas, matagais, arbustais, pastagens e campos de pastoreio (HOOVER *et al.*, 2020). Mostram-se muito sensíveis às mudanças climáticas, principalmente nas regiões de transição entre a zona semiárida e subúmida (YAO *et al.*, 2021).

O fator limitante principal nesses ecossistemas é a falta de água, uma vez que a recarga de águas subterrâneas em terras áridas é, por vezes, limitada a áreas que recebem escoamento superficial. Assim, a pouca disponibilidade hídrica natural limita o crescimento da vegetação e o desenvolvimento do solo (MAESTRE, *et al.* 2016; MCKENNA; SALA 2018).

A cobertura vegetal nas terras secas é, portanto, de baixa estatura. Nessas regiões a vegetação pode desenvolver mecanismos específicos de proteção para se adaptar aos períodos de estresse hídricos, como a formação de folhas aciculares, a capacidade de armazenar água nos caules e o uso de neblina e orvalho para umidificar o ar. As plantas evoluíram para ter baixa respiração, tempos de pico de crescimento avançados e altas taxas de crescimento (HOOVER *et al.*, 2020. WU *et al.*, 2021). No Semiárido Brasileiro, Pinheiro *et al.* (2013) identificaram uma dinâmica notável nas raízes da vegetação da Caatinga em função da disponibilidade de água, o que altera sensivelmente a capacidade de infiltração e, portanto, as condições para geração de escoamento superficial (DE FIGUEIREDO *et al.*, 2016).

O desenvolvimento do solo em terras áridas está diretamente ligado à cobertura vegetal. São solos jovens em desenvolvimento e com pouca matéria orgânica, qualquer alteração na vegetação, na hidrologia e na gestão de nutrientes, o solo fica exposto afetando as emissões de Gases de Efeito Estufa - GEE (HOOVER *et al.*, 2020. GUO *et al.*, 2023). Depois da combustão de combustíveis fósseis, a mudança no uso da terra (principalmente, a conversão de sistemas não agrícolas em terras agrícolas) é considerada a segunda maior fonte de Gases de Efeito Estufa (WANG *et al.*, 2022).

Crippa *et al.* (2023) identificam que os seis maiores emissores mundiais de Gases de Efeito Estufa em 2022 são a China, os Estados Unidos, a Índia, a União Europeia, a Rússia e o Brasil. Juntos, esses países representam cerca de 50% da população mundial, 61,2% do PIB global e 61,6% das emissões globais de gases do efeito estufa. A Índia registrou o maior

aumento das emissões em 2022, enquanto a Rússia apresentou a maior diminuição de emissões (-2,4%).

As mudanças climáticas, as alterações na cobertura e no uso do solo, o crescimento populacional e as práticas de uso insustentável da terra desencadeiam um aumento significativo na degradação da terra e desertificação das terras áridas (BASTINS *et al.*, 2017; BURRELL; EVANS; KAUWE, 2020).

É importante entender o papel das terras secas, principalmente dada a sua extensão espacial no globo terrestre. Isso é necessário para se estimar como serão as alterações nas áreas secas no futuro e para projetar ações eficientes de restauração e conservação (MAESTRE *et al.*, 2021). Então, por quê preservar as terras secas do globo terrestre?

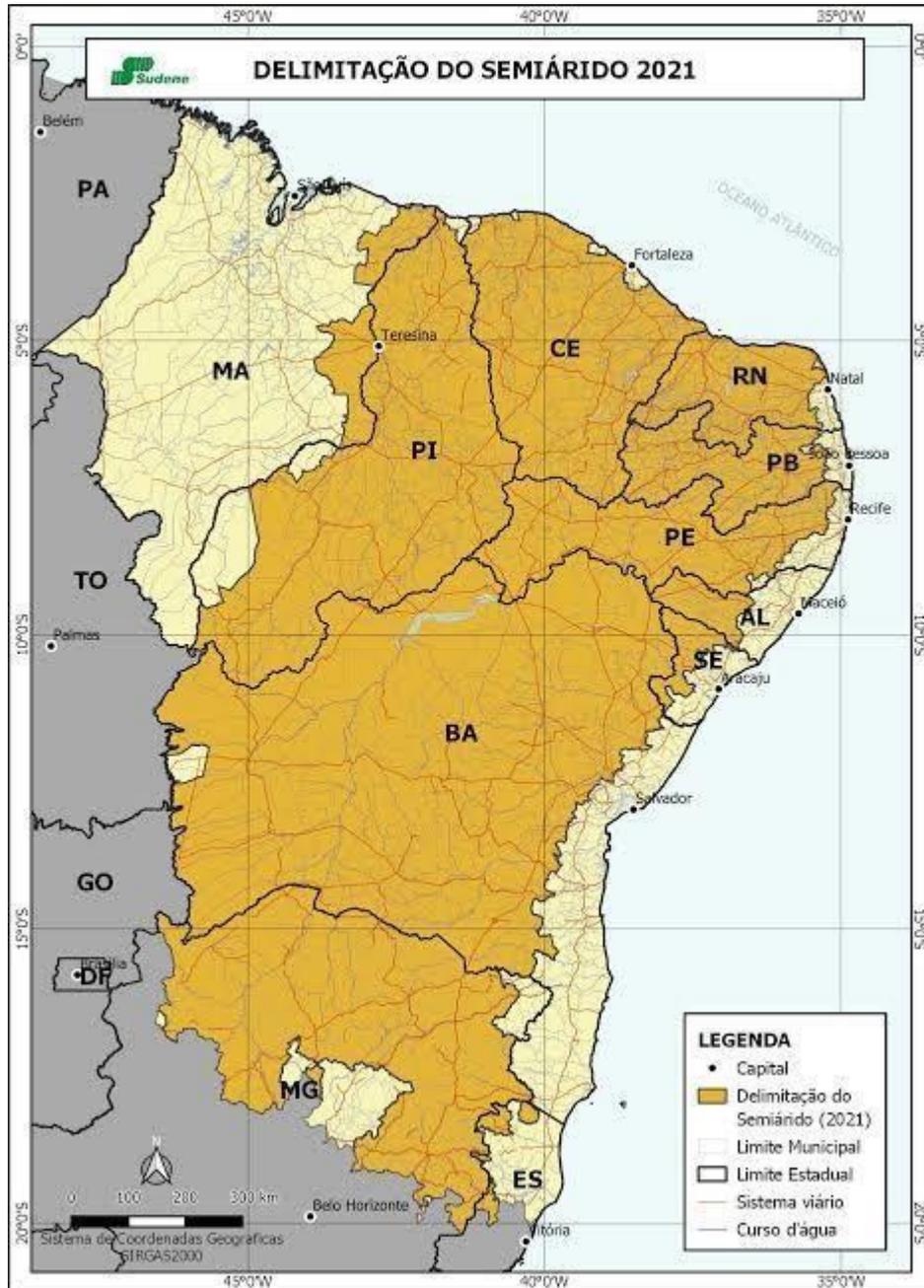
As terras secas fornecem inúmeras funções e serviços ecossistêmicos, incluindo um forte papel como sequestrador de Carbono no solo, ou seja, reduz a taxa de CO₂ atmosférico (LAL, 2004). Em relação à alimentação global, as terras secas contribuíram significativamente durante milênios para a produção agrícola de diversas culturas básicas, sendo a produção agrícola e a pecuária fonte principal de emprego e subsistências (WANG *et al.*, 2022). Além disso, as terras secas têm uma diversidade de fauna e flora endêmica (MAESTRE *et al.*, 2012).

2.3. Semiárido Brasileiro e Caatinga

2.3.1. Características do Semiárido Brasileiro

O semiárido brasileiro é uma ecorregião representada pelos nove estados do Nordeste Brasileiro (Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe) e Minas Gerais e Espírito Santo, atualmente composta por 1.427 municípios, conforme Figura 2 (FORSTALL-SOSA *et al.*, 2021; SUDENE, 2021; IBGE, 2022).

Figura 2 – Delimitação do Semiárido em 2021



Fonte: SUDENE, 2021.

Os critérios técnicos e científicos para delimitação do Semiárido Brasileiro são baseados nas condições climáticas particulares dessa ecorregião de acordo com as resoluções nº 150, de 13/12/2021 e nº 151, de 01/12/2021 do Conselho deliberativo da SUDENE - CONDEL (SUDENE, 2021):

- (a) Precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800 mm;
- (b) Índice de Aridez de Thornthwaite igual ou inferior a 0,50;

- (c) Déficit hídrico diário igual ou superior a 60%, considerando todos os dias do ano (ou seja, quando a precipitação é menor que a evaporação).

Para compor o Semiárido Brasileiro, o município precisa apresentar uma dessas três condições apresentadas anteriormente (SUDENE, 2021). Segundo a Articulação Semiárido Brasileiro - ASA, o Semiárido Brasileiro conta com aproximadamente 31 milhões de habitantes em 2021, e uma área 1,826 milhões de km² (SUDENE, 2021; ASA, 2022) sendo uma das regiões secas mais populosas do mundo, com 17 habitantes por km² (ALVALA *et al.*, 2017; DA SILVA *et al.*, 2023).

Um fenômeno natural e recorrente na região Semiárida Brasileira é a seca, caracterizada por sua deficiência hídrica frente às demandas humanas (MARENGO *et al.*, 2017). As secas no Semiárido Brasileiro apresentam não somente uma ampla cobertura espacial (ALVALA *et al.*, 2017), como, por vezes, esses períodos podem durar de três a sete anos seguidos (VELLOSO; SAMPAIO; PAREYN, 2002; DE ARAÚJO; BRONSTERT, 2016).

O Semiárido Brasileiro caracteriza-se por apresentar baixo índice pluviométrico e irregularidade na distribuição anual das chuvas (GAISER *et al.*, 2003; DA SILVA *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2023) assim, os solos desta região são poucos desenvolvidos com a presença de frações grossas - pedregosas (DE ARAÚJO FILHO *et al.*, 2022; NEVES *et al.*, 2023).

No Semiárido Brasileiro, as irregularidades na distribuição das chuvas (períodos de seca) durante as estações chuvosas (veranicos) costumam causar danos à agricultura local, afetando significativamente a produção agrícola familiar, a renda regional e a segurança alimentar (ALVALA *et al.*, 2017; SATHLER 2021).

O bioma característico da região Semiárida Brasileira é a Caatinga, com áreas de transição sul e oeste com o bioma Cerrado e leste com a Mata Atlântica (SILVA *et al.*, 2023) nesses limites abrigam enclaves com biotas taxonomicamente, ecologicamente e historicamente distintas, altamente fragmentadas, restritas principalmente aos topos de montanhas, não formando extensões amplamente contínuas (LIMA, 2021; LIMA *et al.*, 2023). Deste modo, devido às pré-condições climáticas, geológicas e ambientais, o solo do Semiárido Brasileiro é suscetível à desertificação (DA SILVA *et al.*, 2022).

2.3.2. Ecossistema da Caatinga e sua biodiversidade

A Caatinga é um bioma endêmico da região semiárida do Nordeste Brasileiro. Conhecida como a maior extensão contínua de floresta tropical sazonal seca, que abrange áreas do noroeste do México ao norte da Argentina (PENNINGTON; LAVIN; OLIVEIRA-FILHO, 2009; WERNECK, 2011; BORGES *et al.*, 2020; LIMA, 2021; LIMA *et al.*, 2023; SILVA *et al.*, 2023).

De origem indígena, tupi, a palavra Caatinga significa “mata ou floresta branca” pois, na estação seca, as árvores perdem as folhas e os caules ficam esbranquiçados (SENA, 2011). A Caatinga ocupa uma área aproximada de 844 mil km², representando 70% da região Nordeste e 10% do território brasileiro, estando presente em parte dos estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe (MAGALHÃES *et al.*, 2019; IBGE, 2023).

Este bioma identifica-se com as condições secas da região semiárida do Brasil (LIMA *et al.*, 2023; SILVA *et al.*, 2023); caracteriza-se por um mosaico de espécies xerófitas e endêmicas com fisionomias de vegetação diferentes, composta principalmente por árvores e arbustos rasteiros, com espinhos, galhos retorcidos, e geralmente caducifólias e suculentas (BORGES *et al.*, 2020; LIMA *et al.*, 2023; SILVA *et al.*, 2023). Essas características da vegetação da Caatinga o diferenciam de outros biomas (FERREIRA *et al.*, 2021). A Caatinga possui uma rica diversidade biológica, representando 17% do total de táxons registrados no Brasil, sendo 4.322 espécies de plantas com sementes, das quais 744 são endêmicas (FORZZA, 2010; MAGALHÃES *et al.*, 2019). É, portanto, um celeiro de pesquisa para entender a capacidade adaptativa da fauna e da flora para as condições adversas do regime de precipitação, caracterizado por baixos níveis e irregularidade (LEAL *et al.*, 2005; BORGES *et al.*, 2020). No entanto, apenas 1% desse bioma foi convertido em área protegida (MARQUES *et al.*, 2020).

Alguns autores relatam escassez de estudos científicos sobre o balanço energético e de carbono no Bioma Caatinga, dificultando entender como as variações meteorológicas e ambientais influenciam os fluxos de energia e massa na interface biosfera-atmosfera, principalmente em casos de supressão da cobertura vegetal nativa e o impacto no microclima (CAMPOS *et al.*, 2019; BORGES *et al.*, 2020).

Estudos realizados no bioma Caatinga esclarecem o papel das chuvas sazonais no fechamento e na participação do balanço energético, na evaporação e na troca de CO₂

(TEIXEIRA *et al.*, 2008; SOUZA *et al.*, 2016; SILVA *et al.*, 2017; CAMPOS *et al.*, 2019; MUTTI *et al.*, 2019; SANTOS *et al.*, 2020; BORGES *et al.*, 2020; MARQUES *et al.*, 2020; MENDES *et al.*, 2020; COSTA *et al.*, 2021; COSTA *et al.*, 2023). Marques *et al.* (2020) citam a necessidade de estudos a longo prazo sobre os fluxos de energia e água entre a vegetação e a atmosfera, necessários devido à vulnerabilidade destes ambientes às ações antrópicas e às mudanças climáticas, conforme realizado no Programa bilateral Brasil – Alemanha WAVES (GAISER *et al.*, 2003).

2.4. Recuperação ambiental de áreas degradadas

2.4.1. Funções e serviços dos ecossistemas

A diversidade de população e espécies (biodiversidade) de um ecossistema é conhecida como o principal fator que impulsiona a dinâmica e o funcionamento das comunidades e dos ecossistemas (SCHULZE; MOONEY, 2012; TILMAN; ISBELL; COWLES, 2014; BROCKERHOFF *et al.*, 2017).

Os ecossistemas são compostos por organismos vivos (comunidade biótica) e com o ambiente inerte (meio abiótico) que estão ligados e interagem entre si (ODUM, 2001). As constantes interações entre os componentes do ecossistema são denominadas Funções Ecosistêmicas (transferência de energia, ciclagem de nutrientes, dentre outros) que por sua vez gera uma série de benefícios (diretos ou indiretos) para o ser humano, tais benefícios denominado de Serviços Ecosistêmicos (DE GROOT; WILSON; BOUMANS, 2002; JOLY *et al.*, 2019).

Um importante documento que relaciona a ligação entre os serviços ecosistêmicos e os componentes do bem-estar humano é o relatório de Avaliação Ecosistêmica do Milênio, organizado pela Organização das Nações Unidas - ONU. Define serviços ecosistêmicos como os benefícios que as pessoas obtêm, provenientes dos ecossistemas e emergem das interações dentro do ecossistema, divididos em quatro categorias (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005, p. 4):

- a) Serviços de suporte. Necessários para a manutenção da vida na Terra, ciclagem de nutrientes, a decomposição de resíduos, a produção, a manutenção ou a renovação da fertilidade do solo, dentre outros.

b) Serviços de provisão. Incluem o fornecimento de bens naturais para consumo e comercialização, como água, alimentos, madeira e fibras e extratos.

c) Serviços de regulação. Incluem que contribuem para a estabilidade dos processos ecossistêmicos, sequestro de carbono, moderação de eventos climáticos extremos, a purificação do ar, dentre outros.

d) Serviços culturais. Benefícios não materiais como recreação, turismo, experiências estéticas e espirituais, desenvolvimento intelectual, dentre outros.

No Brasil a lei federal n.º 14.119 define serviços ecossistêmicos como os diversos benefícios oferecidos para a sociedade pelos ecossistemas. Ainda segundo a referida lei, o termo “serviços ambientais” é definido como sendo as atividades individuais ou em grupo que ajudem a manter, restaurar ou melhorar os serviços do ecossistema (BRASIL, 2021).

Para Andrade *et al.* (2012) os serviços ecossistêmicos são importantes para as atividades econômicas, visto que provêm os recursos necessários à produção de bens e serviços econômicos e fornecem os serviços básicos para a manutenção da espécie humana, Polasky *et al.* (2011) citam o sequestro de carbono devido ao seu impacto positivo na regulação do clima, a retenção de nutrientes devido ao seu impacto positivo na qualidade da água, o tempo do fluxo da água devido ao seu papel na mitigação de enchentes e secas e insumos para a produção de culturas agrícolas.

No entanto, estes serviços sofrem grande pressão devido às atividades humanas e as mudanças climáticas, exemplos, às mudanças no uso e ocupação do solo para fins agrícolas, urbanização, industrialização e mineração, o que não só muda a quantidade de serviços prestados, mas também a sua qualidade, no tempo e no espaço (POLASKY *et al.*, 2011; ANDRADE *et al.*, 2012).

Assim, a perda de biodiversidade da floresta pode reduzir seriamente o funcionamento desses ecossistemas, afetando a capacidade da floresta para oferecer os serviços ecossistêmicos como, por exemplo, a decomposição da matéria orgânica, a ciclagem de nutrientes e a retenção de água (DUFFY, 2009; AERTS, HONNAY, 2011).

Para Nytech *et al.* (2023), as espécies de árvores nativas e não nativas podem contribuir para a restauração das funções e serviços ecossistêmicos, incluindo o aumento da biodiversidade local, regulação do clima, construção da fertilidade e controle da erosão do solo e fornecimento de madeira e fibras.

Datry *et al.* (2023; ver também MESSAGER *et al.*, 2021) demonstram que a extensão de trechos intermitentes de rios vem crescendo significativamente no globo, o que torna o estudo de regiões em que a intermitência dos rios é natural, como é o caso do Semiárido do Brasil. As principais causas do aumento da intermitência de rios em regiões não secas são o aquecimento global, as alterações nos padrões hidrológicos (principalmente pela construção de barragens) e o aumento de consumo de água. Essas alterações impactam a biodiversidade e a dinâmica dos ecossistemas, assim como seus serviços ecossistêmicos, o que exige da sociedade um manejo aperfeiçoado dos recursos naturais frente aos novos desafios.

2.4.2. Recuperação, restauração e reabilitação ecológica de áreas degradadas

Ao longo dos anos, o tema recuperação de áreas degradadas tem sido discutido devido à sua importância no contexto de gestão ambiental dessas áreas. Segundo Costa *et al.* (2005), no Brasil, esse tema se tornou visível nas décadas de 1980 e 1990, com foco principalmente na degradação do solo em áreas agrícolas e de mineração.

A Política Ambiental Brasileira, que disciplina e cria mecanismos para a recuperação das áreas degradadas (ANDRADE; SANCHEZ; ALMEIDA, 2014), inclui o novo Código Florestal (Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012), que é a principal legislação brasileira para regulamentar o uso, a proteção e a recuperação das florestas no país. Inclui Áreas de Preservação Permanente, Reserva Legal e Uso Restrito, exploração florestal, fornecimento de matéria-prima florestal e controle da origem dos produtos florestais (BRANCALION *et al.*, 2016).

Para definir as diretrizes de recuperação dessas áreas, a Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, define o termo *recuperação* como a restituição de uma determinada área a uma condição não degradada, o qual pode diferir das condições originais (BRASIL, 2000). Além disso, a recuperação de um ambiente degradado, danificado ou destruído por meio de técnicas assistidas é denominada *restauração* ecológica (BALENSIEFER, 2004).

A reabilitação de um ecossistema inclui o estudo de toda a bacia hidrográfica e enfatiza o restabelecimento de espécies, habitats e dos processos naturais importantes que contribuem para o restabelecimento do ecossistema, sendo necessário eliminar os fatores externos que causam as pressões no ecossistema (COOKE, 2009).

Segundo Wali (1999), em muitos problemas ambientais contemporâneos, a reabilitação de sistemas terrestres drasticamente perturbados requer conhecimento específico do local, da estrutura e função dos ecossistemas vizinhos para garantir que as estratégias de reabilitação escolhidas sejam sustentáveis. Outros fatores a serem considerados, segundo Cui *et al.* (2018), são o contexto geográfico, as condições ambientais, as características climáticas, o tipo de zona, o objetivo de restauração e a forma e intensidade das atividades humanas.

Faz-se necessário, portanto, entender os conceitos relacionados ao papel da sucessão ecológica na recuperação dos ecossistemas. Para Prach e Walker (2011), a *sucessão* ecológica é a substituição sequencial de espécies após uma perturbação, abrangendo mudanças nas comunidades e ecossistemas, assim como mudanças estruturais. De acordo com Wali (1999), a sucessão ecológica é dividida em primária, que pode ser observada em ambientes que sofreram distúrbios drásticos e de grande escala, criando habitats que são revegetados naturalmente; e em secundária, na qual o restabelecimento natural de plantas ocorre após o distúrbio cessar.

Considerando os conceitos já apresentados, é possível também entender os processos ativos e passivos da recuperação dos ecossistemas. Os processos passivos de recuperação ocorrem naturalmente, com pouca ou nenhuma intervenção humana, enquanto os processos ativos envolvem intervenção humana para acelerar e influenciar o processo de sucessão ecológica (BENAYAS; BULLOCK; NEWTON 2008; HOLL; AIDE, 2011).

Em ambientes em processo de desertificação, a perspectiva de recuperação ambiental é o processo ativo, uma vez que a área sofreu intenso processo de degradação. De acordo com Lovich e Bainbridge (1999), as condições adequadas para o estabelecimento de uma planta ocorrem apenas de forma pouco frequente e irregular, podendo levar centenas de anos para a recuperação completa ocorrer sem intervenção ativa.

Como exemplo de estudo de recuperação de áreas degradadas, podemos citar o trabalho de Navarro-Hevia, de Araújo e Manso (2014), que descreve oito décadas de recuperação de vegetação e solo, assim como processos erosivos na região de Saldaña, Espanha. Os autores realizaram uma análise das causas da degradação, do programa intensivo de restauração florestal implantado em 1930 e dos resultados visíveis em 2010. Além de problemas históricos, o desmatamento intensivo, colheitas e atividades de criação de gado mudaram consideravelmente a paisagem. Os autores descrevem que as atividades de restauração foram realizadas de 1932 a 1936, dentre elas o plantio manual de árvores com 3.000 plantas ha⁻¹ e a

construção de algumas centenas de cercas de pau-a-pique e represas. Durante a década de 1970 construíram-se mais cinco barragens de retenção de sedimentos.

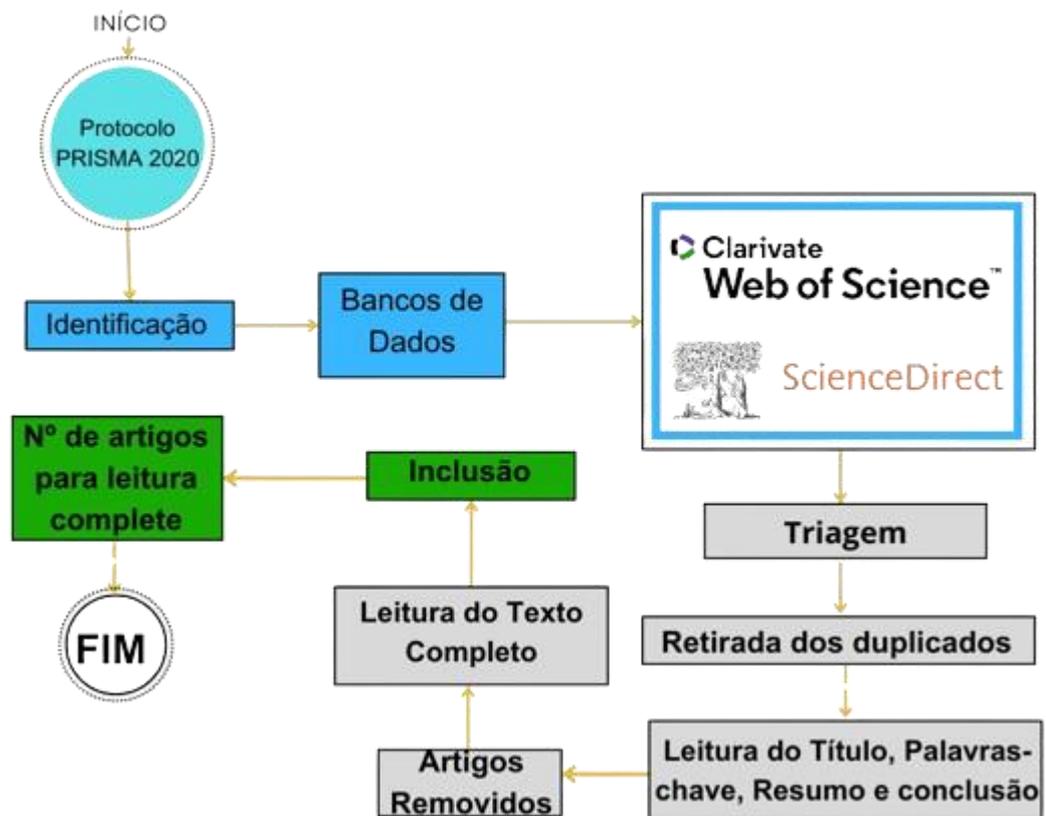
Atualmente, a vegetação densa contrasta fortemente com a paisagem degradada do início do século XX. A espessura da serapilheira e a presença natural de algumas espécies (*Quercus pyrenaica*, *Paeonia broteroi* e *Lactarius deliciosus*) indicam claramente a recuperação do local. Há também evidências de regeneração do solo, embora algumas propriedades não sejam tão diferentes entre as áreas florestadas e degradadas. A erosão quase foi interrompida pelos efeitos da cobertura vegetal, serapilheira e maiores taxas de infiltração. O desenvolvimento da cobertura florestal mostra que a intervenção tem potencial para recuperar quase 90% da área em Saldaña (NAVARRO-HEVIA *et al.*, 2014).

No Brasil, o estudo de Oliveira e Sales (2015) apresentam os resultados de dez anos de pesquisa na área degradada de Irauçuba, Ceará. Os autores implantaram seis áreas de exclusão, medindo 25 m x 25 m cada uma. Ao longo da década, os autores avaliaram a evolução fitossociológica em cada exclusão, comparando-as com as áreas não excluídas, que continuavam sujeitas a sobrepastoreio, o que causou a degradação local. Entre os benefícios da prática, observou-se que o tempo de residência da água nas microbacias aumentou consideravelmente nas áreas de exclusão.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O processo de seleção dos estudos, conforme a metodologia do Protocolo *PRISMA* 2020, consiste em três etapas: **identificação**, **triagem** e **inclusão** dos documentos necessários para compor a revisão sistemática da literatura. A seguir, serão detalhadas as etapas deste estudo segundo o Protocolo *PRISMA* (Figura 3).

Figura 3 – Etapas da revisão sistemática da literatura



Fonte: Autora, 2024.

Etapa 1. Identificação dos artigos

A primeira etapa consiste em identificar os estudos por meio dos bancos de dados e termos de busca definidos. As bases de dados escolhidas foram a *Web of Science* e a *Science Direct*, ambas disponíveis na plataforma CAFE no portal da CAPES, que abrange uma ampla gama de artigos de diversas áreas de conhecimento. A busca foi realizada no dia 10/07/2023 e as palavras-chave, com o auxílio dos operadores booleanos, resultaram no seguinte: (“dry areas” or “recovery of degraded areas”) and “*desertification*”.

Etapa 2. Triagem dos artigos

A segunda etapa consistiu em aplicar filtros para delimitar o resultado da pesquisa. O primeiro filtro, foi a retirada/exclusão dos artigos duplicados, o segundo filtro inclui artigos e revisões publicadas (no presente caso, entre 1992 e 2022), de acesso livre, removendo os artigos que, após a leitura do título, palavras-chave, resumo e conclusão, não se enquadram no propósito desta revisão sistemática.

Etapa 3. Inclusão dos artigos

A terceira etapa realizada foi a inclusão dos artigos para análise do texto completo. A coleta e análise de dados com o auxílio das planilhas baixadas do site da Science Direct e Web of Science com as informações referentes a nome dos autores, título, DOI, ano de publicação, tipo (artigo ou artigo de revisão), país e nome da revista foram processados no *software Microsoft Office Excel 2019*, com o objetivo de sistematizá-los e apresentar os resultados em forma de gráficos e tabelas, permitindo comparações e análises dos estudos identificando padrões, tendências e lacunas na literatura. Assim, identificou-se as técnicas mais utilizadas para a recuperação de áreas degradadas em processo de desertificação e/ou desertificadas, de acordo com a literatura.

3.1. Informações gerais RSL

Seguindo as etapas recomendadas pelo Protocolo *PRISMA* temos – a **identificação** é a primeira etapa e consiste em identificar os estudos por meio dos bancos de dados e termos de

busca (string) anteriormente definidos, no total foram encontrados 1.375 artigos, sendo 230 do *Science Direct* e 1.145 do *Web of Science*, ambas disponíveis na plataforma CAFe no portal da CAPES, que abrange uma ampla gama de artigos de diversas áreas de conhecimento.

A **triagem**, é a segunda etapa e consiste em aplicar filtros para delimitar os resultados da pesquisa, sendo assim nesta etapa de triagem aplicando os filtros previamente definidos como retirar os artigos duplicados, o segundo filtro incluir os artigos e revisões publicadas entre 1992 e 2022, de acesso livre, em seguida aplicou-se um filtro para remover os artigos que, após a leitura do título, palavras-chave, resumo e conclusão, não se enquadram no propósito desta revisão sistemática, no total de 47 *Science Direct* e 55 de *Web of Science*, artigos que embora apresente os termos de busca e passando por todo o processo de filtro não apresentem especificamente o tema abordado de recuperação de áreas degradadas em processo de desertificação ou desertificada.

A **inclusão**, é a terceira etapa e consiste na inclusão dos artigos que serão analisados no texto completo, no total de 47 *Science Direct* e 55 de *Web of Science* e no processo de filtragem final, ou seja, os artigos que apresentaram especificamente o tema abordado de recuperação de áreas degradadas em processo de desertificação ou desertificada temos, no total de três *Science Direct* e quatro de *Web of Science*.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise dos estudos incluídos

A luz da análise dos artigos desta RSL, descreve-se a seguir as principais informações dos sete artigos analisados e incluídos nesta revisão sistemática da literatura, informações como ano de publicação, nome das revistas, o tipo (artigo original ou artigo de revisão), título e os autores (Quadro 1).

Quadro 1 – Informações gerais dos artigos

ANO	REVISTA	TIPO	Título	Autores
2013	<i>Energy Procedia</i>	Artigo	<i>Rehabilitation of the Steppe Lygeum spartum in the Region of Naama (Western Algeria)</i>	Abdelkrim, Benaradj; Hafidha, Boucherit; Okkacha, Hasnaoui; Khalladi, Mederbal; Abdelkrim, Sehli.
2017	<i>International Soil and Water Conservation Research</i>	Artigo de revisão	<i>Guidelines for integrating ecological and biological engineering technologies for control of severe erosion in mountainous areas – A case study of the Xiaojiang River Basin, China</i>	He, Songtang; Wang, Daojie; Fang, Yingchao; Lan, Huijuan.
2019	<i>Restoration Ecology</i>	Artigo	<i>The use of branch piles to assist in the restoration of degraded semiarid steppes</i>	Castillo-Escrivá, Andreu; López-Iborra, Germán M; Cortina, Jordi; Tormo, Jaume.
2019	<i>International Journal of Climate Change Strategies and Management</i>	Artigo	<i>Revival of traditional best practices for rangeland restoration under climate change in the dry areas: A case study from Southern Tunisia</i>	Belgacem, Azaiez Ouled; Salem, Farah Ben; Chibani, Mouldi GamounRoukaya; Louhaichi, Mounir.

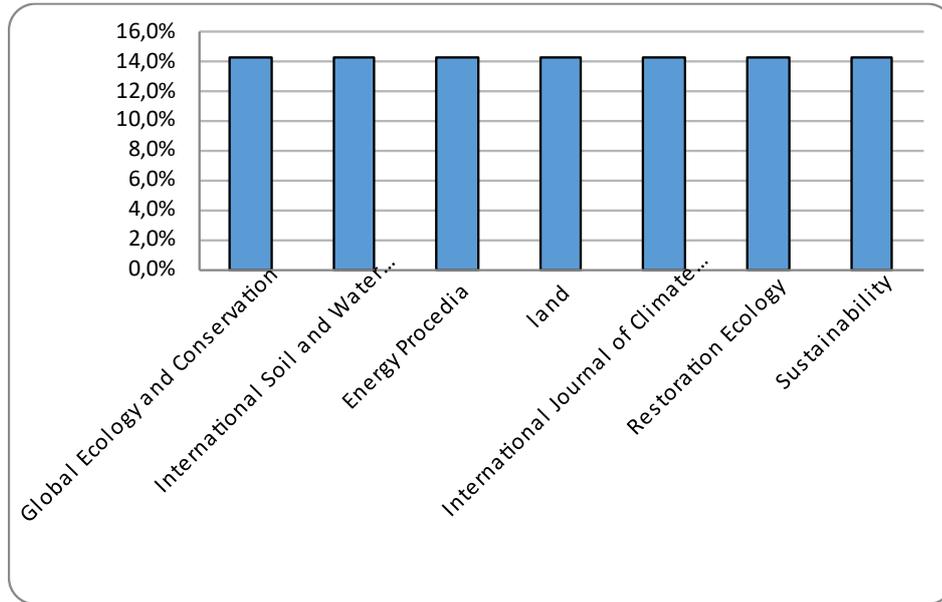
Quadro 1 – Informações gerais dos artigos (Cont.)

2020	<i>land</i>	Artigo	<i>Assessing Context-Specific Factors to Increase Tree Survival for Scaling Ecosystem Restoration Efforts in East Africa</i>	Magaju, Cristina; Winowiecki, Leigh Ann; Crossland, Maria; Frija, Aymen; Ouergemmi, Hassen; Hagazi, Niguse; Sola, Phosiso; Ochenje, Ibrahim; Kiura, Ester; Kuria, Anne; Muriuki, Jonathan; Carsan, Sammy; Hadgu, Kiros; Bonaiuti, Enrico; Sinclair, Fergus.
2021	<i>Sustainability</i>	Artigo	<i>Rangeland Biodiversity and Climate Variability: Supporting the Need for Flexible Grazing Management</i>	Louhaichi, Mounir; Gamoun, Moldi; Salem, Farah Ben Belgacém; Azaiez Ouled.
2022	<i>Global Ecology and Conservation</i>	Artigo	<i>Effects of ecological restoration measures on vegetation and soil properties in semi-humid sandy land on the southeast Qinghai-Tibetan Plateau, China</i>	Hu, Jinjiao; Zhou, Qingping; Cao, Quanheng; Hu, Jian.

Fonte: Autora, 2023.

Dentre os trabalhos incluídos na revisão sistemática, 85,7% são de artigos originais e 14,3% de artigos de revisão, cerca de 42,8% dos artigos detalham mais de uma técnica de recuperação. A distribuição das publicações por revista (Figura 4), indica que todas as revista tem cerca de 14,3%, *Global Ecology and Conservation*, *International Soil and Water Conservation Research*, *Energy Procedia*, *Sustainability*, *land*, *International Journal of Climate Change Strategies and Management e Restoration Ecology*, ou seja uma publicação por revista.

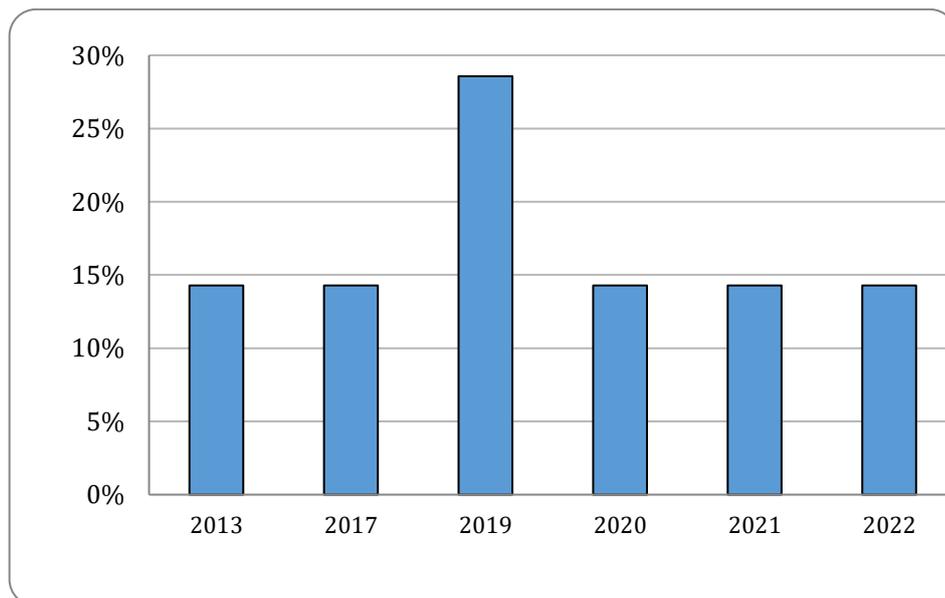
Figura 4 – Publicações dos artigos por revista



Fonte: Autora, 2023.

Em sua maioria, considerando as publicações por ano (Figura 5), são publicações recentes, sendo no ano 2019, dois estudos, um total de 29%. Nos anos de 2013, 2017, 2020 e 2022 manteve-se constante, um estudo por ano, totalizando os outros 71%. Sendo assim, nota-se a atualidade do tema e uma crescente nos estudos.

Figura 5 – Publicações dos artigos por ano



Fonte: Autora, 2023.

No que diz respeito ao país de filiação do primeiro autor, trata-se de uma observação importante, pois assim é possível mapear os países que têm se dedicado a produzir pesquisa sobre as técnicas de recuperação ambiental para a recuperação de áreas secas em processo de desertificação ou desertificadas. Assim, o Quadro 2, que descreve o país de filiação do primeiro autor, cita a quantidade de estudo por país e o nome dos autores do trabalho; indica prevalência de estudos na China, que contém uma extensa área seca (árida e semiárida), além de ter graves problemas de erosão (HE *et al.*, 2017).

Quadro 2 – Países de filiação do primeiro autor

País de filiação	Quantidade	Autores
China	2	Hu, Jinjiao; Zhou, Qingping; Cao, Quanheng; Hu, Jian. He, Songtang; Wang, Daojie; Fang, Yingchao; Lan, Huijuan.
Argélia	1	Abdelkrim, Benaradj; Hafidha, Boucherit; Okkacha, Hasnaoui; Khalladi, Mederbal; Abdelkrim, Sehli.
Emirados Árabes Unidos	1	Belgacem, Azaiez Ouled; Salem, Farah Ben; Chibani, Mouldi GamounRoukaya; Louhaichi, Mounir.
Tunísia	1	Louhaichi, Mounir; Gamoun, Moldi; Salem, Farah Ben Belgacém; Azaiez Ouled.
Espanha	1	Castillo-Escrivá, Andreu; López-Iborra, Germán M; Cortina, Jordi; Tormo, Jaume.
Quênia	1	Magaju, Cristina; Winowiecki, Leigh Ann; Crossland, Maria; Frija, Aymen; Ouerghemmi, Hassen; Hagazi, Niguse; Sola, Phosiso; Ochenje, Ibrahim; Kiura, Ester; Kuria, Anne; Muriuki, Jonathan; Carsan, Sammy; Hadgu, Kiros; Bonaiuti, Enrico; Sinclair, Fergus.

Fonte: Autora, 2023.

Através da análise de filiação do primeiro autor é possível identificar que dois dos sete artigos são afiliados a instituições localizadas na China, e os demais países (Argélia, Emirados Árabes Unidos, Tunísia, Espanha e Quênia) com apenas um estudo cada. A China é um país que vem se destacando no desenvolvimento de pesquisa sobre o tema, segundo Gong *et al.* (2022) a China desenvolve projetos de restauração ecológica para o melhoramento de

ecossistemas ecologicamente frágeis desde 1978, assim, já se esperava uma prevalência nos estudos nesse país.

No que diz respeito aos idiomas das publicações, 100% foram escritos em inglês, tal prevalência do idioma deve-se, pois, a maioria dos periódicos requer o envio dos arquivos para publicação no idioma inglês.

4.2. Técnicas de recuperação ambiental

Conforme descrito no Quadro 3, como estratégia de análise dos artigos optou-se por agrupar e descrever os estudos analisados conforme as técnicas encontradas. Sendo assim, os estudos foram agrupados em seis técnicas segundo a descrição das técnicas em cada estudo.

Quadro 3 – Agrupamento dos estudos analisados

Técnicas	Descrição	Números de artigos	Autores/ Ano
1.Exclusão (fencing ou Gdel ou Hima)	É uma técnica de regeneração natural do ambiente degradado, que consiste na retirada das causas da degradação e aguardar que o ambiente naturalmente se recupere.	4	Abdelkrim <i>et al.</i> (2013) Belgacem <i>et al.</i> (2019) Louhaichi <i>et al.</i> (2021) Hu <i>et al.</i> (2022)
2.Cultivo de Contorno	Técnica que altera a microtopografia de terrenos montanhosos, empregado ao longo de curvas de nível, aumenta a rugosidade superficial e fortalece a infiltração das chuvas, sendo assim reduz o escoamento superficial da erosão do solo.	2	He <i>et al.</i> (2017) Hu <i>et al.</i> (2022)
3.Transformação de campos inclinados em terraços	É uma técnica que consiste em cortar campos inclinados em uma série de degraus planos, conhecidos também como terraços, sendo assim desacelera a taxa de fluxo do escoamento superficial e aumenta o tempo de infiltração e a capacidade de infiltração do solo.	1	He <i>et al.</i> (2017)

Quadro 3 - Agrupamentos dos estudos analisados (*Cont.*)

4. Cerca de contorno	Técnica que utiliza o sistema radicular de plantas como barreira e proteção do solo.	1	He <i>et al.</i> (2017)
5. Plantio planejado de árvores e grama para conservação do solo e da água.	É uma técnica que consiste no plantio e replantio de plantas bem como práticas de melhoramento do solo para aumentar a taxa de sobrevivência das plantas.	3	He <i>et al.</i> (2017) Magaju <i>et al.</i> (2020) Hu <i>et al.</i> (2022)
6. Pilhas de galhos	Técnica que consiste em utilizar pilhas de galhos (ramos) para promover a entrada de semente no ambiente degradado, de espécies arbustivas chave, pela visitação de pássaros frugívoros.	1	Castillo-Escrivá <i>et al.</i> (2017)

Fonte: Autora, 2023.

Assim, no estudo de Abdelkrim *et al.* (2013) descrevem a técnica de exclusão (*fencing*), conforme os autores, é uma técnica que favorece a regeneração natural, removendo as causas da deterioração e promovendo a recuperação biológica da estepe natural com a livre circulação dos processos naturais. Já para Belgacem *et al.* (2019) descrevem a técnica de técnica de pousio (*Gdel*), a técnica consiste em deixar a pastagem em repouso para reconstruir a sua cobertura vegetal.

O texto de Louhaichi *et al.* (2021) descreve a técnica de pousio (*Gdel* ou *Hima*). Os autores realizaram uma pesquisa que teve como objetivo os efeitos da técnica de pousio em comparação ao pastoreio contínuo na diversidade e riqueza de espécies de plantas nas terras áridas em Tataouine, no sul da Tunísia. Citam quatro tipos de comunidades de plantas e as características do seu respectivo tipo de solo, que servem como campo amostral. Os resultados do trabalho demonstram que essa técnica pode ser empregada a curto prazo (1 ano), não existindo justificativa para a exclusão de três anos, justificando-se tal afirmativa, pois a depender da precipitação, a capacidade de resiliências desses ambientes tende a aumentar.

A técnica de exclusão do pastoreio é mundialmente utilizada e tem como base o potencial natural de recuperação do ecossistema degradado (DE SOUZA OLIVEIRA FILHO *et al.*, 2019).

He *et al.* (2017) descrevem quatro técnicas de engenharia ecológica empregadas no manejo da erosão em terrenos montanhosos, na bacia do Rio Xiaojiang, China. Conforme os autores, a técnica de lavoura de contorno é o método básico e simples, empregado ao longo de curvas de nível, que serve como base para outras práticas de lavoura, pois altera a microtopografia, aumenta a rugosidade superficial e fortalece a infiltração das chuvas, sendo assim reduz o escoamento superficial da erosão do solo.

Algumas características desse método devem ser levadas em consideração, segundo os autores, a inclinação, deve ser controlada estritamente dentro de 25°, os traçados de valas e estradas, para evitar a erosão pelo fluxo de água, e o aprofundamento de cultivo deve ser em geral de aproximadamente 25 cm (HE *et al.*, 2017).

O sucesso da implantação da técnica, lavoura de contorno, deve-se a associação desta com outras práticas de conservação da água e do solo, como, por exemplo, as técnicas de rotação de cultura e o terraceamento (MARIOTI *et al.*, 2013).

A técnica de transformação de campos inclinados em terraços, consiste em transformar campos inclinados em terraços, ou seja, o terreno é cortado em uma série de degraus planos. Assim, essa técnica auxilia desacelerando a taxa de fluxo do escoamento superficial, aumentando o tempo de infiltração e a capacidade de infiltração do solo (HE *et al.*, 2017).

A prática de transformação de campos inclinados em terraços é utilizada há milhares de anos (BRUINS, 2012), sendo eficaz, uma vez que remodelam as encostas, o que reduz as perdas de solo devido a erosão, retendo o escoamento superficial, mantendo umidade do solo (LA *et al.*, 2023), além disso, influencia diretamente no conteúdo orgânico do solo (SOC) e no nitrogênio total (NT), fatores indispensáveis para recuperação ambiental e melhoria dos serviços ecossistêmicos (CHEN *et al.*, 2024).

Cerca de controle, é uma técnica que utiliza plantas fixadoras de nitrogênio, com sistema radicular desenvolvido, que funciona como barreira e proteção do solo através da densidade das plantas superficiais. Geralmente essa técnica é utilizada para ambientes com inclinação maior que 25° (HE *et al.*, 2017).

A cerca de contorno, que consiste em barreiras vegetativas no campo, utiliza as raízes das plantas ou grama para retardar e dispersar fluxos concentrados de escoamento das encostas, retendo o sedimento suspenso. É uma técnica frequentemente utilizada, tanto nas bordas do campo quanto dentro dos campos ao longo do contorno, atuando como barreira para a perda de sedimentos das encostas (STEVENS *et al.*, 2009).

Finalmente, a técnica de plantio de árvores e grama para conservação do solo e da água, é uma técnica que, segundo os autores, é dividida em florestamento e plantio de grama. O florestamento consiste na plantação de florestas naturais, comerciais ou similares, já o plantio de grama inclui a semeadura artificial ou aerodinâmica para a melhoria das pastagens naturais (HE *et al.*, 2017).

Em seu artigo, Magaju *et al.* (2020) avaliam quais as práticas de plantação e gestão de árvores (*Tree Planting Planned*) podem aumentar as taxas de sobrevivência de plântulas de árvores para agricultores na Etiópia e no Quênia.

Segundo os autores, as práticas analisadas contemplavam as seguintes variáveis: adição de estrume, regime de irrigação, espécies de árvores, tamanho de covas de plantio e cerca de proteção contra o gado. O resultado do estudo foi que, de modo geral, os efeitos e a magnitude dos efeitos variam muito e depende diretamente do local e tipo de práticas aplicadas (MAGAJU *et al.*, 2020).

Na pesquisa de Hu *et al.* (2022) estudam a comunidade vegetal e as propriedades do solo sob diferentes técnicas de restauração ecológica, controle (CK), cercamento (FE), barreira arenosa de *Salix cupularis* (SCSB) e barreira arenosa de *Salix cupularis* e plantio de gramíneas (SCSBPPG).

O resultado do estudo foi que, na análise da comunidade vegetal as técnicas de FE e SCSBPPG foram mais significativas em relação as outras técnicas. Na análise da cobertura vegetal, biomassa acima do solo, índice de riqueza de Margalef e diversidade de Shannon-Wiener as técnicas de FE e SCSBPPG também se destacaram.

Na análise das propriedades físico-química do solo, as técnicas de FE e SCSBPPG diminuíram a proporção de areia e aumentaram significativamente as proporções de silte e argila, quando comparados com CK. Em FE, o maior aumento foi na camada de solo de 10 a 20 cm, enquanto em SCSBPPG o maior aumento ocorreu na camada de 0 a 10 cm. Em SCSB, houve um aumento na proporção de areia e diminui no teor de silte e argila. O teor de água no solo teve um padrão semelhante em SCSBPPGFESCSB (0–10, 10–20 e 20–30 cm).

As propriedades químicas do solo, os teores de MOS e nutrientes do solo em FE e SCSBPPG foram mais notáveis na profundidade de 10 a 20 cm, já SCSB teve uma diminuição nas três camadas do solo (0–10, 10–20 e 20–30 cm).

Na biomassa microbiana do solo e nas atividades enzimáticas, FE melhorou a atividade microbiana do solo em C, N e P, e o SCSBPPG, também, exceto para N na camada 20 a 30 cm do solo. Houve um aumento em C maior do que em N, nos dois tratamentos. No tratamento de

SCSB a atividade microbiana do solo em C, N e P diminui significativamente nas profundidades de 0–10, 10–20 e 20–30 cm. As atividades enzimáticas do solo aumentaram em FE e SCSBPPG, em comparação com SCSB, que diminuiu.

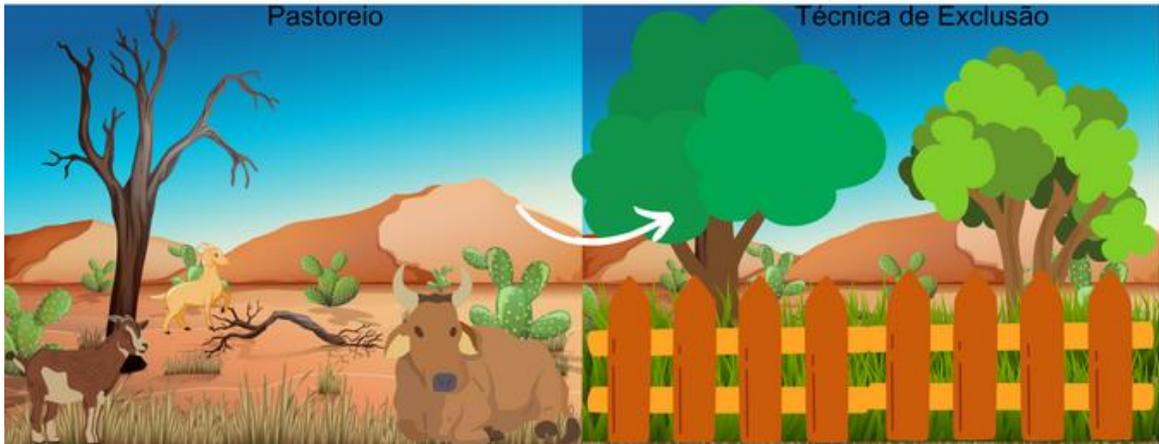
Assim, o autor descreve como as técnicas de FE e SCSBPPG promove o crescimento das plantas e melhora as propriedades físico-químicas e microbiológicas, a biomassa microbiana do solo e as atividades enzimáticas no perfil do solo.

Castillo-Escrivá *et al.* (2017) estudam e descrevem o método pilhas de galhos, que consiste na construção de pilhas de galhos de espécies nativas, imitando a forma e o tamanho de manchas arbustivas naturais, ao longo de uma área degradada no sudeste da Península Ibérica. Avaliando o uso das pilhas de galhos por aves frugívoras, que promovem a entrada de sementes no ambiente. Os resultados do estudo mostraram-se positivos, uma vez que as aves frugívoras dispersoras de sementes utilizaram as pilhas de galhos e contribuíram com o acúmulo de sementes.

Neste trabalho, foram reunidos e analisados criticamente as evidências disponíveis na literatura sobre as abordagens adotadas globalmente para a recuperação de áreas secas afetadas pelo processo de desertificação. Os resultados obtidos fornecem seis técnicas de recuperação de áreas secas degradadas em processo de desertificação ou já desertificadas. Essas técnicas fazem parte da engenharia ecológica, a qual, segundo He *et al.* (2017) é uma importante ferramenta no que diz respeito à relação entre o homem e a natureza, garantindo o desenvolvimento sustentável dos recursos e do meio ambiente.

Os resultados fornecem um panorama das técnicas utilizadas, que podem ser classificadas em duas formas: os processos passivos de recuperação, e os processos ativos. Os processos passivos, ou seja, com pouca ou nenhuma intervenção humana, abrange as técnicas Exclusão (*fencing* ou *Gdel* ou *Hima*). (Figura 6).

Figura 6 – Esquema técnica de exclusão

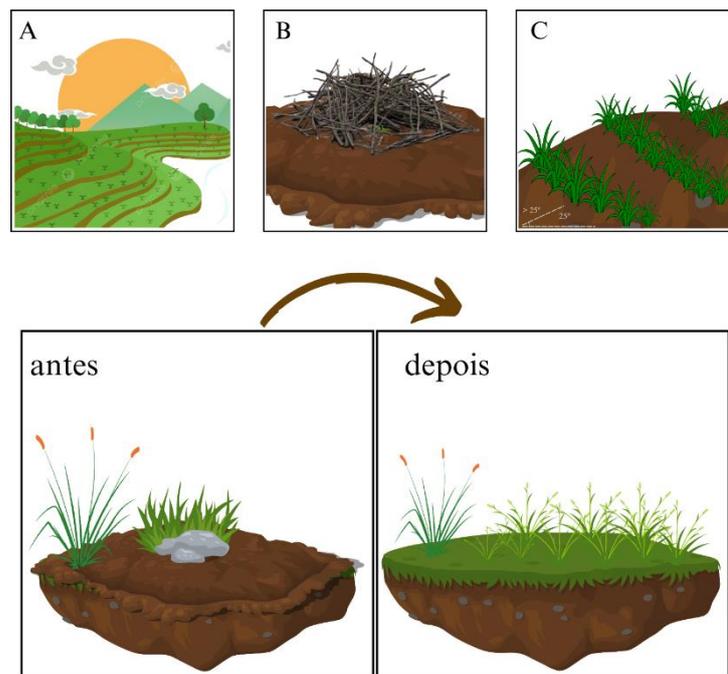


Fonte: Autora, 2023.

De acordo com De Souza Oliveira Filho (et al., 2019) a técnica de exclusão de pastoreio recupera a fertilidade do solo, auxiliando a entrada de nitrogênio e carbono do solo.

Os processos ativos, por outro lado, envolvem a interação humana para acelerar e influenciar o processo de recuperação, abrangendo as técnicas de cultivo de contorno, transformação de campos inclinados em terraços, cerca de contorno, plantio planejado de árvores e grama para conservação do solo e da água e estacas de galhos (Figura 7).

Figura 7 – Esquema dos processos ativos de recuperação



Fonte: Imagens A: campos inclinados em terraços; B: cerca ou cultivo de contorno; C: estacas de galho; D: Plantio de árvores e gramas (Antes e Depois). adaptado pela autora, 2024.

Cada técnica encontrada nesta RSL, quer adotada de forma individual ou em conjunto, tem como proposta preservar a água e o solo, contribuindo para diminuir e reverter sua degradação. Desta forma, deve-se prevenir o surgimento de processos erosivos que podem levar à desertificação. A Tabela 1 é um resumo das características gerais das técnicas, como autor, ano, nome da técnica, custo, inclinação, tempo de experimento, local, serviço ecossistêmico.

A Tabela 1, apresenta as características gerais dos trabalhos como autor/ano, nome da técnica, custo, inclinação, tempo de experimento, local, serviço ecossistêmico.

Tabela 1 – Características gerais das técnicas de recuperação ambiental dos estudos

Autor/ano	Nome da técnica	Custo	Inclinação	Tempo de experimento	Local	Serviço ecossistêmico
Abdelkrim <i>et al.</i> (2013)	<i>Exclosure ou fencing</i>	N	N	N	Argélia	a/c
Belgacem <i>et al.</i> (2019)	<i>Gdel</i>	N	N	N	Tunísia	a/c
Louhaichi <i>et al.</i> (2021)	<i>Gdel ou Hima</i>	N	N	1 a 3 anos	Tunísia	a/c
He <i>et al.</i> (2017)	<i>Contour tillage</i>	N	Dentro de 25°	Permanente	China	a/c
He <i>et al.</i> , (2017)	<i>Transforming sloping fields into terrace</i>	N	N	Permanente	China	a/c
He <i>et al.</i> (2017)	<i>Contour hedgerow</i>	N	Maior que 25°	N	China	a/c
He <i>et al.</i> (2017)	<i>Tree and grass planting for soil and water conservation</i>	N	N	N	China	a/c
Magaju <i>et al.</i> (2020)	<i>Tree Planting Planned</i>	N	N	N	Etiópia e no Quênia.	a/c
Ma <i>et al.</i> (2021)	<i>Space-for-time</i>	N	N	Plantações de 3, 10, 25 e 35 anos	China	a/c

Tabela 1 – Características gerais das técnicas de recuperação ambiental dos estudos (*Cont.*)

Hu <i>et al.</i> (2022)	Control (CK), fencing enclosure (FE), <i>Salix cupularis</i> sandy barrier (SCSB) e <i>Salix cupularis</i> sandy barrier plus planting grasses (SCSBPPG)	N	N	N	China	a/c
Castillo-Escrivá <i>et al.</i> (2017)	<i>Branch piles</i>	183 euros (125 dólares)	N	1 ano	Península Ibérica	a/c

Fonte: Autora, 2023. (N - não informado). Descrição dos serviços ecossistêmicos:

- a) Serviços de suporte: necessários para a manutenção da vida na Terra, ciclagem de nutrientes, a decomposição de resíduos, a produção, a manutenção ou a renovação da fertilidade do solo, dentre outros.
- b) Serviços de provisão: incluem o fornecimento de bens naturais para consumo e comercialização, como água, alimentos, madeira e fibras e extratos.
- c) Serviços de regulação: incluem que contribuem para a estabilidade dos processos ecossistêmicos, sequestro de carbono, moderação de eventos climáticos extremos, a purificação do ar, dentre outros.
- d) Serviços culturais: benefícios não materiais como recreação, turismo, experiências estéticas e espirituais, desenvolvimento intelectual, dentre outros.

5 CONCLUSÕES

A revisão detalhada da literatura revelou a adoção de abordagens diversificadas, desde práticas de conservação do solo até intervenções mais complexas de engenharia ecológica, as técnicas descritas nesta revisão são: Exclusão (ou ainda indicadas de cercas ou *Gdel* ou *Hima*), Cultivo de contorno, Transformação de campos inclinados em terraço, Cerca de contorno, Plantio de árvores e grama planejado para conservação do solo e da água e Estacas de galhos.

A recuperação de áreas degradadas em regiões secas é uma questão social, ambiental e econômica. Dado que essas áreas enfrentam desafios específicos, como a escassez de água e a degradação do solo, o que tem impacto significativo na produção agrícola e na pecuária, que nessa região são as principais fontes de emprego e renda. Estudar e compilar as técnicas utilizadas mundialmente para a recuperação de áreas secas é fundamental para compreender como as intervenções humanas podem aprimorar a capacidade dessas áreas em lidar com os desafios climáticos.

É importante entender que a escolha e a aplicação de cada técnica devem ser adaptadas às características específicas de cada área, levando em consideração alguns fatores antrópicos históricos (o desmatamento intensivo, colheitas, atividades de criação de gado, mineração, dentre outros) e os fatores naturais clima, tipo de solo e biodiversidade local.

Portanto, a diversidade de técnicas aplicadas reflete a complexidade dos desafios enfrentados na recuperação de áreas degradadas por desertificação. É fundamental continuar a pesquisa e o desenvolvimento de estratégias inovadoras, ao mesmo tempo em que se promove a colaboração entre diferentes partes interessadas para garantir a eficácia e a sustentabilidade dessas ações de recuperação ambiental.

Os textos desta revisão (RSL) são baseados no levantamento de base de dados da CAPES, do portal CAFE. Uma sugestão para futuras pesquisas é estender a busca a outros métodos de pesquisa como Google Scholar, organizações governamentais e não governamentais dentre outros, podendo assim, ampliar o leque de textos a serem trabalhados.

REFERÊNCIAS

- ABDELKRIM, Benaradj et al. Rehabilitation of the steppe *Lygeum spartum* in the region of Naama (western Algeria). **Energy Procedia**, v. 36, p. 349-357, 2013.
- ADERALDO, P. Í. C., & NERY, J. T. Atuação do relevo e do clima no núcleo de desertificação dos Inhamuns, Ceará, Brasil. *Ar@ cne. Revista Electrónica de Recursos en Internet sobre Geografía y Ciencias Sociales*, 26. (2022).
- AERTS, Raf; HONNAY, Olivier. Forest restoration, biodiversity and ecosystem functioning. **BMC Ecology**, v. 11, n. 1, p. 1-10, 2011.
- ALENCAR, P. H. L., de ARAÚJO, J. C., & DOS SANTOS TEIXEIRA, A. Physically based model for gully simulation: Application to the Brazilian semiarid region. **Hydrology and Earth System Sciences**, 24(8), 4239-4255. (2020).
- ALENCAR, P., SIMPLICIO, A. A. F., & DE ARAÚJO, J. C. Shear Stress in Open Channels with the Principle of Minimum Cross-Entropy and Implementation on Gully Erosion Modelling. In **AGU Fall Meeting Abstracts**, Vol. 2022, pp. H22N-0980. (2022, December).
- ALMEIDA FILHO, Gerson Salviano de; GAMA JÚNIOR, Geraldo Figueiredo de. Processos erosivos hídricos lineares dos tipos ravina e boçoroca. *In: MACHADO, Felipe Santana; MOURA, Aloysio Souza de. Educação, Meio Ambiente e Território 3*. Ponta Grossa: Atena, 2019. Cap.9, p. 91-99.
- ALVALA, Regina et al. Drought monitoring in the Brazilian Semiarid region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 91, 2017.
- ANDRADE, D. C. et al. Land-use dynamic and ecosystem services valuation: guidelines for environmental policies. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 25, p. 53-71, 2012.
- ANDRADE, Gilberto Fugimoto de; SANCHEZ, Gabriela Fernandez; ALMEIDA, Josimar Ribeiro. Monitoramento e avaliação em projetos de recuperação de áreas degradadas. **Revista Internacional de Ciências**, v. 4, n. 2, p. 13-26, 2014.
- ASA - Articulação Semiárido Brasileiro. **ASA cobra validação dos dados e adiamento para 2023 da portaria sobre a nova delimitação do Semiárido**. Disponível em: https://www.asabrasil.org.br/noticias?artigo_id=11242. Acesso em: 25/10/2023 às 14:28.
- BALENSIEFER, Mauricio et al. SER international primer on ecological restoration. **Society for Ecological Restoration, Washington**, 2004.
- BARRETO-NETO, Aurélio Azevedo; MARCHESI, Anthony Fabríz. Avaliação da vulnerabilidade socioambiental à desertificação no estado do Espírito Santo, Brasil. **Brazilian Journal of Environmental Sciences (RBCIAMB)**, n. 51, p. 28-40, 2019.
- BASTIN, Jean-François et al. The extent of forest in dryland biomes. **Science**, v. 356, n. 6338, p. 635-638, 2017.

BEARD, S., FREEMAN, K., VELASCO, M. L., BOYD, W., CHAMBERLAIN, T., LATONI, A., ... & Dixon, D. Racism as a public health issue in environmental health disparities and environmental justice: working toward solutions. **Environmental Health**, 23(1), 8. (2024).

BELHO, K., RAWAT, M. S., & RAWAT, P. K. Anthropogenic climate change accelerating monsoon hydrological hazards in Northeastern Himalayan region of India: geospatial approach. **Arabian Journal of Geosciences**, 17(2), 67. (2024).

BELGACEM, Azaiez O. et al. Revival of traditional best practices for rangeland restoration under climate change in the dry areas: A case study from Southern Tunisia. **International Journal of Climate Change Strategies and Management**, v. 11, n. 5, p. 643-659, 2019.

BENAYAS, José M. Rey; BULLOCK, James M.; NEWTON, Adrian C. Creating woodland islets to reconcile ecological restoration, conservation, and agricultural land use. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 6, n. 6, p. 329-336, 2008.

BORGES, Camilla K. et al. Seasonal variation of surface radiation and energy balances over two contrasting areas of the seasonally dry tropical forest (Caatinga) in the Brazilian semi-arid. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 192, p. 1-18, 2020.

BURRELL, A. L.; EVANS, J. P.; DE KAUWE, M. G. Anthropogenic climate change has driven over 5 million km² of drylands towards desertification. **Nature Communications**, v. 11, n. 1, p. 3853, 2020.

BRANCALION, Pedro H. S. et al. Análise crítica da Lei de Proteção da Vegetação Nativa (2012), que substituiu o antigo Código Florestal: atualizações e ações em curso. **Natureza & Conservação**, v. 14, p. e1-e16, 2016.

BRASIL. **Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, par. 1º, incisos i, ii, iii e vii da Constituição Federal, institui o sistema nacional de unidades de conservação da natureza e dá outras providências. Diário Oficial da União, publicado no dia 19 de julho de 2000, P. 1.

BROCKERHOFF, Eckehard G. et al. Forest biodiversity, ecosystem functioning and the provision of ecosystem services. **Biodiversity and Conservation**, v. 26, p. 3005-3035, 2017.

BRUINS, Hendrik J. Ancient desert agriculture in the Negev and climate-zone boundary changes during average, wet and drought years. **Journal of Arid Environments**, v. 86, p. 28-42, 2012.

CAMPOS, Suany et al. Closure and partitioning of the energy balance in a preserved area of a Brazilian seasonally dry tropical forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 271, p. 398-412, 2019.

CARVALHO, Newton de Oliveira. **Hidrossedimentologia prática**. 2. ed. rev. atual. e ampliada. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

CASTILLO-ESCRIVÀ, Andreu et al. The use of branch piles to assist in the restoration of degraded semiarid steppes. **Restoration Ecology**, v. 27, n. 1, p. 102-108, 2019.

CHEN, Die et al. Response of soil nutrients to terracing and environmental factors in the Loess Plateau of China. **Geography and Sustainability**, 2024.

COSTA, P. da *et al.* **Recuperação de áreas degradadas e restauração ecológica de ecossistemas: definições e conceitos**. 2005.

COSTA, T. C., de OLIVEIRA, M. A., ACCIOLY, L. J. D. O., & DA SILVA, F. H. Análise da degradação da Caatinga no núcleo de desertificação do Seridó (RN/PB). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 13, 961-974. 2009.

COSTA, J. A., NAVARRO-HEVIA, J., COSTA, C. A. G., & DE ARAUJO, J. C. Temporal dynamics of evapotranspiration in semiarid native forests in Brazil and Spain using remote sensing. **Hydrological Processes**, 35(3), e14070. 2021.

COSTA, J. A., VELLAME, L. M., COSTA, C. A. G., NAVARRO-HEVIA, J., DE LACERDA, C. F., DE FIGUEIREDO, J. V., & DE ARAÚJO, J. C. Water storage of a typical tree species in the Caatinga biome (*Caesalpinia pyramidalis* Tul.). **Hydrological Processes**, 37(8), e14970. 2023.

COOKE, G. Dennis. Ecosystem rehabilitation. **Lake and Reservoir Management**, v. 21, n. 2, p. 218-221, 2005.

CUI, Linlin et al. Analyzing coastal wetland degradation and its key restoration technologies in the coastal area of Jiangsu, China. **Wetlands**, v. 38, p. 525-537, 2018.

CRIPPA, M., Guizzardi, D., Pagani, F., Banja, M., Muntean, M., Schaaf E., Becker, W., Monforti-Ferrario, F., Quadrelli, R., Risquez Martin, A., Taghavi-Moharamli, P., Köykkä, J., GRASSI, G., ROSSI, S., BRANDÃO DE MELO, J., OOM, D., BRANCO, A., SAN-MIGUEL, J., VIGNATI, E., **Emissões de GEE de todos os países do mundo, Serviço de Publicações da União Europeia, Luxemburgo**, 2023, doi:10.2760/953322, JRC134504.

CRITCHLEY, William; HARARI, Nicole; MEKDASCHI-STUDER, Rima. **Restoring life to the land: The role of sustainable land management in ecosystem restoration**. UNCCD and WOCAT, 2021.

DATRY, T., BOULTON, A. J., FRITZ, K., STUBBINGTON, R., CID, N., CRABOT, J., & TOCKNER, K. Non-perennial segments in river networks. **Nature Reviews Earth & Environment**, 1-16. 2023.

DA SILVA, Pedro Carlos Gama et al. **Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos**. 2010.

DA SILVA, Bruno Fonseca et al. Evaluating the temporal patterns of land use and precipitation under desertification in the semi-arid region of Brazil. **Ecological Informatics**, v. 77, p. 102192, 2023.

DA SILVA, Danilo Ferreira et al. Arbuscular mycorrhizal fungi community in soils under desertification and restoration in the Brazilian semiarid. **Microbiological Research**, v. 264, p. 127161, 2022.

DE ARAÚJO, J. C., & BRONSTERT, A. A method to assess hydrological drought in semi-arid environments and its application to the Jaguaribe River basin, Brazil. **Water International**, 41(2), 213-230. 2016.

DE ARAÚJO FILHO, J. C. et al. **Solos do Semiárido: características e estoque de carbono**. 2022.

DE FIGUEIREDO, J. V., DE ARAÚJO, J. C., MEDEIROS, P. H. A., & COSTA, A. C. Runoff initiation in a preserved semiarid Caatinga small watershed, Northeastern Brazil. **Hydrological Processes**, 30(13), 2390-2400. 2016.

DE GROOT, Rudolf S.; WILSON, Matthew A.; BOUMANS, Roelof MJ. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. **Ecological Economics**, v. 41, n. 3, p. 393-408, 2002.

DE SOUZA OLIVEIRA FILHO, José et al. Assessing the effects of 17 years of grazing exclusion in degraded semi-arid soils: evaluation of soil fertility, nutrients pools and stoichiometry. **Journal of Arid Environments**, v. 166, p. 1-10, 2019.

DUFFY, J. Emmett. Why biodiversity is important to the functioning of real-world ecosystems. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 7, n. 8, p. 437-444, 2009.

FARIAS, T. R. L., MEDEIROS, P. H. A., NAVARRO-HEVIA, J., & DE ARAÚJO, J. C. Unpaved rural roads as source areas of sediment in a watershed of the Brazilian semi-arid region. **International Journal of Sediment Research**, 34(5), 475-485. 2019.

FERREIRA, Rosaria R. et al. An assessment of the MOD17A2 gross primary production product in the Caatinga biome, Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, v. 42, n. 4, p. 1275-1291, 2021.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. Oficina de textos, 2016.

FORSTALL-SOSA, Karla Selene et al. Soil macroarthropod community and soil biological quality index in a green manure farming system of the Brazilian semi-arid. **Biologia**, v. 76, n. 3, p. 907-917, 2021.

FORZZA, Rafaela Campostrini et al. **Catálogo de plantas e fungos do Brasil**. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2010.

GAISER, T. *et al.* (Eds.). **Global change and regional impacts: Water availability and vulnerability of ecosystems and society in the semiarid Northeast of Brazil**. Springer Science & Business Media. 2003.

GREVE, Peter et al. The aridity index under global warming. **Environmental Research Letters**, v. 14, n. 12, p. 124006, 2019.

GUO, Yafei *et al.* Prolonged flooding followed by drying increase greenhouse gas emissions differently from soils under grassland and arable land uses. **Geoderma Regional**, v. 34, p. e00697, 2023.

GUERRA, M. D. F., SOUZA, M. J. N., & LUSTOSA, J. P. G. Desertificação em áreas semiáridas do nordeste brasileiro: o caso do município de Jaguaribe, Ceará. **Revista Geo**, 2, 67-80. 2010.

GONG, Xiangwen et al. Quantitative assessment of the contributions of climate change and human activities on vegetation degradation and restoration in typical ecologically fragile areas of China. **Ecological Indicators**, v. 144, p. 109536, 2022.

HE, Songtang et al. Guidelines for integrating ecological and biological engineering technologies for control of severe erosion in mountainous areas—A case study of the Xiaojiang River Basin, China. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 5, n. 4, p. 335-344, 2017.

HOLL, Karen D.; AIDE, T. Mitchell. When and where to actively restore ecosystems?. **Forest Ecology and Management**, v. 261, n. 10, p. 1558-1563, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.07.004>. Acesso em: 21 de abril de 2023.

HOOVER, David L. et al. **Traversing the wasteland: a framework for assessing ecological threats to drylands**. *BioScience*, v. 70, n. 1, p. 35-47, 2020.

HU, Jinjiao et al. Effects of ecological restoration measures on vegetation and soil properties in semi-humid sandy land on the southeast Qinghai-Tibetan Plateau, China. **Global Ecology and Conservation**, v. 33, p. e02000, 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Edição 2022. Rio de Janeiro. Disponível em: *Semiárido Brasileiro | IBGE*. Acesso em: 19 de fevereiro de 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Brasil em Síntese. **Brasil em Síntese**, [s.d.]. Disponível em: <https://brasilemsintese.ibge.gov.br/territorio.html>. Acesso em: 12 fev. 2023.

JESUS, Djalma Santos *et al.* Soil pedestal dating in the degraded Salitre River basin in the northeast of Bahia, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 118, p. 103978, 2022.

KUHN, Caiubi Emanuel Souza et al. Ravines and gullies, a review about impact valuation. **Natural Hazards**, v. 117, n. 1, p. 597-624, 2023.

KUMAR, B. Pradeep *et al.* Geo-environmental monitoring and assessment of land degradation and desertification in the semi-arid regions using Landsat 8 OLI/TIRS, LST, and NDVI approach. **Environmental Challenges**, v. 8, p. 100578, 2022.

LA, Nguyen *et al.* Agroforestry with contour planting of grass contributes to terrace formation and conservation of soil and nutrients on sloping land. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 345, p. 108323, 2023.

LAL, Rattan. Sequestro de carbono em ecossistemas de terras áridas. **Gestão ambiental**, v. 33, pág. 528-544, 2004.

LEAL, Inara R. et al. Changing the course of biodiversity conservation in the Caatinga of northeastern Brazil. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 701-706, 2005.

LIMA, Rafael Dantas *et al.* Disparate biomes within the Caatinga region are not part of the same evolutionary community: A reply to Araujo *et al.* (2022). **Journal of Arid Environments**, v. 209, p. 104901, 2023.

LIMA, Rafael Dantas. **Birds of the Caatinga revisited: the problem of enclaves within, but not of, the Caatinga**. *Journal of Arid Environments*, v. 191, p. 104537, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104537>. Acesso em: 12 de junho de 2023.

LOUHAICHI, Mounir et al. Rangeland biodiversity and climate variability: Supporting the need for flexible grazing management. **Sustainability**, v. 13, n. 13, p. 7124, 2021.

LOVICH, Jeffrey E.; BAINBRIDGE, David. Anthropogenic degradation of the southern California desert ecosystem and prospects for natural recovery and restoration. **Environmental management**, v. 24, p. 309-326, 1999.

MACEDO, M. O. et al. Changes in soil C and N stocks and nutrient dynamics 13 years after recovery of degraded land using leguminous nitrogen-fixing trees. **Forest Ecology and Management**, v. 255, n. 5-6, p. 1516-1524, 2008.

MARENGO, J. A., TORRES, R. R., & ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, 129, 1189-1200. 2017.

MARIOTI, Juliana et al. Water erosion from no-tillage corn and soybean sown along and perpendicularly to the contour lines, compared with bare fallow soil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1361-1371, 2013.

MAESTRE, Fernando T. et al. **Plant species richness and ecosystem multifunctionality in global drylands**. *Science*, v. 335, n. 6065, p. 214-218, 2012.

MAESTRE, Fernando T. *et al.* **Structure and functioning of dryland ecosystems in a changing world**. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*, v. 47, p. 215-237, 2016.

MAESTRE, Fernando T. *et al.* Biogeography of global drylands. **New Phytologist**, v. 231, n. 2, p. 540-558, 2021.

MAGALHÃES, Karla do Nascimento et al. Medicinal plants of the Caatinga, northeastern Brazil: Ethnopharmacopeia (1980–1990) of the late professor Francisco José de Abreu Matos. **Journal of ethnopharmacology**, v. 237, p. 314-353, 2019.

MAGAJU, Christine *et al.* Assessing context-specific factors to increase tree survival for scaling ecosystem restoration efforts in East Africa. **Land**, v. 9, n. 12, p. 494, 2020.

MARQUES, Thiago V. et al. Environmental and biophysical controls of evapotranspiration from Seasonally Dry Tropical Forests (Caatinga) in the Brazilian Semiarid. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 287, p. 107957, 2020.

MCKENNA, Owen P.; SALA, Osvaldo E. Groundwater recharge in desert playas: current rates and future effects of climate change. **Environmental Research Letters**, v. 13, n. 1, p. 014025, 2017.

MILLENNIUM ECOSYSTEM et al. **Ecosystems and human well-being**. 2005.

MENDES, Keila R. et al. Seasonal variation in net ecosystem CO₂ exchange of a Brazilian seasonally dry tropical forest. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 9454, 2020.

MENGISTU, Tefera *et al.* The role of enclosures in the recovery of woody vegetation in degraded dryland hillsides of central and northern Ethiopia. **Journal of arid environments**, v. 60, n. 2, p. 259-281, 2005.

MESSAGER, M. L., LEHNER, B., COCKBURN, C., LAMOUREUX, N., PELLA, H., SNELDER, T., ... & DATRY, T. Global prevalence of non-perennial rivers and streams. **Nature**, 594(7863), 391-397. 2021.

MISHRA, Ashok K.; SINGH, Vijay P. A review of drought concepts. **Journal of Hydrology**, v. 391, n. 1-2, p. 202-216, 2010.

MUTTI, Pedro R. *et al.* NDVI time series stochastic models for the forecast of vegetation dynamics over desertification hotspots. **International Journal of Remote Sensing**, v. 41, n. 7, p. 2759-2788, 2020.

NAVARRO-HEVIA, J., LIMA-FARIAS, T. R., DE ARAÚJO, J. C., OSORIO-PELÁEZ, C., & PANDO, V. Soil erosion in steep road cut slopes in Palencia (Spain). **Land Degradation & Development**, 27(2), 190-199. 2016.

NEVES, Laércio Vieira de Melo Wanderley et al. Weathering of gneiss saprolites and formation of Planosols under semiarid climate (NE Brazil). **Journal of South American Earth Sciences**, v. 123, p. 104206, 2023.

NYTCH, Christopher J. et al. Effects of historical land use and recovery pathways on composition, structure, ecological function, and ecosystem services in a Caribbean secondary forest. **Forest Ecology and Management**, v. 546, p. 121311, 2023.

ODUM, Eugene P. **Fundamentos de ecologia**. 2001.

OLIVEIRA, José Gerardo Beserra de; SALES, Marta Celina Linhares. **Monitoramento da desertificação em Irauçuba**. 2015.

PENNINGTON, R. Toby; LAVIN, Matt; OLIVEIRA-FILHO, Ary. Woody plant diversity, evolution, and ecology in the tropics: perspectives from seasonally dry tropical forests. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 40, p. 437-457, 2009.

PEREIRA, Silvio B; PRUSKI, Fernando F; SILVA, Demetrius D. da; MATOS, Antonio T. de. Desprendimento e arraste do solo pelo escoamento superficial. Engenharia de Irrigação e Drenagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 3, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662003000300003>. Acesso em: 10 de maio de 2023.

PEREZ-MARIN, Aldrin Martin et al. **Núcleos de desertificação no semiárido brasileiro: ocorrência natural ou antrópica?** 2012.

PINHEIRO, E. A., COSTA, C. A. G., & DE ARAÚJO, J. C. Effective root depth of the Caatinga biome. **Journal of Arid Environments**, 89, 1-4. 2013.

POLASKY, Stephen et al. The impact of land-use change on ecosystem services, biodiversity and returns to landowners: a case study in the state of Minnesota. **Environmental and Resource Economics**, v. 48, p. 219-242, 2011.

PRACH, Karel; WALKER, Lawrence R. Four opportunities for studies of ecological succession. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 26, n. 3, p. 119-123, 2011.

RANI, J.; PAUL, B. **Challenges in arid region reclamation with special reference to Indian Thar Desert—its conservation and remediation techniques.** International Journal of Environmental Science and Technology, p. 1-22, 2023.

REFATI, Daiana Caroline et al. Influence of drought and anthropogenic pressures on land use and land cover change in the Brazilian semiarid region. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 126, p. 104362, 2023.

RUBIRA¹, Felipe Gomes; DE MELO, Georgea do Vale; DE OLIVEIRA, Filipe Kallás Suhadolnik. Proposta de padronização dos conceitos de erosão em ambientes úmidos de encosta. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 33, n. 1, 2016.

SANTOS, Carlos A. C et al. Spatio-temporal patterns of energy exchange and evapotranspiration during an intense drought for drylands in Brazil. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 85, p. 101982, 2020.

SATHLER, Douglas. Understanding human development, poverty and water scarcity patterns in the Brazilian Semi-arid through cluster analysis. **Environmental Science & Policy**, v. 125, p. 167-178, 2021.

STEVENS, Carly J. et al. The effects of minimal tillage, contour cultivation and in-field vegetative barriers on soil erosion and phosphorus loss. **Soil and Tillage Research**, v. 106, n. 1, p. 145-151, 2009.

SIMPLICIO, A. A., COSTA, C. A., NAVARRO-HEVIA, J., & DE ARAUJO, J. C. Erosion at hillslope and micro-basin scales in the Gilbués desertification region, Northeastern Brazil. **Land Degradation & Development**, 32(3), 1487-1499. 2021.

SCHIMEL, David S. Arids in the Earth System. **Ciência**, v. 327, n. 5964, p. 418-419, 2010.

SCHULZE, Ernst-Detlef; MOONEY, Harold A. (Ed.). **Biodiversity and ecosystem function.** Springer Science & Business Media, 2012.

SENA, Liana Maria Mendes de. **Conheça e Conserve a Caatinga - O bioma Caatinga.** Vol. 1. Fortaleza: Associação Caatinga, 2011.

SHEYDDER-DE-O-LOPES, L., & CELESTINO-SOARES, R. Suscetibilidade à desertificação das terras secas de Gilbués (Estado do Piauí) e Cabrobó (Estado do Pernambuco), nordeste do Brasil. **Revista Geográfica de América Central**, 1(56), 307-323, 2016.

SILVA, Paulo Ferreira et al. Seasonal patterns of carbon dioxide, water and energy fluxes over the Caatinga and grassland in the semi-arid region of Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 147, p. 71-82, 2017.

SILVA, Jéssica Luiza S. et al. Reproductive functional organization of woody plant assemblages along regeneration in a Caatinga dry forest. **Forest Ecology and Management**, v. 533, p. 120852, 2023.

SORENSEN, L. **A spatial analysis approach to the global delineation of dryland areas of relevance to the CBD Programme of work on dry and sub-humid lands**. UNEP-WCMC: Cambridge, UK, 2007.

SOUSA, R. F. et al. Vulnerabilidades e impactos socioeconômicos e ambientais em municípios do Cariri Paraibano. **Engenharia Ambiental**, v. 5, n. 3, p. 63-78, 2008.

SOUZA, Rodolfo et al. Vegetation response to rainfall seasonality and interannual variability in tropical dry forests. **Hydrological Processes**, v. 30, n. 20, p. 3583-3595, 2016.

SUDENE - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Delimitação do Semiárido 2021**. Disponível em: <https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/02semiaridorelatorionv.pdf>. Acesso em: 25/10/2023 às 14:54.

TEIXEIRA, A. H. DE C. et al. Analysis of energy fluxes and vegetation-atmosphere parameters in irrigated and natural ecosystems of semi-arid Brazil. **Journal of Hydrology**, v. 362, n. 1-2, p. 110-127, 2008.

TILMAN, David; ISBELL, Forest; COWLES, Jane M. Biodiversity and ecosystem functioning. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 45, p. 471-493, 2014.

TRAVASSOS, Ibrahim Soares; DE SOUZA, Bartolomeu Israel. Solos e desertificação no sertão paraibano. **Cadernos do Logepa**, v. 6, n. 2, p. 101-114, 2011.

UNITED NATION CONVENTION TO COMBAT DESERTIFICATION - UNCCD. United nations convention to combat desertification in those countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa. **Política e Direito Ambiental**, v. 24, p. 1, 1994.

UNITED NATION CONVENTION TO COMBAT DESERTIFICATION - UNCCD. **Global Land Outlook**. Land Restoration for Recovery and Resilience. 2. ed. UNCCD, 2022.

VELOSO, Agnes L. et al. **Ecorregiões propostas para o Bioma Caatinga**. Recife: Associação plantas do nordeste; Instituto de Conservação Ambiental The Nature Conservancy do Brasil, 2002.

WALI, Mohan K. Ecological succession and the rehabilitation of disturbed terrestrial ecosystems. **Plant and soil**, v. 213, n. 1, p. 195-220, 1999.

WANG, Zhenghong et al. Land use intensification in a dry-hot valley reduced the constraints of water content on soil microbial diversity and multifunctionality but increased CO₂ production. **Science of the Total Environment**, v. 852, p. 158397, 2022.

WERNECK, Fernanda P. The diversification of eastern South American open vegetation biomes: historical biogeography and perspectives. **Quaternary Science Reviews**, v. 30, n. 13-14, p. 1630-1648, 2011.

WU, Bingfang et al. Essential dryland ecosystem variables. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 48, p. 68-76, 2021.

YAO, Ying et al. Greater increases in China's dryland ecosystem vulnerability in drier conditions than in wetter conditions. **Journal of Environmental Management**, v. 291, p. 112689, 2021.