



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA



DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS

PÓS-GRADUAÇÃO EM

MODELAGEM EM CIÊNCIAS DA TERRA E DO AMBIENTE

ANTONIO EUDES LIMA DA CRUZ

NEUTRALIDADE DA DEGRADAÇÃO DA TERRA:

DE ONDE VEM, PARA ONDE VAI?

Análise dos Indicadores Biofísicos e Metodologias de Avaliação
da Degradação de Terras e da Desertificação (LDD)

FEIRA DE SANTANA

2020

ANTONIO EUDES LIMA DA CRUZ

**NEUTRALIDADE DA DEGRADAÇÃO DA TERRA (LDN):
DE ONDE VEM, PARA ONDE VAI?**

Análise dos Indicadores Biofísicos e Metodologias de Avaliação
da Degradação de Terras e da Desertificação (LDD)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem e Ciências da Terra e do Ambiente - PPGM, da Universidade Estadual de Feira de Santana (PPGM – UEFS), como requisito avaliativo para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Dr. Rodrigo Nogueira de Vasconcelos
Co-orientador: Dr. Washington de J. S. da Franca Rocha

FEIRA DE SANTANA

2020

Ficha catalográfica - Biblioteca Central Julieta Carteadó - UEFS

Cruz, Antonio Eudes Lima da

C96n Neutralidade da Degradação da Terra: de onde vem, para onde vai?; análise dos indicadores biofísicos e metodologias de avaliação da Degradação de Terras e da Desertificação (LDD) / Antonio Eudes Lima da Cruz. - 2020.
183f.: il.

Orientador: Rodrigo Nogueira de Vasconcelos

Coorientador: Washington de Jesus Sant'Anna da Franca Rocha

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Feira de Santana. Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente, 2020.

1. Degradação da terra. 2. Desertificação. 3. Neutralidade de Degradação da Terra (LDN). 4. Indicadores biofísicos. I. Vasconcelos, Rodrigo Nogueira de, orient. II. Rocha, Washington de Jesus Sant'Anna da Franca, coorient. III. Universidade Estadual de Feira de Santana. Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente.
IV. Título.

CDU: 551.435.77

Antônio Eudes Lima da Cruz

“DEGRADAÇÃO NEUTRA DE TERRAS: DE ONDE VEM, PARA ONDE VAI? ANÁLISE DOS INDICADORES BIOFÍSICOS E METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE TERRAS E DA DESERTIFICAÇÃO”

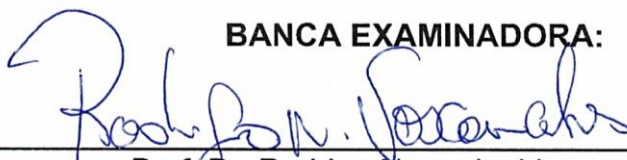
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente da Universidade Estadual de Feira de Santana.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Nogueira Vasconcelos.

Linha de Pesquisa: Estudos Ambientais e Geotecnologias.

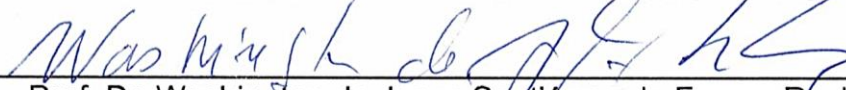
Data de aprovação: 30 de Abril de 2020.

BANCA EXAMINADORA:



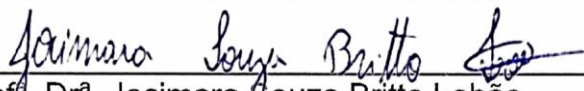
Prof. Dr. Rodrigo Nogueira Vasconcelos

Universidade Estadual de Feira de Santana - UEFS



Prof. Dr. Washington de Jesus Sant'Anna da Franca Rocha

Universidade Estadual de Feira de Santana - UEFS



Prof. Dr.ª Jocimara Souza Brito Lobão

Universidade Estadual de Feira de Santana - UEFS

DEDICATÓRIA

*À minha mãe, dona Zezete, mulher forte e incansável lutadora, que
me deu as condições necessárias para a formação de meu caráter,
dedico a minha vida e todo o meu amor!*

*“A Terra provê o suficiente para satisfazer a necessidade de cada homem, mas não a
ganância de cada homem.”*

Mahatma Gandhi

AGRADECIMENTOS

Minha gratidão primeira a Deus, razão suprema da minha existência, por ter me concedido o dom da vida, embora cheia de percalços, mas imensamente repleta de alegrias e vitórias. A Ele, também, por estar sempre ao meu lado, protegendo-me e dando-me força e perseverança para seguir em busca de meus sonhos, objetivos e caminhos.

À minha família, por cuidar de mim e por todo o apoio e compreensão de minhas ausências e correria, sempre torcendo pela minha felicidade e sucesso.

Ao meu querido amigo Elias Marcio, parceiro, ouvinte, confidente e conselheiro, com quem dividi este projeto desde o início até o seu final. Muito obrigado por toda a sua parceria!

Aos meus queridos amigos-irmãos: Amilton, Bruno, Clécio, Daniel, Izuze e Natan (sem ordem hierárquica), pela compreensão de minha "presença ausente", por todo o carinho, apoio, torcida e motivação, especialmente em meus momentos de desânimo, frustração e cansaço. Muito obrigado por vibrarem com minhas conquistas e ficarem felizes quando estou feliz. Amo vocês!

Ao Professor Dr. Rodrigo Nogueira de Vasconcelos – UEFS, pela orientação científica rigorosa, pelo incentivo constante, pela paciência e dedicação inestimável durante as fases de realização da pesquisa.

À coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente (PPGM), da Universidade Estadual de Feira de Santana (BA), a Profa. Dra. Jocimara Britto Lobão, pelo constante incentivo e apoio prestado aos mestrandos.

Aos professores do PPGM – UEFS, que compartilham seus conhecimentos com os alunos, apontam caminhos e oportunidades, sempre dispostos a ajudar no nosso desenvolvimento.

Agradeço aos professores que aceitaram e se dispuseram a contribuir com esta pesquisa ao compor as bancas de acompanhamento, qualificação e defesa: Deórgia Tayane Mendes de Souza, Prof. Dr. Washington de Jesus S. F. Rocha e Profa. Dra. Jocimara Britto Lobão, por todas as colaborações ao longo do trabalho, pelas orientações e contribuições essenciais nos exames de qualificação.

A todos os colegas da Turma XII do PPGM – UEFS, especialmente à querida Naiara Mota, pela amizade e pelo compartilhamento de conhecimentos e emoções no decorrer dessa fase de transição pessoal e profissional de nossas vidas.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), pela concessão da bolsa de Mestrado, apoio importante para a realização integral desta pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Brasil, pelo investimento vital em pesquisa e na formação de recursos humanos, que impulsiona o desenvolvimento científico e tecnológico do nosso país. Sou grato por ter sido um de seus beneficiários.

Aos funcionários da Secretaria do PPGM – UEFS, em especial a Diego Freitas Leite de Almeida, pela atenção dispensada, sempre disposto a ajudar e resolver qualquer problema com presteza.

Às minhas eternas professoras de Pé de Serra: Ana Laura, Rosa Virgínia, Taninha, Quitéria e Diva (sem hierarquia), para quem sou um eterno menino. Muito obrigado pelos ensinamentos e por sua contribuição inestimável para minha formação intelectual, ética e moral. Obrigado pelo cuidado, carinho e amor. Sou parte de vocês!

À Gestão das escolas em que trabalho, em Pé de Serra e Conceição de Coité, pela compreensão, pelas palavras de apoio e incentivo nos meus momentos de tensão e correria, e nas minhas ausências, tranquilizando-me e fazendo-me seguir adiante na busca do meu objetivo.

Agradecimento todo especial aos meus alunos e alunas das escolas em Pé de Serra e Conceição de Coité, pela compreensão de minhas "presentes ausências" e "ausências presentes", pela torcida, estímulo e carinho incondicional.

Aos colegas e amigos de trabalho, em especial da Escola Municipal Edivaldo Machado Boaventura, no povoado de Santo Agostinho, em Pé de Serra (BA), pela compreensão, colaboração e apoio imprescindível nessa jornada acadêmica.

Aos colegas e incontáveis amigos presentes e virtuais que acompanham minha jornada de estudos, meu esforço e a luta constante em busca de conhecimento, que, mesmo indiretamente, me ajudaram com a sua amizade, carinho, motivação e críticas construtivas.

"O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001."

"This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Finance Code 001."

Muitíssimo obrigado a todos e a todas!

RESUMO

A degradação da terra e a desertificação (LDD) afetam amplas áreas secas do planeta, comprometendo a biodiversidade, os serviços ecossistêmicos e as populações mais vulneráveis. Diante da complexidade desses fenômenos, a comunidade científica busca indicadores, métodos e técnicas capazes de diagnosticar, avaliar e monitorar globalmente a LDD, com destaque para o sensoriamento remoto. Nesse cenário, este trabalho reúne dois artigos científicos que analisam o panorama global das pesquisas sobre LDD, identificando padrões de indicadores biofísicos e metodologias, e discutem a implementação da meta LDN, com foco na avaliação e no monitoramento desses processos, especialmente no semiárido do Nordeste do Brasil. O primeiro artigo analisou indicadores biofísicos e metodologias aplicadas à LDD no período de 1997 a 2019, por meio de pesquisa quali-quantitativa e análise bibliométrica em artigos da Scopus. Os resultados revelaram que: (i) a China concentra o maior número de publicações e o autor mais prolífico; (ii) o NDVI é o principal indicador de avaliação da LDD; (iii) o sensoriamento remoto constitui a ferramenta mais relevante para o diagnóstico espaço-temporal da degradação; e (iv) a metodologia MEDALUS, validada para o Mediterrâneo, é a mais utilizada nas pesquisas. A bibliometria evidenciou que um único indicador ou método é insuficiente para avaliar a complexidade dos processos de degradação e desertificação em diferentes escalas. O segundo artigo discutiu a implementação da meta da Neutralidade da Degradação da Terra (LDN), identificando lacunas conceituais, desafios metodológicos e incertezas nos indicadores biofísicos utilizados. Por meio de revisão bibliográfica integrativa e análise bibliométrica de estudos indexados na Scopus e documentos da literatura cinzenta, constatou-se que a ONU, por meio da UNCCD, tem ampliado sua preocupação com a expansão da degradação das terras, culminando na inclusão da LDN na Agenda 2030 (2015). Verificou-se, ainda, que a base conceitual e os indicadores da LDD e da LDN apresentam desafios que demandam aprofundamento científico para o efetivo alcance da meta de um mundo neutro em degradação. Em suma, os resultados dos dois artigos reforçam a necessidade de abordagens integradas, metodologias robustas e indicadores mais consistentes para compreender, monitorar e enfrentar a LDD em escala global e regional. Ao discutir tanto o estado da arte das pesquisas quanto os desafios da implementação da LDN, o trabalho contribui para ampliar o debate científico e oferecer subsídios que apoiem políticas públicas, especialmente em regiões vulneráveis como o semiárido brasileiro.

Palavras-chave: Degradação da Terra; Desertificação; Indicadores Biofísicos; Metodologias; Neutralidade da Degradação da Terra (LDN).

ABSTRACT

Land degradation and desertification (LDD) affect extensive dryland areas across the planet, compromising biodiversity, ecosystem services, and the most vulnerable populations. Given the complexity of these phenomena, the scientific community has sought indicators, methods, and techniques capable of diagnosing, assessing, and globally monitoring LDD, with remote sensing standing out as a key approach. In this context, this work brings together two scientific articles that examine the global panorama of LDD research, identifying patterns of biophysical indicators and methodologies, and discussing the implementation of the LDN target, with emphasis on evaluating and monitoring these processes, particularly in the semiarid region of Northeastern Brazil. The first article analyzed biophysical indicators and methodologies applied to LDD between 1997 and 2019 through a quali-quantitative investigation and a bibliometric analysis of Scopus-indexed publications. The results indicated that: (i) China concentrates both the highest number of publications and the most prolific author; (ii) NDVI is the main indicator used to assess LDD; (iii) remote sensing is the most relevant tool for diagnosing the spatiotemporal dynamics of land degradation; and (iv) the MEDALUS methodology, validated primarily for Mediterranean landscapes, is the most widely applied. The bibliometric analysis showed that a single indicator or method is insufficient to assess the complexity of land degradation and desertification processes across different spatial and temporal scales. The second article discussed the implementation of the Land Degradation Neutrality (LDN) target, identifying conceptual gaps, methodological challenges, and uncertainties in the biophysical indicators used. Through an integrative literature review combined with a bibliometric analysis of Scopus-indexed studies and grey literature, it was observed that the UN, through the UNCCD, has intensified its concern regarding the expansion of land degradation, culminating in the inclusion of LDN in the 2030 Agenda (2015). The findings also revealed that the conceptual framework and indicators associated with LDD and LDN present challenges that require further scientific refinement to effectively achieve the goal of a land degradation-neutral world. In summary, the results of both articles reinforce the need for integrated approaches, robust methodologies, and more consistent indicators to understand, monitor, and address LDD at global and regional scales. By discussing both the state of the art in LDD research and the challenges of LDN implementation, this work contributes to advancing scientific debate and offering insights that support public policies, especially in vulnerable regions such as the Brazilian semiarid.

Keywords: Land Degradation; Desertification; Biophysical Indicators; Methodologies; Land Degradation Neutrality (LDN).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma dos procedimentos metodológicos da pesquisa	34
Figura 2 – Linha do tempo das principais convenções e debates que discutem a desertificação, a degradação das terras e as mudanças climáticas.....	43
Figura 3 – Áreas do planeta vulneráveis à degradação da terra segundo o índice de aridez...	46
Figura 4 – Mapa de coautoria dos países com publicações sobre LDD (1997-2019).....	54
Figura 5 – Rede de coautoria entre os autores com publicações sobre indicadores biofísicos e metodologias de avaliação da LDD em escala mundial (1997-2019)	62
Figura 6 – Rede de coocorrência de palavras-chave em todas as pesquisas sobre LDD indexadas no Scopus (1997-2019).....	70
Figura 7 – Rede de coocorrência de palavras-chave em todas as pesquisas sobre LDD indexadas na Scopus (1997-2019).....	71
Figura 8 – Rede de coocorrência de palavras-chave nas pesquisas sobre LDD indexadas na Scopus (1997-2019).....	72
Figura 9 – Rede de coocorrência de palavras-chave nas pesquisas sobre LDD indexadas na Scopus (2008-2016).....	74
Figura 10 – Fluxograma metodológico da pesquisa sobre LDN	132
Figura 11 – Caminho percorrido pela ONU para reverter os processos de LDD.....	144
Figura 12 – Temas comuns na sinergia entre a UNCCD, UNCDB e UNFCCC.....	149
Figura 13 – Sinergia entre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável para alcançar um mundo neutro em degradação da terra.....	151
Figura 14 – Os elementos-chave da estrutura conceitual científica para LDN e suas inter-relações	155
Figura 15 – Indicadores da UNCCD para avaliar tendências na degradação do solo e alcançar o ODS da LDN	156

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estratégias de busca na base de dados Scopus (1997-2019)	36
Tabela 2 – Etapas e objetivos específicos do percurso metodológico.....	40
Tabela 3 – Categorias de clima de acordo com o índice de aridez.....	45
Tabela 4 – Distribuição das publicações sobre metodologias e indicadores biofísicos de LDD em terras secas, segundo as subáreas das Ciências (1997-2019)	48
Tabela 5 – Distribuição dos 10 periódicos que mais publicaram sobre indicadores biofísicos e metodologias de avaliação da LDD (1997-2019).....	50
Tabela 6 – Evolução temporal das publicações sobre LDD em escala mundial (1997–2019)	53
Tabela 7 – Os 12 institutos mundiais com maior número de publicações sobre LDD (1997-2019).....	58
Tabela 8 – Artigos mais citados sobre degradação da terra e desertificação na Scopus (1997–2019)	66
Tabela 9 – Lista de indicadores relacionados às causas ou processos de LDD nas 15 publicações com maior número de citações ns Scopus (1997-2019).....	76
Tabela 10 – Lista de metodologias utilizadas nas 15 publicações com maior número de citações sobre causas ou processos da LDD (1997-2019)	82
Tabela 11 – Evolução temporal das publicações sobre LDD (1997–2019)	87
Tabela 12 – Síntese das bases de dados e parâmetros de busca	134
Tabela 13 – Descrição simplificada das consequências biofísicas e socioeconômicas da LDD em áreas secas do planeta	139
Tabela 14 – As principais incertezas e desafios identificados nos artigos sobre LDN	160
Tabela 15 – Lacunas e desafios identificados na implementação da LDN	170

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Evolução da produção científica de artigos sobre degradação da terra e desertificação na Scopus (1966-2019).....	41
Gráfico 2 – Evolução das publicações sobre metodologias e indicadores biofísicos e degradação da terra e desertificação em terras secas (1997-2019).....	42
Gráfico 3 – Os 15 países que mais publicaram sobre indicadores biofísicos e metodologias de avaliação de LDD (1997-2019).....	57
Gráfico 4 – 10 autores com mais publicações sobre LDD (Scopus, 1997–2019)	63
Gráfico 5 –10 autores mais citados em pesquisas sobre LDD (Scopus, 1997–2019)	64

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

ASD - Área Suscetível à Desertificação

CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CCI da CE - *Joint Research Centre (JRC)* da Comissão Europeia

CCICCD - *China Committee for Implementation of the Convention to Combat Desertification*

CDB - Convenção sobre Diversidade Biológica

CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos

CNUMAD - Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento

COP - Conferência das Partes

DDP - *Drylands Development Paradigm*

DESIRE - *Desertification and Environmental Assessment and Monitoring in Drylands*

EEA - *European Environment Agency*

ELD - *Economics of Land Degradation Initiative*

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ESA - *European Space Agency*

ESAI - *Environmental Sensitive Areas Index*

FAO - *Food and Agriculture Organization of the United Nations*

FAPESB - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia

GEF - *Global Environment Facility*

GLADA - *Global Assessment of Land Degradation and Improvement*

GLADIS - *Global Land Degradation Information System*

GLASOD - *Global Assessment of Human-Induced Soil Degradation*

IAEG-SDGs - *Inter-Agency and Expert Group on SDG Indicators*

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change* / Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

IUCN - *International Union for Conservation of Nature*

JCR - *Journal Citation Reports* (Fator de Impacto de Periódicos)

LADA - *Land Degradation Assessment in Drylands*

LDD - *Land Degradation and Desertification* (Degradação da terra e desertificação)

LDN - *Land Degradation Neutrality* (Neutralidade da Degradação da Terra)

MA/MEA - *Millennium Ecosystem Assessment*

MAPBIOMAS - Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil

MEDALUS - *Mediterranean Desertification and Land Use*

MMA - Ministério do Meio Ambiente

ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

ONU - Organização das Nações Unidas

PACD - Plano de Ação Mundial de Combate à Desertificação

PAN-BRASIL - Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação

PESERA - *Pan-European Soil Erosion Risk Assessment*

PNUD - Programa de Desenvolvimento das Nações Unidas

PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

PPGM - Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente

SES - *Socio-Ecological Systems*

SIG - Sistemas de Informação Geográfica

SLM - *Sustainable Land Management* (Gestão Sustentável da Terra)

UEFS - Universidade Estadual de Feira de Santana

UNCCD - *United Nations Convention to Combat Desertification* (Convenção das Nações Unidas para o Combate a Desertificação)

UNCDB - *United Nations Convention on Biological Diversity* (Convenção sobre Diversidade Biológica)

UNEP - *United Nations Environment Programme*

UNFCCC - *United Nations Framework Convention on Climate Change* (Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima)

UNSO - *Office to Combat Desertification and Drought* (Escritório de Combate à Desertificação e Seca)

WMO - *World Meteorological Organization* / Organização Meteorológica Mundial

WOCAT - *World Conservation Approaches and Technologies*

WRI - *World Resources Institute* / Instituto de Recursos Mundiais

ZNLD - *Zero Net Land Degradation* (Degradação Líquida Zero da Terra)

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS	19
1. INTRODUÇÃO	19
1.1 OBJETIVOS	24
1.1.1 Objetivo geral	24
1.1.2 Objetivos específicos	25
1.2 QUESTÕES NORTEADORAS DA PESQUISA	25
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26
CAPÍTULO 2 – ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DE INDICADORES BIOFÍSICOS E METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DA TERRA E DESERTIFICAÇÃO (LDD) – ESCALA TEMPORAL 1997–2019	29
RESUMO	29
ABSTRACT	30
1. INTRODUÇÃO	31
2. METODOLOGIA	34
2.1 Tipo e desenho da pesquisa	35
2.2 Base de dados	35
2.3 Critérios de inclusão, exclusão e triagem de publicações	37
2.4 Fundamentação da análise bibliométrica	38
2.5 Redes com base em dados bibliográficos e textuais	38
2.6 Síntese metodológica, limitações e validade do estudo	39
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
3.1 Análise bibliométrica sobre degradação da terra e desertificação	40
3.2 A interdisciplinaridade nos estudos sobre degradação da terra e desertificação	47
3.3 Fator de impacto das revistas e periódicos de destaque	49
3.4 Evolução temporal dos países e institutos de pesquisa (1997–2019)	52
3.5 Análise relacionada aos países das publicações	54
3.6 Análise das redes de coautoria	61
3.7 Artigos de maior impacto na comunidade científica	65
3.8 Análise semântica e tendências de pesquisa sobre LDD (<i>Scopus</i> , 1997-2019)	69
3.9 Indicadores biofísicos de avaliação da degradação da terra e desertificação	75
3.10 Métodos de avaliação da degradação da terra e desertificação	81
3.11 Evolução temporal dos países e institutos de pesquisa (1997–2019)	86

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	88
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90
ANEXO 1 – OS DEZESETE OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	100
ANEXO 2 – TODOS OS TERMOS MAPEADOS PELO VOSVIEWER	103
ANEXO 3 – TERMOS QUE PERMANECERAM NAS REDES APÓS O FILTRO DE 03 COOCORRÊNCIAS NOS ARTIGOS	112
ANEXO 4 – TERMOS QUE FORAM UNIDOS.....	115
ANEXO 5 – TABELA COM INDICADORES BIOFÍSICOS E METODOLOGIAS IDENTIFICADAS NOS 54 ARTIGOS SOBRE LDD INDEXADOS NA SCOPUS	117
CAPÍTULO 3 - NEUTRALIDADE DA DEGRADAÇÃO DA TERRA (LDN): UMA REVISÃO CRÍTICA DAS LACUNAS CONCEITUAIS E DESAFIOS DE IMPLEMENTAÇÃO E MONITORAMENTO	128
RESUMO.....	128
ABSTRACT.....	129
1. INTRODUÇÃO	130
2. METODOLOGIA	132
2.1 Estrutura metodológica e etapas da pesquisa.....	132
2.2 Caracterização da pesquisa	133
2.3 Etapa 1 – Planejamento e definição da estratégia de busca	133
2.4 Etapa 2 – Revisão integrativa e triagem de documentos	134
2.5 Etapa 3 – Aplicação dos critérios de inclusão e exclusão.....	134
2.6 Etapa 4 – Análise bibliométrica e construção das redes científicas.....	135
2.7 Etapa 5 – Análise temática integrada e síntese dos resultados	136
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	136
3.1 Degradação da terra: uma ameaça global para biodiversidade e desenvolvimento sustentável.....	136
3.1.1 Discutindo os processos: degradação da terra, degradação do solo e desertificação	136
3.1.2 Causas e impactos da degradação das terras	138
3.1.3 Mudanças climáticas, degradação da terra e qualidade do solo	142
3.1.4 A ONU e o combate à degradação da terra	144
3.2 Neutralidade da Degradação do Solo (LDN): a próxima etapa de esforços internacionais para combater a desertificação	148

3.2.1 Neutralidade da Degradação da Terra (LDN) como meta dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável	147
3.2.2 Conceito de LDN e indicadores de avaliação da terra	152
3.2.3 Incertezas e desafios na implementação da LDN	159
3.2.4 Indicadores institucionais de monitoramento da LDD	168
3.2.5 Situação do Brasil na implementação da LDN	170
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	172
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	174
CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	184

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1. INTRODUÇÃO

A degradação da terra tem se constituído, ao longo das décadas, em um dos mais graves problemas ambientais e sociais enfrentados pela humanidade. Isso porque esse fenômeno afeta os meios de subsistência, a biodiversidade e causa impactos substanciais em muitos sistemas ecossistêmicos, enquanto exacerba mudanças climáticas e, finalmente, afeta o bem-estar de cerca de 1,5 bilhão de pessoas em todo o mundo (NACHTERGAELE et al., 2010; LAL et al., 2012, ELD 2015). A degradação da terra, além de ameaçar a biodiversidade, representa um entrave estrutural ao cumprimento da Agenda 2030, tornando-se um desafio urgente para governos, cientistas e sociedade civil.

A problemática relacionada ao fenômeno da degradação da terra inicia-se com a amplitude conceitual do termo degradação, frequentemente utilizado de forma genérica para englobar uma ampla gama de condições da terra, como a desertificação, a salinização, a erosão, a compactação, dentre outros problemas, o que dificulta uma estimativa precisa de tal processo (GIBBS; SALMON, 2015).

Segundo o conceito adotado pela Convenção das Nações Unidas para o Combate a Desertificação (UNCCD), entende-se por degradação da terra a redução ou perda da produtividade biológica ou econômica, assim como da complexidade das terras agrícolas irrigadas ou áreas de pastagens, bosques e terras com vegetação nativa, em zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultantes de usos da terra ou de um processo ou combinação de processos decorrentes de atividades humanas (UNCCD 2015c; AYNEKULU et al., 2017). Esses dados reforçam que a degradação da terra é um fenômeno de natureza multidimensional, cuja compreensão exige abordagens integradas e interdisciplinares.

A terceira edição do Atlas Mundial de Desertificação indicou que não é possível mapear deterministicamente a extensão global da degradação da terra e seu subconjunto, a desertificação, pois a complexidade das interações entre sistemas sociais, econômicos e ambientais torna a degradação da terra não passível de mapeamento em escala global (CHERLET et al., 2018).

Por outro lado, a *Global Assessment of Soil Degradation* (GLASOD) indica que, globalmente, aproximadamente 20% dos solos em áreas secas estão degradados, 17% estão moderadamente e levemente degradados, enquanto mais de 2,5% estão fortemente degradados (GIBBS; SALMON, 2015). Nesse sentido, observa-se que as regiões que mais sofrem com o

processo de degradação da terra são a Ásia, com aproximadamente 370 milhões de hectares de terras secas degradadas, e a África, com cerca de 319 milhões de hectares de terras degradadas; o continente americano possui aproximadamente 279 milhões de hectares de terras secas degradadas (GIBBS; SALMON, 2015). A *Food and Agriculture Organization* (FAO) aponta que, mantendo-se os atuais modelos de uso e ocupação de terra, no ano de 2025, cerca de 25% das terras agricultáveis em todo o planeta estarão em estado de degradação (FAO, 2011). Esses dados são ainda mais preocupantes nas regiões áridas e semiáridas, onde cerca de 69% das terras úteis para a agricultura sofrem com a erosão e, consequentemente, com a degradação (SALVATI et al., 2009). Nesses ambientes mais sensíveis, a degradação, associada às intensas atividades humanas, atinge seu limite com a desertificação (BRASIL, 2004).

A UNCCD definiu desertificação como a degradação das terras das regiões áridas, semiáridas e subúmidas, resultante de diferentes fatores e vetores, incluindo as variações climáticas e as atividades humanas (UNCCD, 2015; MAPBIOMAS, 2018). Estão ligadas a esse conceito as degradações do solo, da fauna, da flora e dos recursos hídricos. No caso do solo, sua degradação resulta de processos naturais (MEADOWS; HOFFMAN, 2003; EU, 2011; WEBB et al., 2017; DHARUMARAJAN et al., 2019), que podem ser induzidos ou catalisados pelo homem, por meio de práticas de uso e ocupação (CUNHA et al., 2013; SPALEVIC et al., 2014; MATANO et al., 2015; WANJALA; KINYANJUI, 2016).

O processo de desertificação afeta todo o planeta, principalmente, o norte-nordeste e o sul do continente africano (Sahel), a porção centro-meridional da Eurásia (destaque para a China), a porção ocidental da América do Sul e os Estados Unidos e a Austrália (ROSÁRIO, 2004). No Brasil, as regiões semiáridas e subúmidas estão localizadas principalmente na região Nordeste, porém, estudos recentes indicam que outras regiões brasileiras também podem ser enquadradas nestas zonas climáticas (MAPBIOMAS, 2018).

O Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação (PAN-Brasil) refere-se à degradação da terra como a perda de produtividade em decorrência de fatores, como erosão do solo, diminuição da fertilidade do solo e perda da vegetação natural, devido à ação antrópica e a fenômenos naturais, como mudanças climáticas (BRASIL, 2004). Essa definição está em consonância com os preceitos da UNCCD e a preocupação do Brasil com a temática está relacionada à amplitude desses processos em território nacional.

A região do semiárido brasileiro é caracterizada pelo déficit hídrico, logo, está sujeita a secas periódicas e já conta com a presença de terras em estágio avançado de degradação e desertificação (CGEE, 2016). A extensão considerada como Área Suscetível à Desertificação (ASD) no Nordeste cobre uma superfície de 1.323.975,4 km² e compreende os estados de

Alagoas, da Bahia, do Ceará, do Espírito Santo, do Maranhão, de Minas Gerais, da Paraíba, de Pernambuco, do Piauí, do Rio Grande do Norte e de Sergipe. Grande parte das ASD se encontra em variados estágios de degradação, sendo que 70.522,75 km² encontram-se em estágio avançado de degradação e desertificação (SÁ, 2015; CGEE, 2016). Nessas áreas, vivem cerca de 34,8 milhões de habitantes (MMA, 2007).

Diante dos efeitos negativos da degradação da terra sobre os ecossistemas e a sociedade em geral, a temática degradação do solo e desertificação tornou-se uma das metas traçadas pela ONU, em 2015, no documento *Transformando nosso Mundo: A Agenda de Desenvolvimento Sustentável para 2030*. Esse documento define 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)¹, divididos em 169 metas a serem alcançadas até 2030, e podem ser encontrados no Anexo (Anexos, Figura 1). A articulação entre os objetivos e suas metas deixa evidente a integração e indivisibilidade entre ambos. Eles também consideram as realidades heterogêneas de cada Estado, respeitando as potencialidades de desenvolvimento e as suas prioridades internas.

No contexto do ODS 15, que trata de “proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade”, foi aprovada a meta 15.3, que determina, “até 2030, combater a desertificação, restaurar a terra e o solo degradado, incluindo terrenos afetados por desertificação, secas e cheias, e lutar para alcançar um mundo neutro em termos de degradação do solo” (CGEE, 2016).

O conceito de Neutralidade da Degradação da Terra (LDN, em inglês — *Land Degradation Neutrality*) emergiu em 2015, resultado da Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação (UNCCD), definida como “um estado em que o montante de recursos de terra saudável e produtiva, necessário para dar suporte aos serviços ecossistêmicos, permanece estável ou aumenta dentro de escalas específicas temporais e espaciais” (UNCCD, 2015). Segundo essa concepção, numa situação de degradação neutra de terra, quando houver a degradação de terras em determinada localidade, deve haver a compensação ou recuperação de terras já degradadas ou desertificadas em outro local.

Alguns fatores contribuem para ampliar a vulnerabilidade ambiental ao processo de degradação de terras, como irregularidade das chuvas, solos rasos, pedregosos e suscetíveis à

¹Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) surgiram na Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, no Rio de Janeiro, em 2012. O objetivo era produzir um conjunto de objetivos universais que atendessem aos desafios ambientais, políticos e econômicos urgentes que nosso mundo enfrenta.

erosão, fragmentação e estratificação vegetal, insuficiência e/ou ineficiência dos serviços sociais de atendimento à população, pobreza, analfabetismo, desemprego, dentre outros. Entretanto, não existe consenso entre os pesquisadores acerca dos indicadores biofísicos para analisar a degradação de terras e a desertificação. Tampouco existe um parâmetro para avaliar a Neutralidade da Degradação da Terra nas regiões secas do planeta.

A amplitude dos conceitos de degradação da terra e desertificação (LDD² — *land degradation and desertification*) (ZUCCA, 2012) constitui um objeto de controvérsia entre diversos autores, o que tem dificultado uma estimativa precisa desses processos a nível global, regional e local. Não existe um sistema padronizado de avaliação e monitoramento global da degradação da terra (GIBBS; SALMON, 2015).

A aplicação de indicadores ambientais possibilita a avaliação das características da paisagem, elucidando respostas frente aos questionamentos sobre a degradação ambiental, a exemplo da degradação da terra e da desertificação. Um indicador ambiental é uma variável que descreve o estado do ambiente e seu impacto sobre os seres humanos, ecossistemas, materiais, as pressões sobre o ambiente, as forças motrizes e as respostas que o sistema lhe dá (NIEMEIJER; de GROOT, 2008).

Segundo MATTALO JR. (2001), um bom indicador deve ter significado próprio, ser simples, claro, mensurável e sensível às mudanças, mostrando tendências futuras. Em ciências ambientais, um único indicador não pode eficientemente descrever um processo complexo, como a degradação da terra e a desertificação. Todavia, os indicadores combinados para criar um índice composto permitem várias avaliações a serem feitas em vários sistemas e, portanto, podem servir para monitorar o estado do ambiente ou comparar diferentes subsistemas (SALVATI; ZITTI, 2009).

Para alcançar a meta 15.3 dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, até 2030, de combater a desertificação, restaurar a terra e o solo degradado e lutar para alcançar a neutralidade de degradação de terras, é preciso desenvolver um modelo preciso de análise dos indicadores biofísicos capaz de superar as dificuldades práticas para identificar e medir as terras degradadas ou em processo de degradação. Nesse sentido, esta pesquisa propõe uma análise multitemporal dos principais indicadores biofísicos e metodologias utilizados na avaliação da degradação de terras e da desertificação, como forma de melhor diagnosticar, monitorar e

²O termo LDD (*land degradation and desertification*) foi inicialmente utilizado no artigo *Towards a World Desertification Atlas. Relating and selecting indicators and data sets to represent complex issues*, publicado pelos autores ZUCCA et al., 2012.

mitigar os processos ambientais oriundos da degradação de terras nas regiões áridas e semiáridas do planeta. A abordagem bibliométrica permite revelar as tendências e lacunas da produção científica global, oferecendo subsídios para políticas públicas. Este trabalho avança ao integrar métricas bibliométricas e indicadores biofísicos em uma análise inédita sobre a LDN em escala global.

A metodologia combina análise bibliométrica e revisão integrativa da literatura, com base em artigos indexados na Scopus entre 1997 e 2019, empregando o software *VOSviewer* para o mapeamento de redes científicas. Os dados e resultados obtidos permitirão que o poder público e a sociedade civil tomem ciência da vulnerabilidade ambiental ao processo de degradação de terras e desertificação que os cercam, podendo, desta forma, participar da elaboração de estratégias para subsidiar a conservação, o planejamento, o monitoramento e gestão do uso e ocupação do solo e de outros recursos naturais das áreas degradadas, combatendo a expansão dos processos e mitigando assim seus efeitos ambientais e socioeconômicos.

Essa pesquisa, intitulada “Degradação Neutra de Terras (LDN): de onde vem, para onde vai? — Análise dos Indicadores Biofísicos e Métodos de Avaliação da Degradação de Terras e da Desertificação”, está dividida em dois capítulos em formato de artigo e um capítulo com as considerações finais. A organização e a divisão desses capítulos fundamentam-se na discussão sobre os indicadores biofísicos e os métodos de avaliação dos processos de degradação de terras e da desertificação, para assim compreender como a política de alcançar a neutralidade da degradação da terra tem sido implementada em diferentes regiões do planeta.

O Capítulo 2 — *Análise bibliométrica de indicadores biofísicos e metodologias de avaliação da degradação da terra e desertificação (LDD): Escala temporal 1997–2019* — realiza uma análise bibliométrica da produção científica internacional sobre a degradação da terra e a desertificação (LDD) e sobre a Neutralidade da Degradação da Terra (LDN), no período de 1997 a 2019, com base em artigos indexados na base Scopus. O estudo mapeia a evolução temporal das publicações, os principais países, instituições, autores e redes de coautoria, além de identificar as tendências temáticas, os indicadores biofísicos mais utilizados (como NDVI, SOC e LULC) e as metodologias de avaliação, como o modelo MEDALUS. Os resultados evidenciam padrões, lacunas e convergências conceituais e metodológicas, destacando a predominância de abordagens biofísicas e a necessidade de maior integração com dimensões socioeconômicas e de governança. O capítulo conclui apresentando os desafios e potencialidades da iniciativa LDN, estabelecendo a base para a análise crítica aprofundada desenvolvida no capítulo seguinte. Esses achados bibliométricos sustentam, no capítulo seguinte, a análise crítica da LDN, suas bases conceituais e desafios de implementação.

O Capítulo 3 — *Neutralidade da Degradação da Terra (LDN): uma revisão crítica das lacunas conceituais e desafios de implementação e monitoramento* — discute a implementação da Neutralidade da Degradação da Terra (LDN) como iniciativa da UNCCD para enfrentar a degradação da terra e a desertificação, com base nas Convenções das Nações Unidas, especialmente as Convenções do Rio (UNCCD, UNCDB e UNFCCC), e na Agenda 2030, em destaque o ODS 15.3. O capítulo discute as lacunas conceituais e metodológicas da LDN, os principais indicadores biofísicos propostos pela UNCCD, como produtividade da terra, cobertura vegetal e estoques de carbono do solo, e os desafios de integração entre dimensões ecológicas, socioeconômicas e de governança. Por fim, apresenta um panorama da implementação da LDN em diferentes regiões do mundo e no semiárido brasileiro, ressaltando o potencial e as limitações das metodologias utilizadas no monitoramento e na avaliação dessa meta global.

O Capítulo 4 — *Considerações Finais* — apresenta uma análise final dos resultados, sintetizando como os indicadores biofísicos, as metodologias de avaliação e as discussões conceituais sobre a LDN respondem à questão-problema e aos objetivos da pesquisa. O capítulo evidencia avanços, limitações e lacunas na produção científica e na implementação da LDN, ressaltando a necessidade de abordagens interdisciplinares e de maior integração entre ciência e governança. Também demonstra que nenhum indicador isolado representa plenamente a complexidade da degradação da terra, reforçando a importância de métodos combinados. Por fim, aponta caminhos para pesquisas futuras diante das limitações do recorte temporal e da evolução recente das metodologias.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Analisar os indicadores biofísicos e as metodologias de avaliação dos processos de degradação de terras e de desertificação, com base na pesquisa bibliométrica de publicações científicas sobre a temática em escala global, no intuito de discutir os desafios da implementação da Neutralidade da Degradação da Terra (LDN) como uma iniciativa da UNCCD para combater a degradação da terra, no contexto dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030.

1.1.2 Objetivos específicos

- Efetuar uma análise bibliométrica de artigos sobre degradação da terra e desertificação, indexados na base de dados *Scopus*, a fim de traçar um panorama global da produção científica dessa temática no período de 1997 a 2019;
- Identificar nas publicações científicas de referência os principais indicadores biofísicos e metodologias utilizadas para o monitoramento e avaliação da LDD nas diversas regiões do planeta, que demonstrem a evolução temporal das pesquisas sobre a temática;
- Discutir a implementação da LDN, em 2015, a partir dos resultados das Convenções da ONU, no período de 1977 a 2012, e das Convenções do Rio (UNCCD, UNCDB e UNFCCC), bem como a relação de tal iniciativa como adoção dos ODS, no contexto do documento Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável;
- Analisar as lacunas relacionadas à base conceitual e aos indicadores biofísicos definidos pela UNCCD para monitorar e avaliar a LDN;
- Identificar os principais desafios que permeiam os estudos sobre a iniciativa LDN em diferentes regiões do planeta, no que se refere aos indicadores biofísicos utilizados para monitorar e avaliar o progresso da implementação dessa meta.

1.2 QUESTÕES NORTEADORAS DA PESQUISA

- Quais são os principais indicadores biofísicos e metodologias utilizadas para a avaliação global dos processos de degradação de terras e desertificação descritos na literatura científica, no período de 1997 a 2019, e como esses parâmetros se inter-relacionam globalmente?
- Quais as principais lacunas e desafios que permeiam as pesquisas sobre a LDN em diferentes regiões do planeta, no que se refere aos indicadores biofísicos utilizados para monitorar e avaliar o progresso da implementação dessa meta?

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AYNEKULU E. et al. **Review of methodologies for land degradation neutrality baselines: Sub-national case studies from Costa Rica and Namibia**. CIAT Publication No. 441. International Center for Tropical Agriculture (CIAT) and World Agroforestry Center (ICRAF), Nairobi, Kenya. p. 58, 2017. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10568/80563>>. Acesso em: 15 mai. 2019.

BARBIER, E. **The Economic Linkages Between Rural Poverty and Land Degradation: Some Evidence from Africa**. Agriculture, Ecosystems & Environment. 82. 355-370, 2000. Disponível em: <doi>. 10.1016/S0167-8809(00)00237-1>. Acesso em: 15 mai. 2019.

BINDRABAN, P.S. et al. **Assessing the impact of soil degradation on food production**. Current Opinion in Environmental Sustainability. 4. 478-488, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cosust.2012.09.015>>. Acesso em: 15 mai. 2019.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. **Programa Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca – PAN-Brasil**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente; Secretaria de Recursos Hídricos, 2004. Disponível em: <www.mma.gov.br> sedr_desertif > _arquivos > pan_brasil_portugues. Acesso em: 10 mar 2019.

CGEE. **Degradação neutra de terra: o que significa para o Brasil?** – Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Brasília, DF, 2016. Disponível em: <<http://www.cgee.org.br>>. Acesso em: 10 mar. 2019.

CHERLET, M. et al. **World atlas of desertification** (3rd ed.). Luxembourg: Publication Office of the European Union, 2018. Disponível em: <<http://wad.jrc.ec.europa.eu>>. Acesso em: 10 mar. 2019.

CUNHA et al. **Mapeamento da desertificação do semiárido paraibano com base na sua cobertura vegetal e classes de solos**. Embrapa Semiárido, Pernambuco, 2013. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/957227/mapeamento-da-desertificacao-do-semiarido-paraibano-com-base-na-sua-cobertura-vegetal-e-classes-de-solos>>. Acesso em: 11 mar. 2019.

DHARUMARAJAN et al. **Desertification Vulnerability Index - an effective approach to assess desertification processes: a case study in Anantapur District, Andhra Pradesh, India**. Land Degradation & Development. 29, 2019. Disponível em: <doi.org/10.1002/ldr.2850>. Acesso em: 21 abr. 2019.

ELD. **InitiativeReport for policy and decision makers: Reaping economic and environmental benefits from sustainable land management**, 2015. Disponível em: <www.eld-initiative.org>. Acesso em: 21 abr. 2019.

EU. **European Commission. ; Roadmap to an agreement on the Union's long-term budget for 2021-2027: The European Commission's contribution to the European Council on 20-21 June 2019**, 2011. Disponível em: < https://ec.europa.eu/commission/sites/beta-political/files/mff-communication-roadmap-agreement_en.pdf>. Acesso em: 21 out. 2019.

FAO. **State of the World's Forests**. Rome, Italy, 2012. Disponível em: < www.fao.org>.

Acesso em: 21 abr. 2019.

GIBBS, H.K. & SALMON, J.M.. **Mapping the world's degraded lands. Applied Geography**. 57, 2015. Disponível em: <<http://doi.org.10.1016/j.apgeog.2014.11.024>>. Acesso em: 21 abr. 2019.

LAL, R. **Land Degradation And Pedological Processes In A Changing Climate**. Pedologist, p. 315- 320. 2012. Disponível em: < Disponível em: <https://doi.org/10.18920/pedologist.55.3_315>. Acesso em: 21 abr. 2019.

MAPBIOMAS. **Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil** [Annual Mapping Project for Land Cover and Use in Brazil]. MapBiomass v3.0.], 2018. Disponível em: <<http://mapbiomas.org/map#coverage>>. Acesso em: 25 fev. 2019.

MEA. **Millennium Ecosystem Assessment**. 2005b. Ecosystems and Human Well-being: Desertification Synthesis, page 36. Washington, DC: World Resources Institute. Disponível em: <<http://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>>. Acesso em: 05 mar. 2019.

MATALLO JUNIOR, H. **Indicadores de desertificação: histórico e perspectiva**. Brasília, DF: UNESCO, 2001. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br>>. Acesso em: 25 mar. 2019.

MEADOWS, M. E. & HOFFMAN, M. T. **Land degradation and climate change in South Africa**. Geographical Journal - GEOGR J. 169. p. 168-177, 2003. Disponível em: <<http://doi.org.10.1111/1475-4959.04982>> Acesso em: 25 mar. 2019.

NACHTERGAELE et al. **Global Land Degradation Information System (GLADIS). Beta Version. An Information Database for Land Degradation Assessment at Global Level**. Land Degradation Assessment in Drylands Technical Report, no. 17. FAO, Rome, Italy, 2010. Disponível em: < <http://doi.org>. > Acesso em: 25 mar. 2019.

NIEMEIJER D. & de GROOT R.S. **A conceptual framework for selecting environmental indicators sets**. Ecological Indicators. 8. p. 14-25. Disponível em: <<http://doi.org.10.1016/j.ecolind.2006.11.012>> Acesso em: 25 mar. 2019.

ROSÁRIO, L. **Indicadores de desertificação para Portugal continental**. Editideias: Lisboa, 2004. Disponível em: < <http://https://www.yumpu.com/pt/document/read/12489837/rosario-l-2004-indicadores-de-desertificacao-para-portugal>.> Acesso em: 30 mar. 2019.

SÁ, I.B. **Processos de degradação no Semiárido Brasileiro**. Objetivos do desenvolvimento sustentável e a degradação neutra da terra: O que significa para o Brasil? Brasília: CGEE. 2015. Disponível em: < <http://www.cgee.org.br/documents/degradacao-neutra-terra>> Acesso em: 10 mar. 2019.

SALVATI, L. & ZITTI, M. **Assessing the impact of ecological and economic factors on land degradation vulnerability through multiway analysis**. Ecological Indicators, 9, p. 357 e 363, 2009. Disponível em: < <http://doi.org.10.1016/j.ecolind.2008.04.001>> Acesso em: 25 mar. 2019.

SPALEVIC, et al. **Land degradation, land use and soil erosion: the case of Montenegro.** Water Letter, n° 28, 2014. Disponível em: https://www.academia.edu/21490936/Land_degradation_land_use_and_soil_erosion_the_case_of_Montenegro?auto=download Acesso em: 25 mar. 2020.

UNCCD (2015c). **Science-Policy Interface: progress report and work programme 2016–2017.** ICCD/COP(12)/CST/6. Disponível em: <http://www.unccd.int/Lists/OfficialDocuments/cop12/cst6eng.pdf> Acesso em: 25 mar. 2019.

UNCCD. **Land degradation neutrality – resilience at local, national and regional levels.** Bonn, Alemanha: 2015. Disponível em: <http://www.unccd.int/Lists/NewsHighlightsList/DispForm.aspx?ID=329> Acesso em: 21 abr. 2019.

WANJALA, W. & KINYANJUI, M. **Impact of human activities on land degradation in Lugari sub- county, Kakamega county, Kenya.** E3 Journal Of Environmental Research And Management. 7. P. 38-44. 2016. Disponível em: [http://doi.org.10.18685/EJERM\(7\)2_EJERM-16-018](http://doi.org.10.18685/EJERM(7)2_EJERM-16-018). > Acesso em: 28 mar. 2019.

WEBB, N. P. et al. **Land degradation and climate change: building climate resilience in agriculture.** Frontiers in Ecology and the Environment, 15(8), p. 450–459, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/fee.1530>. Acesso em: 28 mar. 2019.

ZUCCA, C. et al. **Towards a World Desertification Atlas. Relating and selecting indicators and data sets to represent complex issues.** Ecological Indicators, Volume 15, Issue 1, 2012. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez278.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S1470160X11002998?via%3Dihub>. Acesso em: 05 abr. 2020

CAPÍTULO 2 – ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DE INDICADORES BIOFÍSICOS E METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DA TERRA E DESERTIFICAÇÃO (LDD) – ESCALA TEMPORAL 1997–2019

RESUMO

A degradação da terra e a desertificação (LDD) representam ameaças globais à estabilidade ecológica, à segurança alimentar e à sustentabilidade dos meios de subsistência. Apesar dos avanços científicos obtidos nas últimas décadas, ainda há escassez de estudos comparativos que integrem indicadores e metodologias aplicadas em diferentes regiões do mundo. Diante dessa lacuna, este estudo tem como objetivo analisar a produção científica internacional sobre LDD, com base em 54 artigos e 8 relatórios técnicos indexados na base Scopus entre 1997 e 2019, buscando identificar os principais indicadores biofísicos e as metodologias de avaliação utilizadas. A pesquisa adota uma abordagem bibliométrica quali-quantitativa, combinando análise estatística e interpretação crítica. O *software* VOSviewer (versão 1.6.13) foi empregado para construir e visualizar redes de coautoria, cocitação e coocorrência de termos, possibilitando mapear conexões temáticas, institucionais e conceituais da produção científica. Os resultados revelam a predominância da China como país líder em publicações, a ampla utilização do NDVI e do sensoriamento remoto como ferramentas centrais para o diagnóstico espaço-temporal da degradação da terra e a consolidação do modelo MEDALUS como metodologia de referência, sobretudo em estudos realizados em áreas áridas e semiáridas. Além disso, observou-se a predominância de abordagens biofísicas, com menor integração das dimensões socioeconômicas e de governança, evidenciando a necessidade de metodologias interdisciplinares e comparativas. Conclui-se que a complexidade dos processos e causas da LDD em múltiplas escalas espaciais e temporais exige o uso combinado de diferentes indicadores e métodos, capazes de refletir a diversidade ambiental e social dos territórios. Ao propor uma leitura integrada da evolução conceitual e metodológica do campo, o estudo contribui para o aprimoramento dos sistemas de monitoramento e avaliação da degradação da terra, oferecendo subsídios científicos às políticas públicas e ao alcance da Neutralidade da Degradação da Terra (LDN) e das metas do ODS 15.3 no contexto da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável.

PALAVRAS-CHAVES: Bibliometria. Degradação da terra. Desertificação. Indicadores biofísicos. Metodologia.

ABSTRACT

Land degradation and desertification (LDD) represent global threats to ecological stability, food security, and the sustainability of livelihoods. Despite significant scientific advances in recent decades, there remains a scarcity of comparative studies integrating indicators and methodologies applied across different regions of the world. In light of this gap, the present study aims to analyze the international scientific production on LDD, based on 54 scientific articles and 8 technical reports indexed in the Scopus database between 1997 and 2019, in order to identify the main biophysical indicators and assessment methodologies used. The research adopts a qualitative–quantitative bibliometric approach, combining statistical analysis and critical interpretation. The software VOSviewer (version 1.6.13) was employed to construct and visualize networks of co-authorship, co-citation, and term co-occurrence, enabling the mapping of thematic, institutional, and conceptual connections within the scientific literature. The results reveal China as the leading country in publications, the widespread use of NDVI and remote sensing as central tools for the spatiotemporal diagnosis of land degradation, and the consolidation of the MEDALUS model as a reference methodology, especially in studies conducted in arid and semi-arid regions. Furthermore, a predominance of biophysical approaches was observed, with limited integration of socioeconomic and governance dimensions, highlighting the need for more interdisciplinary and comparative methodologies. It is concluded that the complexity of the processes and causes of LDD, across multiple spatial and temporal scales, requires the combined use of different indicators and methods capable of reflecting the environmental and social diversity of territories. By proposing an integrated interpretation of the conceptual and methodological evolution of the field, this study contributes to the improvement of land degradation monitoring and assessment systems, providing scientific support for public policies and advancing the goals of Land Degradation Neutrality (LDN) and SDG 15.3 within the framework of the 2030 Agenda for Sustainable Development.

KEYWORDS: Bibliometrics. Land degradation. Desertification. Biophysical indicators. Methodology.

1. INTRODUÇÃO

A degradação da terra constitui uma das maiores ameaças ao funcionamento ecológico, à produção de alimentos e à sustentabilidade dos meios de subsistência em escala mundial (BARBIER, 2000; BINDRABAN et al., 2012). Trata-se de um fenômeno complexo, dinâmico e multifatorial, que compromete a produtividade biológica e econômica dos ecossistemas em razão de processos como erosão, perda de fertilidade, formação de crostas, salinização e depleção da cobertura vegetal (KAIRIS et al., 2014). Esses processos manifestam-se em diferentes regiões do planeta, mas alcançam maior gravidade em áreas áridas, semiáridas e subúmidas secas, que abrangem cerca de 41% da superfície terrestre e afetam mais de um bilhão de pessoas (JAFARI; BAKHSHANDEMEHR, 2016; RUBIO; RECATALA, 2006).

Dada a relevância global do tema, a Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD), ratificada por 195 países, reconhece a degradação da terra e a desertificação (LDD) como uma das questões ambientais mais urgentes de nosso tempo (HIGGINBOTTOM; SYMEONAKIS, 2014). A LDD, amplamente empregada em publicações científicas e documentos institucionais da ONU, resulta de causas e consequências interdependentes que transcendem a esfera ecológica, alcançando dimensões econômicas, sociais e políticas. Esses processos estão diretamente associados às atividades humanas que afetam simultaneamente o solo, a água e a vegetação, e repercutem em múltiplos setores produtivos e sociais (BRIASSOULIS, 2019). Assim, a incidência da LDD expõe ecossistemas e populações humanas a perdas de produtividade, insegurança alimentar, escassez de água, vulnerabilidade econômica e riscos à saúde, configurando-se como um desafio civilizatório de escala planetária.

Segundo a UNCCD, a degradação da terra corresponde à redução ou perda da produtividade biológica ou econômica, resultante do uso inadequado ou de processos que incluam atividades humanas. A desertificação, por sua vez, é definida como a degradação das terras (degradação do solo, da fauna, flora e recursos hídricos) nas zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas, intensificada por vários fatores, como as variações climáticas e atividades humanas (UNCCD, 2010).

Percebe-se, nas definições da UNCCD, que os termos “degradação da terra” e “desertificação” se relacionam e se sobrepõem conceitualmente, uma vez que “desertificação” significa degradação do solo, podendo-se inferir que a “redução ou perda da produtividade econômica” é uma expressão comum a ambos os processos. Outras semelhanças entre o tratamento da desertificação e da degradação do solo pelo Artigo 1 da UNCCD incluem (a) a restrição de ambos os fenômenos às zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas e (b) a ênfase

na implicação humana como causa determinante. Nesse sentido, a UNCCD não define apenas a LDD como um estado de perda de um serviço ecossistêmico essencial (a produtividade biológica), mas também incorpora a origem antrópica dessa mudança e os limites espaciais de sua ocorrência. Por outro lado, diferencia-se ao reconhecer que, além das atividades humanas, a desertificação é igualmente impulsionada por variações climáticas.

Com o avanço das pesquisas, as interpretações sobre degradação da terra e desertificação evoluíram significativamente nas últimas décadas, acompanhando o desenvolvimento de novas metodologias e técnicas de monitoramento (COSTA, 2019). Diversos procedimentos de avaliação baseados em sensoriamento remoto, sistemas de informações geográficas e levantamentos de campo foram propostos para áreas áridas e semiáridas (BAI et al., 2008; SALVATI; BAJOCCO, 2011). Entretanto, a multiplicidade de métodos e indicadores empregados tem dificultado a padronização dos resultados e a comparabilidade entre estudos, comprometendo a integração de dados em escala global (GIBBS; SALMON, 2015). O déficit de padronização metodológica e conceitual pode ser atribuído, em parte, à ausência de definições claras e às dificuldades de mensuração das variáveis utilizadas para representar esses fenômenos em diferentes contextos regionais.

Embora diversos estudos tenham revisado os indicadores e metodologias de avaliação da degradação da terra e da desertificação (RUBIO; BOCHET, 1998; MATALLO JUNIOR, 2001; GEIST; LAMBIN, 2004; BAJOCCO et al., 2011; IMBRENDA et al., 2013; SALVATI et al., 2014; PRŔVĀLIE et al., 2017), observa-se que a maioria dessas pesquisas descreve o fenômeno em escalas específicas, sem buscar integrar de forma crítica as principais tendências conceituais e metodológicas globais. Essa ausência de padronização entre indicadores e métodos de avaliação ainda constitui um dos principais entraves à consolidação de um sistema internacional de monitoramento da LDD. A diversidade de abordagens e escalas analíticas compromete a comparabilidade dos resultados e a formulação de políticas públicas consistentes, evidenciando a necessidade de mapear e compreender as tendências teóricas e técnicas que orientam a produção científica sobre o tema.

Com o intuito de preencher essa lacuna, o presente estudo realiza uma análise bibliométrica da produção científica sobre degradação da terra e desertificação, com foco nos indicadores biofísicos e metodologias de avaliação empregados em diferentes regiões do mundo. A bibliometria, enquanto instrumento de leitura crítica e quantitativa da ciência, permite mapear a estrutura e a evolução conceitual de um campo de pesquisa, identificar redes de colaboração, núcleos temáticos e tendências emergentes (OLIVEIRA et al., 2013). Essa abordagem possibilita compreender não apenas a dinâmica da produção acadêmica, mas

também os caminhos de consolidação do conhecimento sobre LDD.

A contribuição principal desta pesquisa reside na integração entre bibliometria e análise metodológica aplicada, oferecendo um panorama quantitativo-qualitativo inédito que identifica tendências, lacunas e padrões globais de investigação sobre degradação de terras de desertificação. Ao mapear as redes de colaboração científica, os núcleos temáticos e as metodologias dominantes, o estudo fornece subsídios teóricos e técnicos para o aprimoramento de políticas públicas voltadas à implementação da Neutralidade da Degradação da Terra (LDN). Além disso, destaca-se o caráter inédito do recorte temporal adotado (1997–2019), o qual coincide com a consolidação internacional dos debates sobre os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), em especial a meta 15.3, tornando este estudo particularmente relevante para o monitoramento global da LDN e para o entendimento de suas implicações regionais, sobretudo no semiárido brasileiro, onde a vulnerabilidade ambiental é mais acentuada.

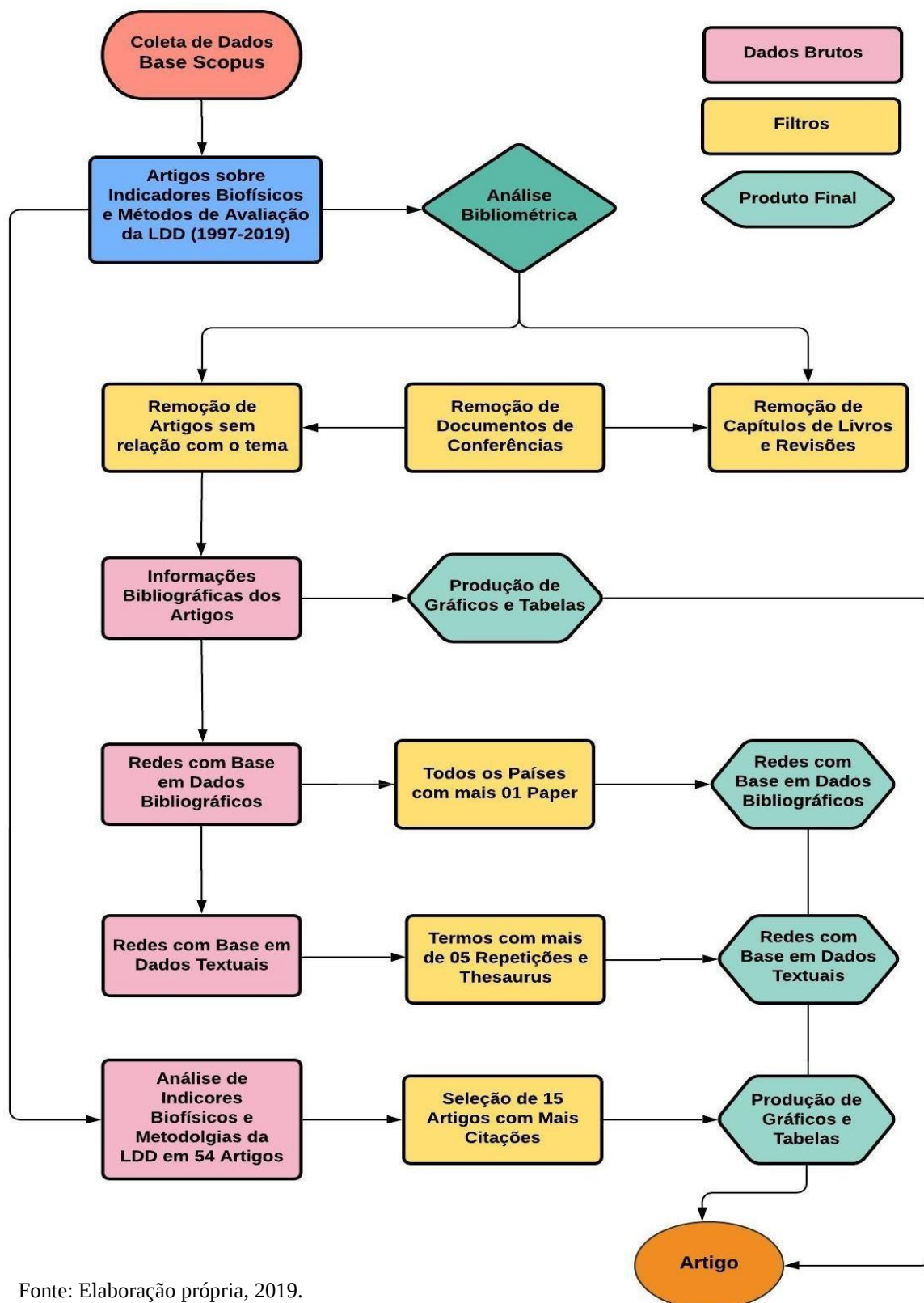
Para cumprir o papel de apresentar uma revisão estruturada acerca dos temas aqui apresentados, o presente estudo propõe analisar os artigos científicos indexados na base de dados da *Scopus*, correlacionando a temática indicadores biofísicos e metodologias de avaliação da degradação da terra e desertificação na escala temporal adotada. Pretende-se, desse modo, responder às seguintes questões:

- a) em quais países surgem as principais publicações sobre a temática abordada?;
- b) quais os principais institutos de pesquisa que publicam sobre o tema?;
- c) quem são os autores que mais publicam?;
- d) quais as publicações mais representativas?;
- e) quais indicadores biofísicos para o monitoramento da LDD são mais frequentes nas publicações?;
- f) quais métodos de avaliação da LDD são mais utilizados nas regiões de clima árido, semiárido e sub-úmido seco?

Dessa forma, a análise bibliométrica busca identificar tendências conceituais e metodológicas e contribuir para o aperfeiçoamento das estratégias globais de monitoramento, fornecendo subsídios teóricos e técnicos à consolidação da Neutralidade da Degradação da Terra (LDN) como meta internacional de sustentabilidade e instrumento de governança ambiental no século XXI. A seguir, descrevem-se os procedimentos para coleta, triagem e análise bibliométrica das publicações da base de dados *Scopus*.

2. METODOLOGIA

Figura 1 – Fluxograma dos procedimentos metodológicos da pesquisa



Fonte: Elaboração própria, 2019.

O desenho metodológico, representado no Fluxograma Metodológico (Figura 1), apresenta as etapas sequenciais do estudo: levantamento, triagem e análise bibliométrica dos artigos, seguidas da construção das redes de dados bibliográficos e textuais.

2.1 Tipo e desenho da pesquisa

Esta pesquisa apresenta caráter descritivo e explicativo quanto aos fins e qualitativo quanto à abordagem, estruturando-se a partir de procedimentos bibliométricos e documentais. A pesquisa descritiva tem como propósito caracterizar e compreender o fenômeno investigado, enquanto a explicativa busca identificar os fatores que determinam ou influenciam sua ocorrência (VERGARA, 2014; SOUZA; SANTOS; DIAS, 2013).

Em relação à abordagem, o estudo adota a convergência entre métodos qualitativos e quantitativos, o que, segundo MINAYO (1997) e FLICK (2004), proporciona maior credibilidade e legitimidade aos resultados, evitando o reducionismo metodológico. Os métodos quantitativos oferecem o controle dos vieses e a mensuração estatística dos dados, enquanto os qualitativos possibilitam a compreensão dos contextos e significados que permeiam as publicações analisadas.

Desse modo, a combinação de ambas as abordagens permite uma análise mais ampla, integrando interpretação e mensuração para alcançar um retrato fiel da produção científica sobre degradação da terra e desertificação (LDD) no período de 1997 a 2019.

2.2 Base de dados

Na revisão de literatura buscou-se uma visão mais global sobre a temática, com a análise da produção científica internacional sobre indicadores biofísicos e metodologias de avaliação da degradação da terra e desertificação.

Para a realização da pesquisa, elegeu-se como base de dados a *SciVerse Scopus*, referida apenas como Scopus, lançada em 2004 pela *Elsevier*. O Scopus constitui o maior banco de dados de resumos e citações de literatura revisada por pares, com ferramentas bibliométricas para acompanhar, analisar e visualizar a pesquisa. Essa base de referência contém mais de 22.000 títulos de mais de 5.000 editores em todo o mundo (CAPES, 2019).

A busca sistemática foi realizada entre junho e outubro de 2019, utilizando o operador TITLE-ABS-KEY, que localiza termos nos campos de título, resumo e palavras-chave. As expressões de busca foram elaboradas com operadores booleanos, assegurando precisão e

abrangência na extração dos dados. As estratégias de busca estão sintetizadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Estratégias de busca na base de dados Scopus (1997-2019)

Base de dados	Expressão de busca
SCOPUS	<i>"land degradation" OR "desertification" "land degradation" AND (desert? OR dryland OR arid OR semiarid OR subumid) AND (assessment OR evaluation OR analysis) AND (techniques OR methods) AND (biophysical OR indicator)</i>

Fonte: Elaboração própria, 2019.

Inicialmente foram pesquisadas publicações relacionadas aos processos de degradação da terra e desertificação, para quantificação internacional de artigos publicados de 1975 até 2019. Todos os termos em *itálico* foram usados como variáveis na primeira equação de pesquisa: *Tópico = "land degradation" OR "desertification"*

A primeira consulta gerou 10.864 referências de todas as publicações em artigos ao redor do mundo entre 1967 e 2019. Mesmo que algumas das técnicas de mineração de dados usadas em uma fase posterior possam teoricamente processar um corpus tão grande, o tempo de processamento e, acima de tudo, a exibição e interpretação dos resultados seriam muito exigentes para o tipo de análise realizada aqui. Para um primeiro exercício de análise de dados, é necessário tratar um conjunto de dados menor. Assim, optou-se por tratar um conjunto de dados menor e mais coerente com os objetivos do estudo, seguindo as etapas de mineração de dados descritas a seguir.

Como forma de reduzir os artigos de análise, com foco nos objetivos do estudo, foram pesquisadas publicações relacionadas às metodologias e aos indicadores biofísicos utilizados nos estudos sobre degradação da terra e desertificação nas áreas climáticas de interesse, isto é, mais especificamente as terras áridas, semiáridas e subúmidas secas, de acordo com a definição usada no UNCCD (são áreas em que o índice de aridez é menor que ou igual a 0,65, UNEP, 1992). Segue o tópico de busca utilizada: *"land degradation" AND (desert? OR dryland OR arid OR semiarid OR subumid) AND (assessment OR evaluation OR analysis) AND (techniques OR methods) AND (biophysical OR indicator)*

Para a pesquisa de dados na plataforma Scopus assinalou-se a opção *Article Title, Abstract, Keywords* (os termos pesquisados constando no título, no resumo ou nas palavras-chave), *All years to Present* no campo *Published* (publicações ocorridas em qualquer ano até 20 de outubro de 2019), *Article* no campo *Document Type* (artigos científicos completos) e, em

Subject Areas, optou-se em deixar todas as opções assinaladas (preferiu-se, desse modo, contemplar todas as áreas de estudo possíveis pela plataforma).

Foram aplicados filtros específicos para assegurar a consistência do corpus: apenas artigos completos revisados por pares, publicados em português, inglês e espanhol, até 20 de outubro de 2019 e indexados exclusivamente na base Scopus. Foram excluídos reviews, conference papers e capítulos de livros.

Após a mineração de dados, foram obtidas 54 referências, das quais 15 artigos com maior impacto na comunidade científica internacional (número de citações) e estritamente relacionados ao contexto das terras secas foram selecionados para análise qualitativa. Os metadados foram exportados em formato .csv para posterior tratamento estatístico e construção das redes bibliográficas.

2.3 Critérios de inclusão, exclusão e triagem de publicações

A seleção dos artigos seguiu uma triagem sistemática baseada nas diretrizes PRISMA (2020), o que assegurou rastreabilidade, transparência e rigor científico em todas as etapas do processo. Inicialmente, foram identificados 89 registros, dos quais 12 duplicatas foram removidas. Após a leitura de títulos e resumos, 23 publicações foram excluídas por irrelevância temática, restando 54 artigos elegíveis, que compõem a amostra principal da pesquisa.

Os critérios de inclusão contemplaram artigos completos e revisados por pares, publicados até outubro de 2019, contendo os termos de busca nos campos de título, resumo e/ou palavras-chave, aplicados a regiões áridas, semiáridas ou subúmidas secas (índice de aridez $\leq 0,65$, segundo UNEP, 1992), com foco explícito em indicadores biofísicos ou metodologias de avaliação da LDD. Excluíram-se documentos duplicados, revisões de literatura, relatórios técnicos sem abordagem metodológica quantitativa e estudos desvinculados do contexto das terras secas.

A partir da amostra final, selecionou-se uma subamostra de 15 artigos mais citados (27,8%) do conjunto, baseada na métrica de citações normalizadas por ano (*citations per year*). Tal subamostra foi utilizada apenas para análise qualitativa e comparativa, destinada a ilustrar os indicadores e metodologias mais influentes, sem comprometer a representatividade estatística da amostra principal. Assim, a análise quantitativa global permaneceu fundamentada nos 54 artigos originais, garantindo a validade e a consistência dos resultados.

2.4 Fundamentação da análise bibliométrica

A bibliometria surgiu no início do século XX como ferramenta quantitativa voltada à mensuração da produção científica (PRITCHARD, 1969). Atualmente, consolida-se como uma metodologia essencial para investigar estruturas cognitivas, redes de colaboração e tendências temáticas em campos emergentes (FAHIMNIA; SARKIS; DAVARZANI, 2015; ZUPIC; ČATER, 2015).

Desse modo, torna-se possível ao pesquisador avaliar o estado da arte e fundamentar interpretações críticas a partir de dados confiáveis. Essa combinação entre técnicas estatísticas e interpretação qualitativa confere à bibliometria um papel estratégico na compreensão epistemológica dos campos científicos. Além disso, a metodologia aplicada neste estudo adere aos princípios do PRISMA 2020, garantindo transparência, rastreabilidade e replicabilidade das etapas de busca e seleção.

Por fim, é importante destacar que o modelo aqui adotado mantém validade externa e potencial de replicabilidade intertemporal, podendo ser aplicado em estudos futuros que ampliem o recorte temporal pós-2019, reforçando o caráter cumulativo e comparativo da abordagem.

2.5 Redes com base em dados bibliográficos e textuais

Para a construção das redes de dados bibliográficos e textuais, foi utilizado o software VOSviewer, versão 1.6.13 (VAN ECK & WALTMAN, 2010), desenvolvido pelo *Centre for Science and Technology Studies* da Universidade de Leiden (Holanda). O programa foi escolhido por sua capacidade de processar grandes conjuntos de dados e gerar visualizações intuitivas que facilitam a interpretação de redes de coautoria, cocitação, acoplamento bibliográfico e coocorrência de termos.

As redes foram formadas com base em metadados extraídos em relações de citação, acoplamento bibliográfico, cocitação, coautoria e de coocorrência de termos em títulos e resumos. Redes de coautoria, de citações e de coocorrência podem ser criadas com base nos metadados bibliográficos fornecidos por *Web of Science* e por *Scopus* (CODATO, 2018). A ferramenta utiliza um método de visualização baseado na distância entre os nós da rede analisada, de modo que a distância entre dois nós indica aproximadamente a intensidade da relação entre eles, sendo tal relação tão maior quanto menor for a distância (VAN ECK & WALTMAN, 2014).

Os parâmetros adotados no VOSviewer seguiram o método de contagem *Full Counting* (para coautoria e coocorrência), com ocorrência mínima de três repetições por termo, modelo de normalização *Association Strength* e *layout VOS Mapping*, em que a distância entre os nós indica a força de associação, quanto menor a distância, maior a relação. Além disso, as citações foram normalizadas por ano de publicação, permitindo comparações equitativas entre estudos recentes e antigos.

Foram geradas redes de coocorrência de palavras-chave (para identificar convergências temáticas), redes de coautoria (para observar vínculos institucionais e geográficos) e redes de cocitação (para identificar marcos conceituais). Os gráficos de tendência temporal e evolução das publicações foram elaborados no *Microsoft Excel 2019* e exportados em formato SVG, garantindo qualidade visual e reprodutibilidade. Assim, a combinação entre análise estatística e visualização gráfica reforça a consistência das interpretações, oferecendo uma visão integrada e visualmente compreensível da estrutura do campo científico.

Essa etapa analítica permitiu identificar clusters de colaboração científica, núcleos temáticos e padrões conceituais que orientam a produção internacional sobre LDD. Assim, a combinação entre análise estatística e visualização gráfica reforça a consistência das interpretações, oferecendo uma visão integrada da estrutura do campo.

2.6 Síntese metodológica, limitações e validade do estudo

O percurso metodológico adotado foi pautado em rigor técnico e transparência, possibilitando a replicabilidade da análise bibliométrica. Contudo, reconhecem-se algumas limitações inerentes ao método, como o viés temporal (recorte até 2019), o viés linguístico (predomínio de publicações em inglês) e a dependência exclusiva da base Scopus, que pode omitir estudos relevantes indexados em outras bases.

Apesar dessas restrições, a metodologia aplicada assegura validade interna e consistência lógica entre os objetivos e os procedimentos empregados, permitindo generalizações interpretativas compatíveis com o escopo da pesquisa. Assim, o estudo apresenta potencial de replicação por outros pesquisadores interessados na evolução conceitual e metodológica da degradação da terra e desertificação, conforme as recomendações de ZUPIC & ČATER (2015) para estudos bibliométricos de alto rigor.

A seguir, apresenta-se a Tabela 2, que sintetiza as etapas metodológicas adotadas e seus respectivos objetivos, reforçando a transparência e a replicabilidade da pesquisa.

Tabela 2 – Etapas e objetivos específicos do percurso metodológico

Etapas	Descrição das ações realizadas	Objetivo específico
1. Levantamento inicial	Revisão exploratória sobre degradação da terra, desertificação e indicadores biofísicos em bases internacionais.	Compreender o estado da arte e contextualizar a pesquisa.
2. Definição da base de dados	Seleção da base Scopus como fonte principal de indexação científica.	Assegurar cobertura ampla, qualidade e consistência das publicações analisadas.
3. Estratégias de busca	Construção de expressões booleanas aplicadas ao campo <i>TITLE-ABS-KEY</i> .	Garantir precisão e abrangência na recuperação dos artigos.
4. Triagem e filtragem	Aplicação dos critérios de inclusão e exclusão conforme PRISMA (2020).	Eliminar duplicatas e selecionar publicações relevantes.
5. Mineração e exportação dos dados	Extração e exportação dos metadados em formato .csv.	Preparar os dados para tratamento estatístico e visualização.
6. Análise bibliométrica	Aplicação dos indicadores e redes de coautoria, cocitação e coocorrência.	Mapear padrões, tendências e colaborações na produção científica.
7. Interpretação e síntese	Análise quali-quantitativa dos resultados com base em autores, países e indicadores.	Integrar os achados e discutir as implicações metodológicas e conceituais.
8. Softwares e replicabilidade	Indicação das versões do <i>VOSviewer</i> (1.6.13) e <i>Microsoft Excel</i> (2019).	Garantir consistência técnica e replicabilidade dos resultados.

Fonte: Elaboração própria, 2020.

Desse modo, todas as redes, gráficos e tabelas apresentados na seção seguinte derivam diretamente das etapas metodológicas aqui descritas, como as redes de coautoria apresentadas nas Figuras 4 e 5, que se originam da etapa de análise de metadados descrita na Tabela 2. Essa integração assegura a validade científica e interpretativa do estudo, a coerência entre método e resultados, consolidando a continuidade lógica da dissertação.

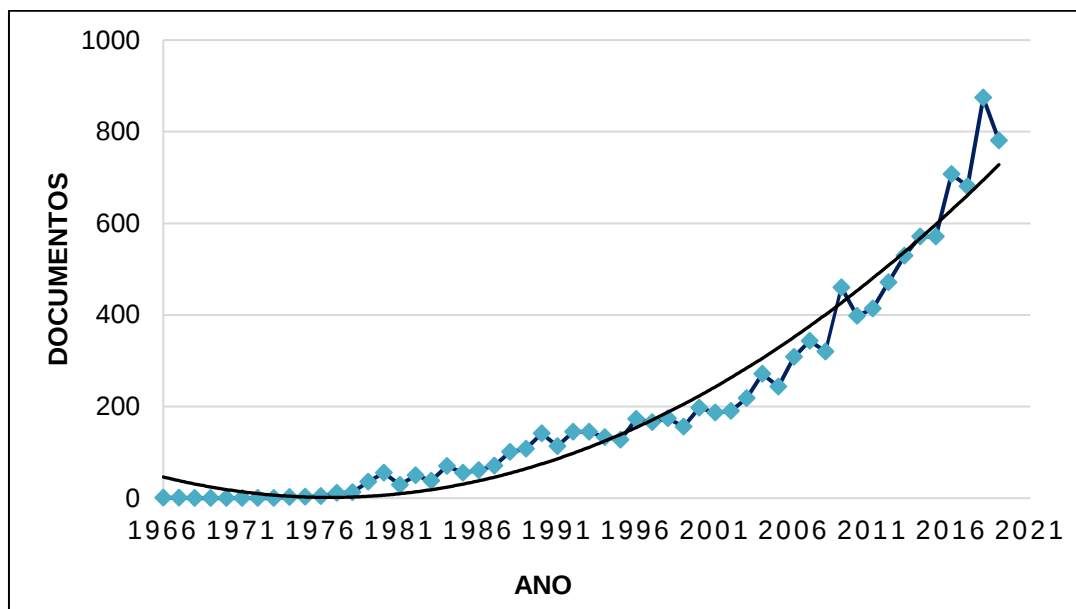
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise bibliométrica sobre degradação da terra e desertificação

O estudo bibliométrico contribuiu para a identificação da visibilidade da produção

científica sobre a degradação da terra e desertificação, indexada nas bases de dados Scopus, a partir de 1967 até 2019 (Gráfico 1).

Gráfico 1 – Evolução da produção científica de artigos sobre degradação da terra e desertificação na Scopus (1966-2019)



Fonte: Elaboração própria, 2019.

A degradação da terra e a desertificação tornaram-se nas últimas décadas uma das grandes preocupações ambientais, com o crescimento do número de publicações a partir de 1967, conforme pode ser observado no Gráfico 1, elaborado com a periodicidade de décadas, para facilitar a visualização dos 52 anos de identificação das publicações indexadas sobre essa temática na base de dados da *Scopus*. Nessa primeira busca foram encontradas 10.916 publicações relacionadas ao tópico degradação da terra e desertificação no período de 1966 a 28 de outubro de 2019.

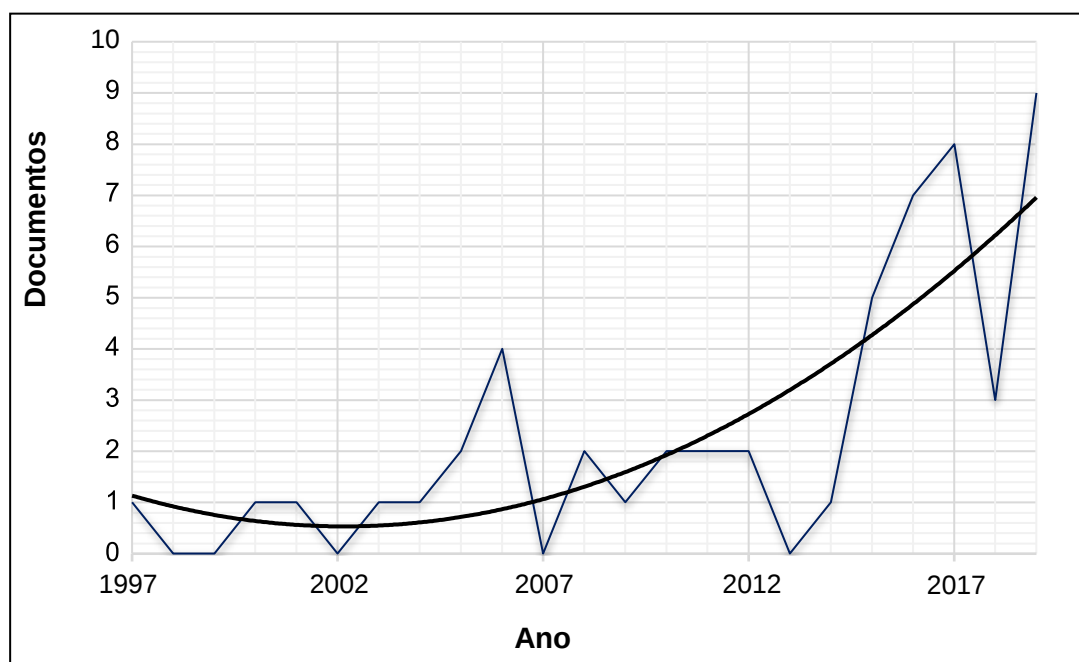
No ano de 1966 foi publicado o primeiro artigo relacionando os termos degradação da terra e a desertificação. Novos trabalhos só foram publicados a partir de 1974 (02) e, a partir de então, houve um crescimento anual das publicações que envolvem essa temática. Observa-se que a partir de 1977 houve um aumento de artigos indexados, fato que se relaciona à realização da Conferência das Nações Unidas sobre Desertificação, realizada em 1977, na cidade de Nairóbi, Quênia. Esta conferência teve um papel fundamental em todo o processo de luta contra a degradação da terra e a desertificação no mundo, pois resultou: i) na consolidação mundial do tema, levando muitos países a começarem a dar maior importância a seus problemas ambientais

em geral; ii) na introdução das regiões com climas áridos e semiáridos no cenário das discussões, mostrando que os recorrentes problemas de pobreza e meio ambiente necessitavam de um enfrentamento direto pela comunidade internacional; e iii) na criação do Plano de Ação Mundial contra a Desertificação (BRASIL, 2007).

Esse comportamento ascendente coincide com o fortalecimento da agenda internacional da Neutralidade da Degradação da Terra (LDN) e com a consolidação da Meta 15.3 dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, formalizada pela ONU/UNCCD em 2015. O avanço das publicações também reflete o esforço institucional para uniformizar indicadores e metodologias de monitoramento da degradação em escala global, estabelecendo padrões comparativos entre países e biomas.

No que se refere aos objetivos desse estudo, a pesquisa bibliométrica que consistia em examinar o tópico *"land degradation" AND (desert? OR dryland OR arid OR semiarid OR subumid) AND (assessment OR evaluation OR analysis) AND (techniques OR methods) AND (biophysical OR indicator)*, na busca por artigos publicados, apontou 54 resultados, em 29 de outubro de 2014. O Gráfico 2 a seguir demonstra a publicação anual de artigos vinculados ao tema.

Gráfico 2 – Evolução das publicações sobre metodologias e indicadores biofísicos e degradação da terra e desertificação em terras secas (1997-2019)



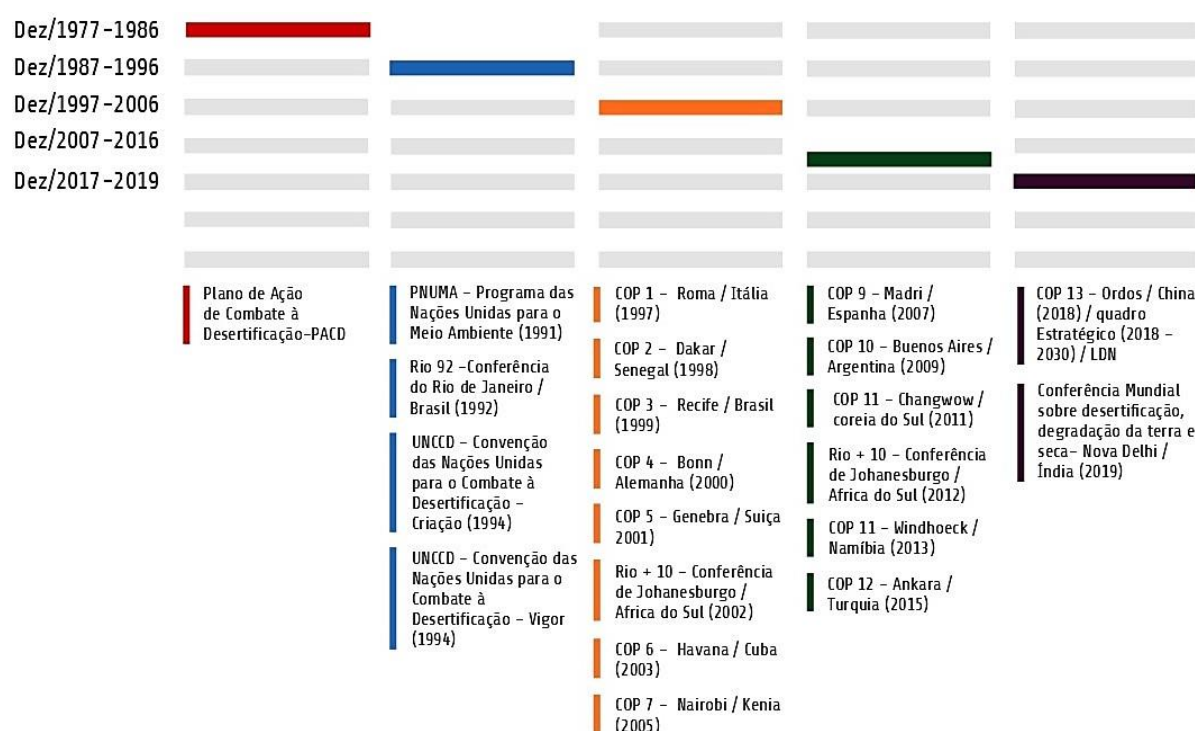
Fonte: Elaboração própria, 2019.

A partir da correlação entre o Gráfico 1 e o Gráfico 2, constata-se que, embora os estudos

sobre degradação da terra e desertificação sejam crescentes a partir da década de 1970, somente a partir de 1997 tais estudos passaram a integrar os diferentes métodos e indicadores biofísicos na avaliação do processo de degradação da terra e desertificação em terras secas. Entre o ano de 1997 e 2014 a publicação de artigos sobre a temática apresentou um comportamento relativamente estável, com uma média de 01 a 02 publicações a cada ano, mas com nenhum artigo publicado nos anos de 1998, 1999, 2002, 2007 e 2013. No último quadriênio (2015-2019), houve um crescimento das publicações, com 56,7% dos artigos publicados. Os anos de 2001, 2006, 2017 e 2019 são picos de publicações, em que se registram mais artigos que no ano anterior ou posterior (com exceção do ano de 2019).

Torna-se de fundamental importância para o desenvolvimento desse estudo a identificação dos principais eventos e conferências sobre o meio ambiente que abordam a temática de mudanças climáticas, degradação de terra e desertificação. Os resultados podem ser verificados na Figura 2.

Figura 2 – Linha do tempo das principais convenções e debates que discutem a desertificação, a degradação das terras e as mudanças climáticas



Fonte: elaboração própria, 2019.

O crescimento exponencial das publicações sobre a temática degradação da terra e desertificação na década de 1990 em relação às duas décadas anteriores deve-se à realização da

Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, também conhecida como Eco-92, e a implementação da Convenção de Combate à Desertificação (UNCCD), da ONU, que entrou em vigor em 1996, para impulsionar a pesquisa científica sobre a degradação da terra.

É importante destacar que a degradação da terra e a desertificação são temas de muito debate na literatura científica, principalmente em relação às bases conceituais e escalas espaciais que as diferenciam. A complexidade do tema ocorre devido à natureza interdisciplinar de tais processos, englobando indicadores biológicos, físicos, socioeconômicos, perspectivas metodológicas, que podem ter interpretações regionalmente específicas (HIGGINBOTTOM e SYMEONAKIS, 2014).

Independentemente dos problemas conceituais e da falta de clareza científica sobre os métodos e indicadores de avaliação, a degradação da terra e a desertificação foram reconhecidas como ameaças ao meio ambiente global com impactos diretos sobre bem-estar humano e bem-estar social (MA, 2005b). Essa preocupação global fica evidente ao se verificar que a UNCCD foi ratificada por 197 partes, muitas das quais consideram-se afetadas pela desertificação, mesmo quando as áreas afetadas dos países não estão situadas nas terras secas, tal como originalmente definido na Convenção da ONU (VOGT et al., 2011).

A UNCCD, no Artigo 1 (f), define degradação do solo como a redução ou perda, nas zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas, da produtividade biológica ou econômica e da complexidade das terras em suas mais variadas atividades de uso e cobertura, devido aos sistemas de utilização da terra ou a um processo ou combinação de processos, incluindo os que resultam da atividade do homem e das suas formas de ocupação do território, tais como: I) a erosão do solo causada pelo vento e/ou pela água; II.) a deterioração das propriedades físicas, químicas e biológicas ou econômicas do solo; e III) a destruição da vegetação por períodos prolongados. Também no Artigo 1 (a), a desertificação é definida como a degradação da terra nas zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultante de vários fatores, incluindo as variações climáticas e as atividades humanas (BRASIL, 2003).

As definições da UNCCD para degradação da terra e desertificação apresentam semelhanças e diferenças entre si, o que implica em dois processos não idênticos, mas intimamente interligados (VOGT et al., 2011). Pode-se perceber que o Artigo 1 da UNCCD equipara “desertificação” com “degradação da terra” (“desertificação” significa “degradação da terra...”), além de inferir que “redução ou perda de ou produtividade econômica” é uma expressão de ambos os processos.

Outras semelhanças entre o tratamento da desertificação e o tratamento de degradação

do solo pelo Artigo 1 incluem (a) restringir desertificação e degradação da terra em áreas áridas, semiáridas e áreas subúmidas secas e (b) seres humanos que envolvam ambos os processos [Artigo 1 (a) e 1 (f)]. Desse modo, a UNCCD não define apenas a desertificação e a degradação da terra por estado (redução ou perda) de um serviço ecossistêmico de apoio (produtividade biológica), mas também incorpora na definição (a) a causa ou o condutor da mudança desse serviço (atividades humanas) e (b) o limite espacial (climatológico) desses fenômenos (VOGT et al., 2011).

Por outro lado, as definições de degradação da terra e desertificação apresentam distinções no que se refere às suas causas, em que além de "atividades humanas", apenas a desertificação é impulsionada também por "variações climáticas" [Artigo 1, alíneas (a) e (b)]; também somente para a degradação da terra, o texto implica que "atividades humanas" causem degradação da terra quando realizada em uma variedade de tipos de terra habitualmente usado por pessoas [Artigo 1 (f)] (VOGT et al., 2011).

De acordo com o documento a Avaliação do Ecossistema do Milênio, as terras secas compreendem mais de 40% dos terrestres globais e abrigam quase 35% da população global, ao passo que entre 10 e 20% dessas terras já estão afetadas pela desertificação, principalmente devido ao insustentável uso da terra sob condições climáticas altamente variáveis (MA, 2005a, b). Este processo reduz a capacidade da terra de fornecer serviços ecossistêmicos que são vitais para a existência humana, tais como a redução da produção de culturas, forragem, combustível e madeira, bem como a disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos (VOGT et al., 2011).

O texto da UNCCD estabeleceu o limite climático das terras secas com um valor de índice de aridez (uma razão entre a precipitação anual e a evapotranspiração potencial) entre 0,05 e 0,65 [Artigo 1 (g)], sendo este índice adotado para o Atlas Mundial da Desertificação do PNUMA – uma referência mundial sobre o tema. Segundo esta definição, "o grau de aridez de uma região depende da quantidade de água advinda da chuva (P) e da perda máxima possível de água através da evaporação e transpiração (ETP)" (BRASIL, 1999), cuja fórmula foi estabelecida por THORNTHWAITE (1941) e posteriormente aprimorada por Penman (1953), a fim de que se elaborasse a classificação que é hoje aceita internacionalmente (Tabela 3).

Tabela 3 – Categorias de clima de acordo com o índice de aridez

Classificação	Índice de Aridez
Hiperárido	< 0,05
Árido	0,05 – 0,20
Semi-árido	0,21 – 0,50

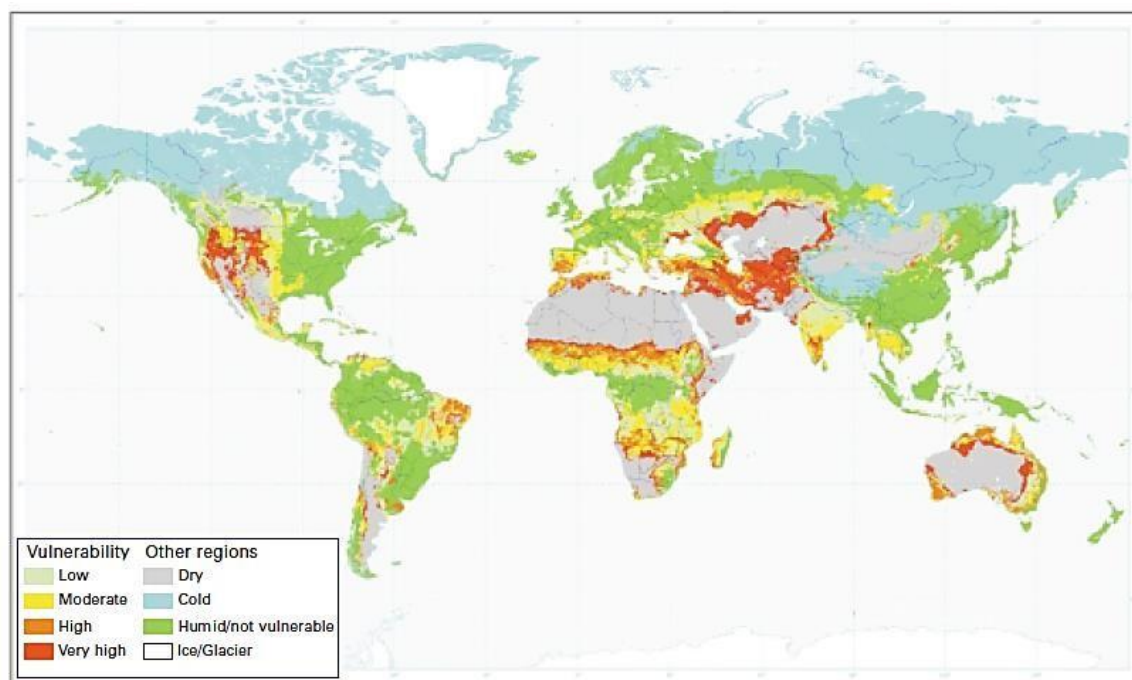
Sub-úmido Seco	0,51 – 0,65
Sub-úmido e úmido	> 0,65

Fonte: MATALLO JUNIOR, 2003.

Na década de 1990 foi lançado o World Atlas of Desertification (MIDDLETON; THOMAS, 1992), que adotou o mesmo conceito da razão P/ETP, para a definição das terras secas, porém alterou os intervalos de classificação para: zona hiperárida ($P/ETP < 0,05$); zona árida ($0,05 < P/ETP < 0,20$); zona semiárida ($0,20 < P/ETP < 0,50$) e zona subúmida seca ($0,50 < P/ETP < 0,65$) (SOARES, 2016). Segundo MATALLO JÚNIOR (2003), esta classificação das terras secas passou a ser adotada em larga escala, servindo de parâmetro, inclusive, para a definição das Áreas Suscetíveis à Desertificação na Convenção das Nações Unidas sobre o tema.

A Figura 3 apresenta as áreas do planeta vulneráveis à degradação da terra, classificadas segundo o índice de aridez.

Figura 3 – Áreas do planeta vulneráveis à degradação da terra segundo o índice de aridez



Fonte: WMO, 2005.

De acordo com o relatório do Escritório de Combate à Desertificação e Seca (UNSO) do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), em escala global, aproximadamente 54 milhões de km², ou 40% da área terrestre, estão ocupados por terras secas. Cerca de 29,7% dessa área está situada em regiões áridas, 44,3% em regiões semiáridas e 26%

em regiões subúmidas. Como pode ser observado na Figura 4, a maior parte das terras secas está na Ásia (34,4%) e África (24,1 por cento), seguida pela América (24%), Austrália (15% cento) e Europa (2,5%) (WMO, 2005).

É importante pontuar que o índice de aridez utilizado para o mapeamento das terras secas globais, conforme apresentado no *World Atlas of Desertification* — WAD (Atlas Mundial de Desertificação), foi calculado com base nas médias de longo prazo de precipitação e temperatura, cujos valores foram coletados no período de 1951 a 1980 (VOGT et al., 2011). Todavia, algumas regiões do planeta se tornaram mais secas desde então (IPCC, 2007b); as chuvas diminuem e a evapotranspiração deve aumentar em muitas regiões em meados do século XXI (IPCC, 2008). Desse modo, terras antes identificadas como não secas devido às suas condições climáticas durante a escala temporal utilizada já podem ter se tornado ou possivelmente se qualificarão como terras secas no futuro (VOGT et al., 2010).

Dado o exposto, a tendência de expansão de terras secas impulsionada pelas mudanças climáticas deve ser considerada na configuração do limite espacial no texto da UNCCD, para incluir no futuro terras que atualmente são classificadas como não secas. Essa tendência também sugere que “a redução de produtividade” como expressão da degradação do solo é provável ocorrer também devido às mudanças climáticas induzidas pelo homem, não somente como consequência de processos relacionados ao uso humano da terra, como especificamente mencionado no Artigo 1 (f) da UNCCD (VOGT et al., 2011).

3.2 A interdisciplinaridade nos estudos sobre degradação da terra e desertificação

As questões ambientais constituem um objeto de pesquisa extremamente complexo, que requer pesquisas interdisciplinares. Com efeito, tem ocorrido nas últimas décadas um debate epistemológico em todos os campos de especialização científica sob uma perspectiva interdisciplinar, em vista de uma maior compreensão e domínio da problemática ambiental (CARNEIRO, 1994).

De acordo com a definição estabelecida por LÉLÉ & NORGAARD (*apud* MARANHÃO, 2010), o termo interdisciplinaridade pode ser usado para descrever todos os tipos de cruzamentos entre as disciplinas, desfazendo as sutis diferenças entre multi-, inter- e trans-, levantadas em discussões mais elaboradas sobre o assunto. Assim, face à complexidade da investigação das questões ambientais, cujas relações de interdependência dos processos naturais e sociais escapam às explicações de uma única disciplina (FLORIANI, 2006), a prática interdisciplinar de pesquisa assume fundamental importância na análise e resolução dos

problemas ambientais.

Considerando as publicações relacionadas ao objetivo desse estudo, a Tabela 4 apresenta a distribuição dos artigos segundo as subáreas científicas, no sentido de demonstrar a interdisciplinaridade dos estudos relacionados à temática.

Tabela 4 – Distribuição das publicações sobre metodologias e indicadores biofísicos de LDD em terras secas, segundo as subáreas das Ciências (1997-2019)

Áreas das ciências	Número de publicações
Ciência Ambiental	33
Ciências da Terra e do Planeta	24
Ciências Biológicas e Agrícolas	22
Ciências Sociais	14
Ciência da Computação	3
Ciências da Decisão	3
Engenharia	3
Economia, Econometria e Finanças	1
Artes e Humanidades	1
Ciência de Materiais	1
Matemática	1
Física e Astronomia	1

Fonte: Elaboração própria, 2019.

Os resultados apresentados na Tabela 4 evidenciam que as publicações analisadas se distribuem entre múltiplas áreas do conhecimento, confirmando o caráter interdisciplinar das pesquisas sobre degradação da terra e desertificação (LDD). Conforme observam CARNEIRO (1994) e FAZENDA (1993), a interdisciplinaridade é indispensável à compreensão de problemas socioambientais complexos, pois demanda a articulação entre dimensões naturais, sociais e tecnológicas.

As pesquisas sobre degradação de terras e desertificação foram publicadas em periódicos relacionados a doze grandes áreas do conhecimento científico: Ciências Ambientais (33), Ciências da Terra e do Planeta (24), Ciências Biológicas e Agrícolas (21) e Ciências Sociais (14). As demais subáreas aparecem com índices de 3 a 1 publicação. O predomínio das Ciências Ambientais revela o enfoque ecológico e técnico predominante nas análises, voltado à mensuração de indicadores biofísicos e à modelagem espacial dos processos de degradação.

Por outro lado, a presença crescente das Ciências Sociais e Humanas amplia o debate

para as dimensões políticas, culturais e econômicas da LDD, permitindo compreender os condicionantes históricos e sociais da degradação dos solos. Essa convergência epistemológica se expressa em estudos que integram dados biofísicos, variáveis socioeconômicas e abordagens participativas, promovendo um diálogo entre a ciência e as comunidades locais. Assim, a LDD consolida-se como um fenômeno socioambiental global e interdisciplinar, cuja análise requer a combinação de múltiplos métodos, escalas e linguagens científicas (DREGNE, 2002; STRINGER & REED, 2007; COWIE et al., 2017).

Nesse sentido, a interdisciplinaridade constitui um paradigma metodológico que visa o encontro entre especialistas de diversas áreas do conhecimento, numa perspectiva de se buscar respostas a novos problemas por meio das trocas de dados, de informações, de resultados, de metodologias etc. (FAZENDA, 1979; FAZENDA, 1993, apud CARNEIRO, 1994). Assim, problemas reais e complexos como a LDD exigem da comunidade científica uma atitude de colaboração dos pesquisadores frente ao desafio de uma prática coletiva, conjugando diversas áreas do conhecimento num campo comum de pesquisa.

3.3 Fator de impacto das revistas e periódicos de destaque

O uso de periódicos científicos de alto impacto consolida a formação do pesquisador e sua inserção na comunidade acadêmica, ao expor à escrita técnico-científica qualificada (TACHIZAWA; MENDES, 2006). O *Journal Citation Reports* (JCR), do ISI/Thomson, ao quantificar o Fator de Impacto (FI), orienta prioridades de publicação e estrutura percepções de qualidade (ADLER; HARZING, 2009).

Em termos operacionais, o fator de impacto (FI), conforme metodologia do ISI, é calculado dividindo-se o número total de citações, em um determinado ano, dos artigos publicados nos dois anos anteriores, pelo número de artigos científicos divulgados na mesma revista no mesmo período (SAHA; SAINT; CHRISTAKIS, 2003). Tal indicador reflete o prestígio acadêmico e a relevância dos periódicos na difusão do conhecimento, sendo amplamente utilizado para avaliar seu alcance e influência, constituindo importante canal de comunicação científica (SILVA, 2002). No campo da LDD, o FI representa uma medida indireta de impacto das agendas temáticas, embora não esgote a análise de mérito ou relevância regional.

Além disso, o sistema Qualis/CAPES, utilizado no Brasil para avaliar a produção científica, adota o fator de impacto como um dos critérios de classificação dos periódicos, relacionando os estratos (A1, A2, B1, B2, etc.) ao prestígio internacional. Essa relação, porém,

exige cautela, pois nem sempre um alto FI reflete a relevância prática de áreas como Geografia e Ciências Ambientais, que valorizam também a aplicabilidade social dos resultados. Na pesquisa sobre LDD, a combinação entre FI e Qualis permite uma análise mais equilibrada, integrando visibilidade internacional e contribuição local, em que periódicos de médio impacto, como a Revista Brasileira de Geografia Física (A2) e a Revista Arecê (A2), fortalecem redes científicas voltadas à gestão sustentável da terra e ao cumprimento do ODS 15.3.

A Tabela 5 apresenta as dez revistas com maior número de artigos publicados abordando o escopo deste estudo. A análise foi feita por meio da base de dados no Portal de Periódicos da Capes (www.periodicos.capes.gov.br), em outubro de 2019.

Tabela 5 – Distribuição dos 10 periódicos que mais publicaram sobre indicadores biofísicos e metodologias de avaliação da LDD (1997-2019)

Periódicos / País de Origem	*NP	JCR (2018)	Estrato Qualis
<i>Land Degradation & Development</i> (Reino Unido - Inglaterra)	5	4.275	A1
<i>Ecological Indicators</i> (Países Baixos/Holanda)	3	4.490	A1
<i>Sustainability Switzerland</i> (Suíça)	3	n.d.	A2
<i>International Journal Of Remote Sensing</i> (Reino Unido)	2	2.493	A2
<i>Landscape Ecology</i> (Países Baixos/Holanda)	2	2.493	A2
<i>Environmental Earth Sciences</i> (Alemanha)	2	1.871	A2
<i>Environmental Monitoring And Assessment</i> (Países Baixos/Holanda)	2	1.959	A3
<i>Journal Of Arid Environments</i> (Reino Unido)	2	1.825	B1
<i>Journal Of Applied Remote Sensing</i> (Estados Unidos)	2	1.344	B1
<i>Arabian Journal Of Geosciences</i> (Arábia Saudita)	3	1.141	B1

*NP = Número de Publicações.

*Journal Citation Reports (JCR): Fator de Impacto atribuído os periódicos científicos.

Fonte: Elaboração própria, 2025.

A Tabela 5 apresenta um núcleo de revistas internacionais de alta reputação (elevado FI

JCR e estratos superiores no Qualis/CAPES), com destaque para *Land Degradation & Development (LD&D)* e *Ecological Indicators*, ambas A1, que concentram pesquisas de fronteira em LDD, indicadores e monitoramento ambiental. LD&D, com 5 artigos (JCR 4,275), emerge como foro especializado do tema, enquanto *Ecological Indicators*, com 3 artigos (JCR 4,490), reflete a centralidade dos indicadores ambientais (NDVI, SOC e LULC) na agenda de avaliação e monitoramento. A presença dessas duas revistas A1 alinha a produção analisada a debates de alta visibilidade e rigor metodológico, reforçando a robustez do recorte bibliométrico e o posicionamento do capítulo em Geociências/Ecologia.

O grupo de periódicos com A2, integrado pelos periódicos *International Journal of Remote Sensing*, *Landscape Ecology* e *Environmental Earth Sciences*, confirma a interdisciplinaridade do campo, ancorando-se em sensoriamento remoto, ecologia de paisagens e geociências. O periódico *Sustainability Switzerland* aparece com A2 e JCR não disponível no recorte, mas atua como canal transversal que absorve estudos de sustentabilidade com métodos mistos e discussões de política pública. A presença de periódicos B1 (*Journal of Arid Environments*, *Journal of Applied Remote Sensing* e *Arabian Journal of Geosciences*) sinaliza capilaridade temática e regional, acomodando estudos aplicados, estudos de caso e avanços metodológicos incrementais, essenciais para transferência de métodos e amadurecimento de agendas locais.

Do ponto de vista macro, o JCR médio (~2,82) dos dez periódicos evidencia maturidade e internacionalização da produção em LDD, mas a distribuição geográfica mostra concentração europeia (~72%) e baixa participação latino-americana (~5%). Literariamente, isso revela um eixo editorial dominante (Europa/Reino Unido/Países Baixos) e, cientificamente, explicita vieses linguísticos e institucionais favoráveis ao inglês, com barreiras de entrada para as produções do Sul Global. Para elevar o impacto e reduzir assimetrias, recomenda-se: (i) estratégia de dupla submissão linguística (inglês + português/espanhol em repositórios), (ii) coautorias internacionais focadas em redes de indicadores (NDVI/SOC/LULC) e frameworks (M/ESAI), e (iii) alinhamento explícito com a meta 15.3 (UNCCD) na carta-cobertura das submissões. Essas táticas dialogam diretamente com o perfil editorial de *Land Degradation & Development* e *Ecological Indicators*, ampliando citações e transferibilidade metodológica.

De modo geral, os periódicos de maior visibilidade estão associados a campos interdisciplinares, como Ecologia, Geociências e Sensoriamento Remoto, o que reflete a natureza integradora da LDD. Essas revistas constituem espaços de diálogo e convergência epistemológica, ao abrigarem estudos que integram indicadores biofísicos, variáveis socioeconômicas e metodologias espaciais, fortalecendo a cooperação científica internacional

(DREGNE, 2002; STRINGER & REED, 2007; COWIE et al., 2017).

3.4 Evolução temporal dos países e institutos de pesquisa (1997–2019)

A análise da produção científica sobre degradação da terra e desertificação (LDD) entre 1997 e 2019 revela um crescimento acentuado da produção mundial a partir da criação da UNCCD, firmada em 1994 e operacionalizada em 1997. O impulso proporcionado por esse marco internacional levou à emergência de novas agendas de pesquisa, redes interinstitucionais e programas de monitoramento de solos e de ecossistemas áridos e semiáridos.

O levantamento bibliométrico demonstra que, na década de 1990, predominavam estudos exploratórios com foco em metodologias locais de diagnóstico, sobretudo na Europa e em países mediterrâneos. Na década de 2000, observam-se a consolidação de redes internacionais e o surgimento de centros especializados, como o Centro Chinês de Combate à Desertificação (CCICCD, 2006), ligado ao governo da China, e a intensificação da produção pela Chinese Academy of Sciences, que se tornou o principal polo mundial de publicações sobre LDD.

Na década de 2010, a expansão da agenda dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e a introdução da meta 15.3 (UNCCD, 2015) promoveram um salto quantitativo e qualitativo nas publicações científicas. Essa tendência é visível no aumento expressivo de artigos indexados após 2015, acompanhando o fortalecimento de metodologias integradas, como o NDVI, o SOC, o LULC e o Índice de Aridez (P/ETP), utilizados em relatórios e programas institucionais.

A China consolidou-se como o país com maior número de publicações, responsável por mais de um quarto da produção mundial. Além de liderar quantitativamente, o país estruturou uma rede de observatórios de desertificação e criou laboratórios nacionais voltados ao estudo do manejo sustentável do solo. O protagonismo chinês reflete não apenas a severidade da degradação ambiental em seu território (DELANG, 2018), mas também o investimento estratégico em ciência aplicada, com destaque para a Chinese Academy of Sciences e o Cciccd (2006).

Na Europa, verifica-se a forte atuação de instituições tradicionais como a *Wageningen University and Research Centre* (Holanda), o *Deutsches Geo Forschungs Zentrum – Gfz* (Alemanha) e a *Leeds University* (Reino Unido). Esses centros mantêm liderança em modelagem espacial, sensoriamento remoto e avaliação de vulnerabilidade ambiental. O continente europeu também foi pioneiro na aplicação do modelo MEDALUS (KOSMAS et al.,

1999) e do índice ESAI (SALVATI et al., 2014), metodologias amplamente replicadas em outras regiões.

Já o Brasil iniciou uma trajetória mais modesta, com uma inserção científica tímida até meados da década de 2000. A partir de 2004, o país passou a participar mais efetivamente de projetos e redes de pesquisa vinculadas à UNCCD, sobretudo por meio da EMBRAPA Semiárido, das universidades federais do Nordeste (UFPE, UFRPE, UFPI, UNEB) e de programas apoiados pelo Ministério do Meio Ambiente. Embora o número de publicações ainda seja reduzido, nota-se um avanço na integração entre indicadores biofísicos e gestão territorial, refletindo o esforço para adaptar metodologias globais às realidades do semiárido brasileiro.

Essa evolução temporal é sintetizada na Tabela 6, que apresenta a distribuição da produção científica por década, evidenciando o salto observado após a implementação da UNCCD e a consolidação dos ODS.

Tabela 6 – Evolução temporal das publicações sobre LDD em escala mundial (1997–2019)

Década	Eventos e marcos institucionais	Países/instituições com maior produção	Tendências principais
1990–1999	Criação e ratificação da UNCCD (1994–1997)	Itália, Espanha, França	Estudos exploratórios e metodologias locais
2000–2009	Formação de redes e centros especializados	China (CCICCD, 2006; Chinese Academy of Sciences)	Expansão da produção e consolidação metodológica
2010–2019	Agenda 2030 e ODS 15.3 (UNCCD, 2015)	China, Alemanha, Holanda, Reino Unido, Brasil (EMBRAPA)	Integração de indicadores (NDVI, SOC, LULC, P/ETP) e modelagem global

Fonte: Elaboração própria (2019).

A tendência de crescimento observada após 1997 evidencia a eficácia da UNCCD como catalisadora de políticas e programas científicos internacionais. Entre 2000 e 2019, o número de publicações sobre LDD aumentou exponencialmente, refletindo o amadurecimento das abordagens metodológicas e o fortalecimento da cooperação interinstitucional. Apesar disso, a desigualdade geográfica na produção científica ainda é significativa, com predominância de países da Ásia e Europa e participação incipiente da América Latina.

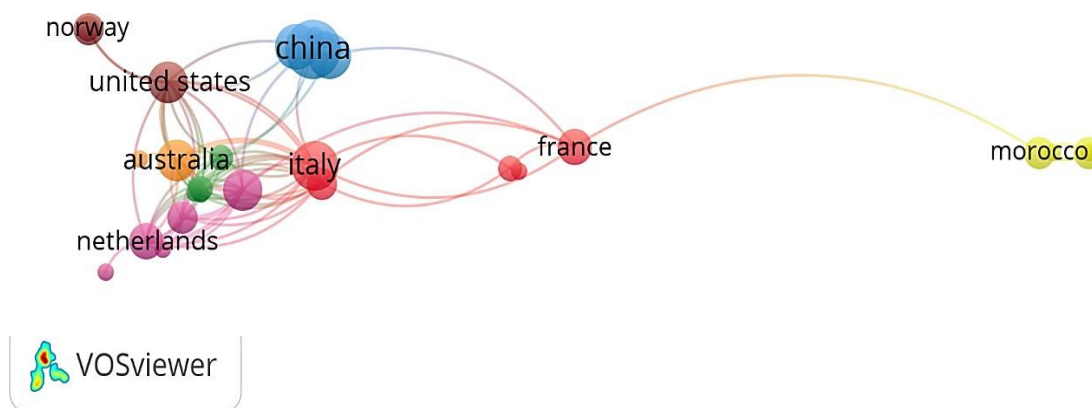
A partir da década de 2010, o Brasil vem ampliando sua presença, integrando indicadores nacionais ao sistema global de monitoramento e reforçando a importância da cooperação Sul–Sul em temas de gestão ambiental e adaptação climática.

3.5 Análise relacionada aos países das publicações

A análise textual de títulos, resumos e palavras-chave de artigos indexados na Scopus entre 1997 e 2019 permitiu identificar os termos mais recorrentes e as principais tendências conceituais nas pesquisas sobre Neutralidade e Degradação das Terras (LDD). O estudo também evidenciou a estrutura temática da produção científica global e as relações entre autores, países e instituições.

Por meio da análise de redes de coautoria dos países com publicações sobre LDD, pode-se identificar como pesquisadores, instituições de pesquisa ou países se relacionam de acordo com a quantidade de estudos que realizam e publicam conjuntamente (VAN ECK e WALTMAN, 2014). No caso analisado, os grandes “nós” representam os países mais influentes como lócus de origem da publicação, em razão do número de citações, atuando como eixos estruturantes da rede global. As ligações entre esses “nós” evidenciam as relações de cooperação entre os países. No mapa de coautoria dos países (Figura 4), observa-se a presença de sete *clusters* mais importantes.

Figura 4 – Mapa de coautoria dos países com publicações sobre LDD (1997-2019)



Fonte: Elaboração própria, 2019.

O *cluster* marrom, liderado pelos Estados Unidos, desponta como o principal elo de interconexão entre os demais grupos, devido à sua ampla rede de colaboração com países da Europa, da Oceania e da África. Os EUA atuam como hub científico, articulando pesquisas de referência em modelagem espacial e indicadores globais de degradação da terra (NDVI, SOC e LULC), com destaque para parcerias com Etiópia e Noruega, países que representam, respectivamente, o avanço de metodologias aplicadas a zonas áridas africanas e a contribuição

em bases de dados ambientais de alta resolução. Essa centralidade confirma o protagonismo norte-americano na difusão dos métodos e modelos adotados por agências internacionais, como a FAO e a UNCCD (2015).

O *cluster* azul tem como núcleo a China, cuja expansão científica após 2000 reflete a consolidação de instituições como a *Chinese Academy of Sciences* e o *China Committee for Implementation of the UNCCD* (CCICCD). A China destaca-se tanto pela quantidade de publicações quanto pela diversidade temática, integrando estudos de modelagem climática, sensoriamento remoto e avaliação biofísica (WANG et al., 2006; BAI et al., 2008). As conexões da China com a Espanha, o Irã, o México e Hong Kong indicam a crescente internacionalização de sua produção científica, apesar de persistirem barreiras linguísticas e editoriais que limitam o número de citações em periódicos de língua inglesa.

O *cluster* vermelho, liderado pela Itália, evidencia a tradição europeia nas pesquisas sobre degradação e desertificação. Autores italianos como SALVATI et al. (2014) e KOSMAS et al. (1999, 2013) foram responsáveis por consolidar metodologias amplamente utilizadas, como o MEDALUS e o ESAI, aplicadas não apenas em países mediterrâneos, mas também adaptadas a regiões semiáridas da América do Sul e do Norte da África. A Itália, juntamente com França, Argentina e Dinamarca, atua como ponte entre a produção científica do norte global e a de países emergentes, demonstrando um alto grau de interligação nos mapas de coautoria.

O *cluster* roxo, cuja centralidade é ocupada pela Alemanha, reúne países europeus e africanos (Cabo Verde, Holanda, Reino Unido e Uzbequistão). Tal país se destaca pelo apoio institucional a programas da UNCCD e da ESA, atuando como referência em modelagem geoespacial e na validação de indicadores globais, além de promover a integração acadêmica por meio de consórcios internacionais (VOGT et al., 2011).

O *cluster* verde possui a maior representatividade do Canadá e grega países como Botswana, Namíbia, Líbia e Suíça, cujas produções científicas mantêm relações com os Estados Unidos, Itália, Holanda e Austrália. Essa interconectividade reforça a capacidade do Canadá de transitar entre abordagens quantitativas de alta precisão (por meio do sensoriamento remoto) e políticas públicas de manejo sustentável de terras degradadas (REED; DOUGILL; BAKER, 2011). A relevância canadense decorre da liderança em estudos sobre mudanças no uso da terra e políticas de mitigação climática, com forte integração às pesquisas dos Estados Unidos e da Austrália.

O *cluster* laranja, liderado pela Austrália, destaca-se pela contribuição a estudos sobre zonas áridas e semiáridas, especialmente em cooperação com o Brasil, os Estados Unidos e a

Itália. O país é reconhecido pelo desenvolvimento de tecnologias de monitoramento baseadas em séries temporais de vegetação e pelo protagonismo na formulação do conceito de Neutralidade da Degradação da Terra (LDN) em articulação com a UNCCD (2015). A parceria australiana-brasileira, ainda incipiente, tem potencial estratégico para o intercâmbio de metodologias aplicadas à recuperação de ecossistemas degradados.

O *cluster* amarelo, por sua vez, centrado em Marrocos e composto por países como Tajiquistão, Tunísia, Jordânia e Irlanda, revela uma configuração periférica dentro da rede global de coautoria sobre LDD. Sua baixa densidade de conexões indica não apenas uma limitação estrutural na cooperação científica, mas também a ausência de projetos multidisciplinares ou consórcios internacionais capazes de ampliar sua inserção no debate global. Apesar disso, observa-se uma dependência estratégica da Itália, que atua como principal ponte de circulação do conhecimento para esse grupo, sugerindo um fluxo assimétrico em que a produção desses países se integra ao sistema científico internacional mais por mediação externa do que por articulação interna.

A análise bibliométrica das redes de coautoria evidencia que o Marrocos, embora tenha um papel significativo na produção científica sobre LDD, ocupa posição periférica no sistema global de pesquisa, configurando-se como um nó isolado no *cluster* amarelo da rede de países. Embora apresente avanços técnicos em estudos locais, como os voltados à detecção de erosão, ravinamento e variações de cobertura vegetal nas regiões do Atlas Central, Souss-Massa e Saara Ocidental, a produção científica marroquina até 2019 demonstra baixa inserção internacional, com reduzida participação em coautorias e escassa visibilidade em bases indexadas (SHRUTHI; KERLE; JETTEN, 2011).

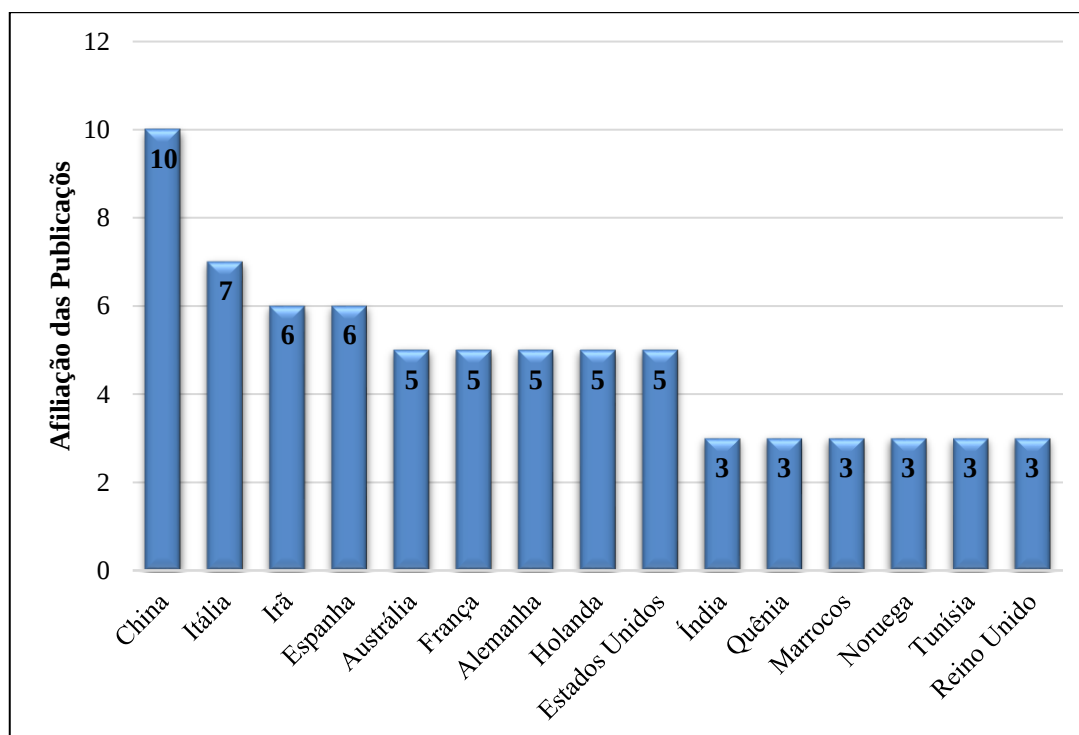
As causas centrais desse isolamento relacionam-se a restrições institucionais e financeiras, barreiras linguísticas (com predominância de publicações em francês) e baixa internacionalização editorial, fatores que limitam a participação marroquina em redes patrocinadas por organismos como a UNCCD e a FAO. Mesmo as parcerias recentes com a ESA permanecem restritas a aplicações técnicas, sem articulação duradoura com centros de referência da Europa ou da Ásia. Assim, o caso marroquino ilustra como fragilidades estruturais e barreiras linguísticas restringem a integração científica de países em desenvolvimento, reforçando a necessidade de cooperação multilateral e de internacionalização do conhecimento para fortalecer sua contribuição à agenda global da Neutralidade da Degradação da Terra (LDN).

A degradação da terra e a desertificação estão entre as questões ambientais mais sérias nas escalas globais, regionais e locais (UNEP, 1992; IMESON, 1996 apud KOSMAS et al.,

2014). Nesse sentido, a partir da década de 1990, houve um crescimento mais acentuado de pesquisas relacionadas a esses processos em países de todos os continentes. Com o surgimento da Convenção de Combate à Desertificação (UNCCD) da ONU, em 1996, os países passaram a aderir a acordos decorrentes de convenções internacionais, comprometendo-se a elaborar metas e planejamentos para diagnosticar, monitorar e mitigar os problemas de degradação em terras secas (COSTA, 2019).

O Gráfico 3 apresenta os países que mais publicaram sobre indicadores biofísicos e metodologias de avaliação da degradação da terra e da desertificação em todo o mundo.

Gráfico 3 – Os 15 países que mais publicaram sobre indicadores biofísicos e metodologias de avaliação de LDD (1997-2019)



Fonte: Elaboração própria (2019).

Entre os 37 países que se destacaram na produção científica sobre degradação da terra e desertificação, a China apresenta a maior representatividade, com 26,31% do total de artigos (n = 10) publicados sobre o tema, seguida da Itália (18,42%, n = 07), Irã e Espanha (15,79%, n = 06). Em seguida aparecem Austrália, França, Alemanha, Holanda e Estados Unidos, com 13,15% das publicações (05 artigos por cada país). Outros países também têm importantes contribuições nessa área, como a Índia, Quênia, Marrocos, Tunísia, com 7,9% de artigos indexados na *Scopus* (n = 03). O Brasil aparece com apenas 01 publicação (2,63%).

Embora a concentração das publicações em poucos países revele assimetrias claras na

capacidade de pesquisa, esses dados também evidenciam a consolidação de polos científicos especializados em regiões áridas e semiáridas, como o Mediterrâneo, a Ásia Central e o Leste Asiático. A baixa participação de países latino-americanos, especialmente do Brasil, contrasta com a relevância socioambiental da temática no semiárido e indica a necessidade de fortalecer redes de colaboração internacional, ampliar investimentos em pesquisa aplicada e estimular políticas de fomento que integrem universidades, órgãos ambientais e centros de monitoramento. Essa lacuna sugere oportunidades significativas para o avanço da produção científica nacional sobre degradação da terra e desertificação.

Para a análise em termos de países envolvidos nas pesquisas sobre degradação da terra e desertificação, a Tabela 7 complementa as informações do Gráfico 3 por meio de um histograma da participação das instituições com publicações relacionadas à temática desse estudo.

Tabela 7 – Os 12 institutos mundiais com maior número de publicações sobre LDD (1997-2019)

Afiliação das Publicações	*NP	País
Chinese Academy of Sciences	6	China
University of Tehran	4	Irã
Wageningen University and Research Centre	3	Holanda
Universitetet for miljø- og biovitenskap	3	Noruega
University of Leeds	3	Reino Unido
Yazd University	2	Irã
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas	2	Argentina
Deutsches Zentrum für Luft- Und Raumfahrt	2	Alemanha
Observatoire Midi-Pyrénées	2	França
Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ	2	Alemanha
Københavns Universitet	2	Dinamarca
University of Western Australia	2	Austrália

*NP = Número de Publicações.

Fonte: Elaboração própria, 2019.

Com relação aos institutos que mais publicam, a *Chinese Academy of Sciences*, da China, aparece em primeiro lugar, com 18,18% dos artigos publicados (n = 06). O Irã também tem papel de destaque nos estudos sobre degradação da terra e desertificação, com quatro

publicações pela *University of Tehran* (12,12%) e duas publicações pela *Yazd University* (6,06%). Na Europa, a Alemanha é o país com maior número de artigos publicados (12,12%), com duas publicações pelo *Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt* e duas pelo *Deutsches Geo Forschungs Zentrum GFZ*.

Logo em seguida, aparecem instituições europeias, com a Holanda (*Wageningen University and Research Centre*), a Noruega (*Universitetet for miljø- og biovitenskap*) e o Reino Unido (*University of Leeds*), que representam 9,09% das publicações (n = 03). Outras instituições também se destacam nas pesquisas sobre essa temática, nos diferentes continentes, com 6,06% das publicações de cada um deles (n = 02): *Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas* (Argentina), *Observatoire Midi-Pyrénées* (França), *Københavns Universitet* (Dinamarca) e *University of Western Australia* (Austrália).

Verifica-se, desse modo, que, embora a *Chinese Academy of Sciences* (China) seja o instituto com maior número de publicações sobre LDD, no conjunto, as instituições de países europeus são responsáveis por 57,57% dos artigos publicados sobre a temática. A liderança da China nas pesquisas sobre essa temática deve-se ao fato de que o país está entre os mais afetados do mundo em termos de extensão, intensidade e impacto econômico da degradação do solo (BERRY, 2002). Com efeito, o território chinês está sujeito às condições mais severas do mundo em termos de degradação do solo, com mais de 40% de sua área terrestre afetada pela erosão (DELANG, 2018).

O primeiro artigo a tratar dos processos de degradação de terras e de desertificação no território chinês foi publicado em 1979, intitulado *Land use planning in China, an ecological way of development* (ALBRECHT et al., 1979). Todavia, esse estudo não pode ser considerado de grande impacto no meio científico sobre a temática LDD, em razão da ausência de citações na base de dados da *Scopus*. Nas décadas de 1980 e 1990, observa-se crescimento da produção científica relacionada à temática (total de 79 publicações indexadas na *Scopus*), mas é nas duas últimas décadas que se registra o crescimento exponencial de pesquisas sobre LDD na China, totalizando 4.129 publicações indexadas na *Scopus* entre 2001 e 2019. Esse fato reflete a maior preocupação de pesquisadores e do Governo com os processos de degradação das terras e desertificação no território chinês.

A degradação da terra gera altos custos econômicos e afeta imensamente a China, com amplas consequências sociais e ambientais, como a redução da terra utilizável na agricultura e a diminuição da produção agrícola, além da salinização e da acidez do solo e, em casos mais graves, a desertificação (LADA, 2010). Nesse contexto, o aumento expressivo das pesquisas e publicações chinesas sobre LDD entre 1997 e 2019 está fortemente associado à consolidação

de uma agenda nacional de combate à desertificação após a ratificação da UNCCD pelo país em 1997. Desde então, a China aumentou os investimentos em políticas voltadas ao combate desse problema, criando várias instituições e centros de pesquisa, para conduzir estudos e implementar programas para o diagnóstico, o monitoramento e a mitigação dos efeitos da degradação da terra e da desertificação no país (CCICCD, 2006).

Podem ser destacados, nesse contexto, a criação de centros especializados, como o *China Committee for Implementation of the Convention to Combat Desertification* (CCICCD, 2006) e a *Chinese Academy of Sciences*, que passaram a exercer papel central na formulação de indicadores e no desenvolvimento de métodos de monitoramento da degradação da terra em escala nacional. A partir dos anos 2000, a China deu início ao processo de desenvolvimento de políticas públicas estruturantes, como o *Grain for Green Program* (LU et al., 2012) e o *National Action Programme to Combat Desertification* (NAP, 2008), impulsionaram estudos voltados à restauração de ecossistemas degradados, com forte apoio institucional do *Ministry of Science and Technology* (MOST) e da *State Forestry Administration* (SFA). Esse ambiente político e científico favorável promoveu a construção de uma base de dados nacional abrangente sobre erosão, cobertura vegetal (NDVI), estoque de carbono orgânico do solo (SOC) e uso e cobertura da terra (LULC), integrando técnicas de sensoriamento remoto e modelagem ambiental (WANG et al., 2006; WANG, 2012; WANG, 2018).

Ademais, ao considerar a afiliação dos institutos de pesquisa sobre degradação de terras e desertificação, a análise da Tabela 7 evidenciou que o país submetido à atividade de pesquisa sobre degradação de terras e desertificação não é necessariamente o país de afiliação dos institutos de publicação. Como exemplo, podem ser observados os estudos da *Wageningen University and Research Centre* (Holanda), que pesquisaram sobre a degradação da terra no Uzbequistão (*Satellite Thermography for Soil Salinity Assessment of Cropped Areas in Uzbekistan*) e em Cabo Verde (*Assessing the Biophysical Impact and Financial Viability of Soil Management Technologies Under Variable Climate in Cabo Verde Drylands: The PESERA-DESMICE Approach*), bem como as pesquisas da *University of Leeds* (Reino Unido), a respeito da degradação da terra na Etiópia (*Soil quality indices for evaluating smallholder agricultural land uses in northern Ethiopia*), e do *Observatoire Midi-Pyrénées* (França), sobre a desertificação na Espanha (*How is Desertification Research Addressed in Spain? Land Versus Soil Approaches*).

Por outro lado, as pesquisas realizadas pelas instituições da China (*Establishing a clean-quality indicator system for evaluating reclaimed land in the Antaibao opencast mine area, China, Integrated assessment of oasis maturity in Inland River Basins of China, Methods and*

applications for ecological vulnerability evaluation in a hyper-arid oasis: a case study of the Turpan Oasis, China, dentre outros) e do Irã (*The use of multivariate statistical analysis and soil quality indices as tools to be included in regional management plans. A case study from the Mashhad Plain, Iran* e *Desertification of forest, range and desert in Tehran province, affected by climate change*, entre outros, abordou a temática em seu próprio território.

De modo geral, a análise das publicações evidencia que os Estados Unidos, a China, a Itália e a Austrália configuram-se como os principais polos científicos da rede global de pesquisa sobre LDD no período de 1997 a 2019. Esses países desempenham papel central na consolidação de métodos, indicadores e modelos analíticos aplicados ao monitoramento da Neutralidade da Degradação da Terra (LDN), destacando-se pela amplitude das parcerias interinstitucionais e pela capacidade de difusão científica. Em contrapartida, países periféricos, como o Marrocos, apresentam menor inserção nas redes de coautoria, reflexo de barreiras estruturais e linguísticas que limitam a internacionalização do conhecimento.

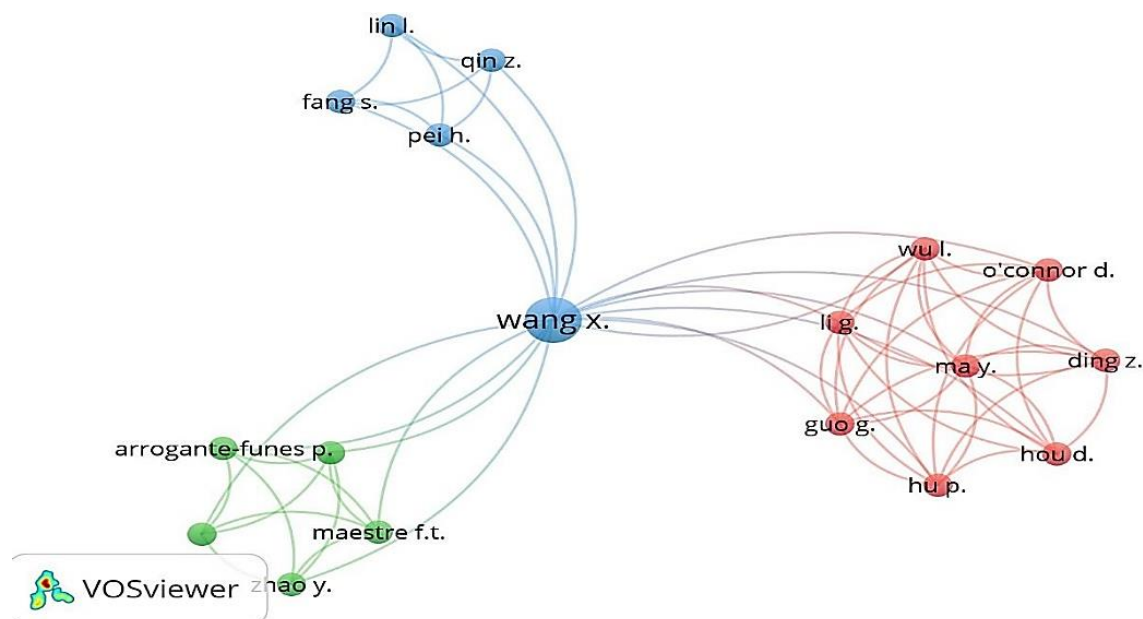
Assim, a rede global de cooperação científica revela uma estrutura assimétrica, em que os países centrais concentram o desenvolvimento teórico e metodológico, enquanto os demais contribuem principalmente com aplicações regionais e estudos de caso, reforçando a necessidade de maior integração e equilíbrio na produção científica internacional.

3.6 Análise das redes de coautoria

O combate à degradação da terra e à desertificação depende de pesquisas sobre esses processos, no sentido de identificar suas causas e assim propor medidas mitigadoras de prevenção e controle à expansão do processo em escala local, regional ou global. Com efeito, nas últimas décadas tem sido crescente o interesse de pesquisadores sobre a temática nas diversas regiões do planeta. No conjunto de 54 artigos sobre a temática desse estudo foram totalizados 244 pesquisadores, cuja autoria varia de 1 a 25 por artigo, com uma média de seis pesquisadores por publicação e a classe modal sendo de quatro autores.

A análise de coautoria realizada no VOSviewer, ao considerar apenas autores com ao menos um documento e uma citação na amostra, resultou em uma rede com 18 nós distribuídos em três clusters de colaboração. A Figura 5 apresenta o panorama global da cooperação científica sobre LDD, evidenciando três agrupamentos principais, com níveis distintos de integração, produtividade e abrangência geográfica. A disposição dos autores e suas conexões na rede refletem a hierarquia da ciência internacional e o grau de especialização e interdisciplinaridade das pesquisas desenvolvidas nas últimas duas décadas.

Figura 5 – Rede de coautoria entre os autores com publicações sobre indicadores biofísicos e metodologias de avaliação da LDD em escala mundial (1997-2019)



Fonte: Elaboração própria, 2019.

O *cluster* vermelho apresenta-se como o mais coeso e influente da rede, articulando autores com alto índice de centralidade e ampla rede de colaboração internacional. Destaca-se YAN MA (*University of Massachusetts Amherst*) como nó central de ligação, estabelecendo conexões entre instituições dos Estados Unidos, da Europa e da Ásia. Esse grupo se caracteriza pela integração entre modelagem espacial, análise de indicadores biofísicos (NDVI, SOC e LULC) e abordagens de gestão territorial sustentável, evidenciando a capacidade de convergência metodológica e interdisciplinaridade temática. Assim, tal *cluster* representa o eixo mais consolidado da rede, responsável pela difusão de referenciais teóricos e técnicos amplamente utilizados por organismos internacionais como a FAO e a UNCCD (2015), reafirmando o protagonismo dos Estados Unidos na estrutura global de cooperação científica.

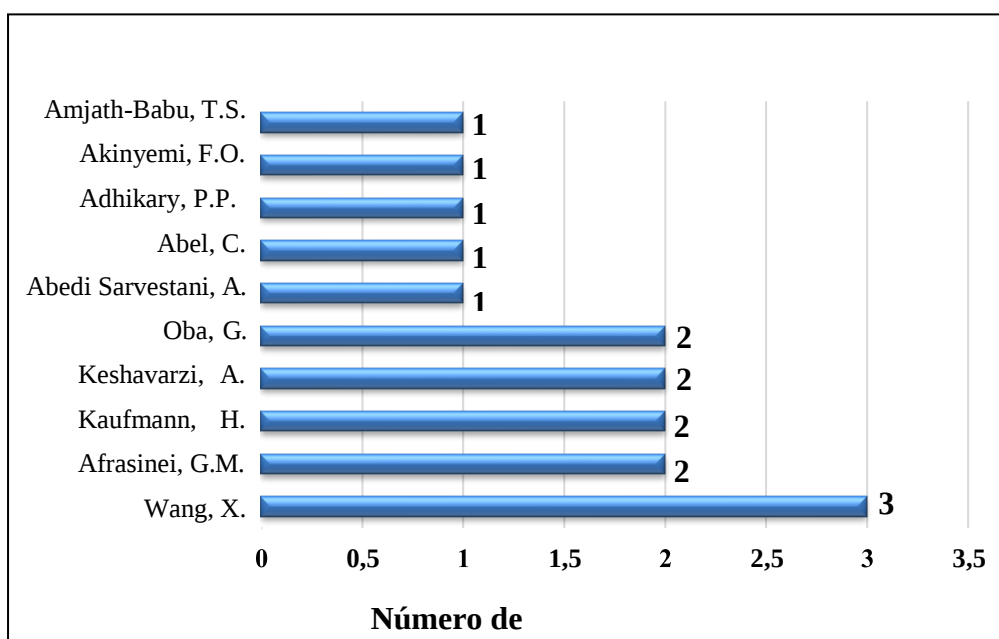
O *cluster* verde reúne os pesquisadores ZHAO, VÁZQUEZ-JIMÉNEZ, NOVILLO, ARROGANTE-FUNES e MAESTRE, formando uma rede multilateral entre China, Espanha e México. Os estudos integram índices de vegetação (NDVI, EVI), modelagem de vulnerabilidade ambiental e adaptações regionais dos modelos MEDALUS (*Mediterranean Desertification and Land Use*) e ESAI (*Environmental Sensitive Areas Index*), com forte cooperação técnica entre instituições do Norte e do Sul global. Tais pesquisadores centrais estão afiliados a diferentes instituições em diferentes países, como o *Key Laboratory of Digital Earth Science, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing*

e *University of Chinese Academy of Sciences*, na China, a *Universidad Rey Juan Carlos*, na Espanha, e a *Universidad Autónoma de Guerrero*, no México.

O *cluster* azul, liderado pelo pesquisador chinês XIANGHUI WANG (*Shanghai SUS Environment Co., Ltd. e Chinese Academy of Sciences*), apresenta alta produtividade, mas baixa cooperação internacional. Suas publicações (2006–2018) abordam a influência dos fatores climáticos e antrópicos na desertificação chinesa, com uso de modelagem geoambiental e sensoriamento remoto. O pesquisador WANG, além de ser o principal autor do *cluster* no qual está inserido, também mantém relação de cooperação com os outros dois *clusters*. O artigo *The relative role of climatic and human factors in desertification in semiarid China* (2006) é a publicação de maior impacto desse autor nas pesquisas sobre LDD na China, com 147 citações.

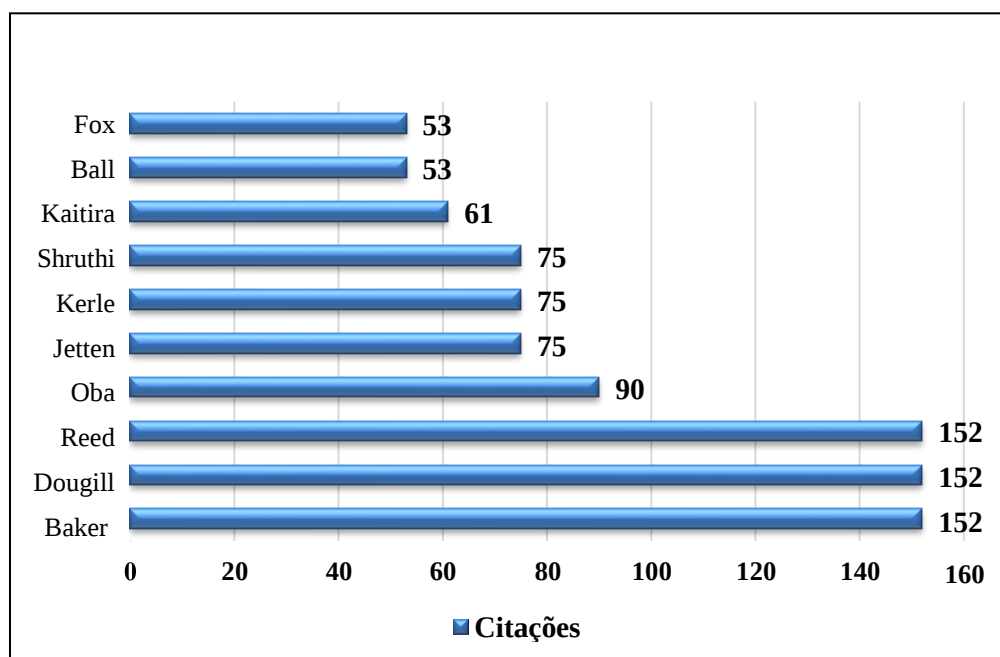
Os dados dos Gráficos 4 e 5 (apresentados a seguir) complementam a análise ao evidenciar os dez autores com maior número de publicações indexadas na base Scopus sobre degradação da terra e desertificação (LDD) e os dez autores mais citados em escala mundial. Esses resultados demonstram uma dissociação marcante entre produtividade e impacto científico na literatura internacional sobre o tema. Enquanto o Gráfico 4 destaca os autores com maior volume de publicações no período de 1997 a 2019, o Gráfico 5 evidencia aqueles com maior número de citações, revelando um contraste entre quantidade de produção e reconhecimento acadêmico, o que sugere diferentes níveis de influência e relevância científica nas redes globais de pesquisa sobre LDD.

Gráfico 4 – 10 autores com mais publicações sobre LDD na Scopus (1997–2019)



Fonte: Elaboração própria, 2019.

Gráfico 5 – 10 autores mais citados em pesquisas sobre LDD na *Scopus* (1997–2019)



Fonte: Elaboração própria, 2019.

No Gráfico 4, observa-se o destaque do pesquisador WANG como o autor mais produtivo sobre LDD entre 2006 e 2018. Suas pesquisas concentram-se na integração entre fatores climáticos e antrópicos na desertificação chinesa, utilizando modelagem geoambiental e sensoriamento remoto, com indicadores como NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), P/ETP (Índice de Aridez) e LULC (*Land Use and Land Cover*). Dentre suas contribuições mais citadas, destaca-se o estudo *The Relative Role of Climatic and Human Factors in Desertification in Semiarid China* (WANG et al., 2006), que demonstrou a influência combinada das variações de precipitação e das práticas de uso da terra sobre a expansão das áreas degradadas.

Apesar de sua expressiva produtividade e da relevância técnica de suas análises, WANG apresenta baixo índice de citação internacional, configurando o chamado “paradoxo da visibilidade restrita”. Essa limitação decorre de duas barreiras estruturais principais: a linguística, uma vez que grande parte de seus estudos foi publicada em mandarim, e a editorial, pois muitos artigos foram divulgados em periódicos chineses de circulação nacional, com baixa indexação em bases internacionais como *Scopus* e *Web of Science*. Tal contexto explica a baixa integração de WANG em redes de coautoria globais, ainda que seus modelos de correlação entre variáveis climáticas e de uso da terra tenham influenciado pesquisas posteriores na Ásia e no Mediterrâneo, confirmando sua relevância metodológica e regional, embora isolada no

panorama internacional da LDD/LDN.

O Gráfico 5, por outro lado, destaca os autores BAKER, DOUGILL e REED, vinculados à *University of Leeds* (Reino Unido), como os pesquisadores de maior impacto científico, alcançando 152 citações, seguidos por OBA (2006; 2009), da *University of Nairobi* (Quênia), com 90 citações. Esses autores se tornaram referência por suas abordagens metodológicas integradas de Gestão Sustentável da Terra (*SLM Framework*), que unem indicadores biofísicos e variáveis socioeconômicas em modelos participativos aplicados a regiões áridas e semiáridas (REED et al., 2008; DOUGILL et al., 2012; OBA, 2006). O impacto dessas publicações está diretamente relacionado à ampla internacionalização dos estudos, à colaboração interinstitucional e à publicação em periódicos de alto fator de impacto, características que ampliam a difusão científica global.

A análise comparativa entre os dois gráficos evidencia que os autores mais produtivos não são, necessariamente, os mais citados, revelando uma assimetria entre produtividade e relevância científica. Essa disparidade confirma a existência de um eixo de influência concentrado nos países centrais (Reino Unido, Estados Unidos, Alemanha), onde a cooperação internacional, a publicação em inglês e a participação em redes institucionais consolidadas são determinantes para a visibilidade e o impacto global das pesquisas (REED et al., 2011; PEREIRA et al., 2019). Assim, enquanto WANG representa o núcleo técnico e produtivo da China, os autores REED, DOUGILL, BAKER e OBA simbolizam o eixo de maior difusão e reconhecimento científico, responsáveis por moldar os referenciais teóricos e metodológicos da LDD em escala global.

Em síntese, os resultados dos Gráficos 4 e 5 confirmam que a quantidade de publicações dos autores está dissociada do impacto científico direto na comunidade científica, reforçando que a cooperação internacional, o acesso linguístico e a indexação editorial permanecem como fatores decisivos para a consolidação da influência acadêmica. A comparação entre produtividade e citação destaca a importância das redes colaborativas interinstitucionais, tanto para o fortalecimento do intercâmbio científico quanto para o avanço metodológico e interdisciplinar das pesquisas sobre degradação da terra e desertificação, contribuindo para os objetivos da Neutralidade da Degradação da Terra (LDN) no contexto da Agenda 2030.

3.7 Artigos de maior impacto na comunidade científica

A Tabela 8 apresenta os artigos científicos de maior influência nas pesquisas sobre degradação da terra e desertificação (LDD) em escala mundial, considerando o número de

citações registradas na base *Scopus* no período de 1997 a 2019. Essa análise permite compreender a evolução temporal e metodológica dos estudos que se consolidaram como referências centrais para o avanço da temática no campo das Ciências Ambientais e da Geografia Física.

Tabela 8 – Artigos mais citados sobre degradação da terra e desertificação na *Scopus* (1997–2019)

Autor(ES) /(Ano)	Título	Periódico	Quantidade Citações
Reed, M.S., Dougill, A.J., Baker, T.R. (2008)	<i>Participatory indicator development: What can ecologists and local communities learn from each other?</i>	<i>Ecological Applications</i>	152
Reed, M.S. et al., (2011)	<i>Cross-scale monitoring and assessment of land degradation and sustainable land management: A methodological framework for knowledge management</i>	<i>Land Degradation and Development</i>	82
Shruthi, R.B.V., Kerle, N., Jetten, V. (2011)	<i>Object-based gully feature extraction using high spatial resolution imagery</i>	<i>Geomorphology</i> 134(3-4), pp. 260-268	75
Oba, G., Kaitira, L.M. (2006)	<i>Herder knowledge of landscape assessments in arid rangelands in northern Tanzania</i>	<i>Journal of Arid Environments</i>	61
Mouat, D. et al., (1997)	<i>Desertification evaluated using an integrated environmental assessment model</i>	<i>Environmental Monitoring and Assessment</i>	53
Lin, Y. et al., (2010)	<i>Spatial vegetation patterns as early signs of desertification: A case study of a desert steppe in Inner Mongolia, China</i>	<i>Landscape Ecology</i>	51
Ladisa, G., Todorovic, M., Trisorio Liuzzi, G. (2012)	<i>A GIS-based approach for desertification risk assessment in the Apulia region, SE Italy</i>	<i>Physics and Chemistry of the Earth</i>	41
de Paz, J.-M., Sánchez, J., Visconti, F. (2006)	<i>Combined use of GIS and environmental indicators for assessment of chemical, physical, and biological soil degradation in a Spanish Mediterranean region</i>	<i>Journal of Environmental Management</i>	38
Bajocco, S., De Angelis, A., Salvati, L. (2012)	<i>A satellite-based green index as a proxy for vegetation cover quality in a Mediterranean region</i>	<i>Ecological Indicators</i>	37

Cacho, O. (2001)	<i>An analysis of externalities in agroforestry systems in the presence of land degradation</i>	<i>Ecological Economics</i>	35
------------------	---	-----------------------------	----

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Conforme os dados da Tabela 8, os pesquisadores mais citados e com maior impacto na produção científica internacional sobre indicadores biofísicos e metodologias de avaliação da LDD são REED (2008 – 152 citações; 2011 – 82 citações), DOUGILL (2008 – 152 citações; 2011 – 82 citações), BAKER (2008 – 152 citações) e OBA (2006 – 61 citações; 2009 – 28 citações). Esses autores destacam-se por articularem metodologias participativas e análises ecológicas, integrando saberes locais e científicos na construção de indicadores de Gestão Sustentável da Terra (*SLM Framework*). É importante destacar que essa integração entre conhecimento técnico e práticas comunitárias contribuiu para consolidar uma perspectiva interdisciplinar e aplicada, que une ciência, sociedade e políticas públicas. Esse foi um marco conceitual que passou a orientar as estratégias da UNCCD (2015) e influenciar o desenho de políticas voltadas à Neutralidade da Degradação da Terra (LDN) em escala global.

Na década de 1990, observa-se uma produção ainda incipiente, com destaque para o artigo de MOUAT et al. (1997), *Desertification evaluated using an integrated environmental assessment model*, publicado no periódico *Environmental Monitoring and Assessment*, com 53 citações. O estudo, de caráter pioneiro, aplicou a técnica desenvolvida pelo *Desert Research Institute* e pela *Environmental Protection Agency* (EPA) dos Estados Unidos, visando identificar e avaliar o risco de desertificação em regiões áridas, semiáridas e subúmidas, a partir da integração de indicadores ambientais em um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Foram utilizados cinco indicadores: erosão potencial, pressão de pastejo, estresse climático (PDSI), variações do NDVI e presença de espécies invasoras, resultando na delimitação de áreas com vulnerabilidade variável à degradação do solo. De modo geral, esse trabalho revela-se expressivo por estabelecer um modelo de integração espacial de indicadores, antecipando as abordagens multiescalares que seriam consolidadas nas décadas seguintes e inspirando novas formas de monitoramento ambiental.

Entre 2001 e 2010, nota-se um crescimento significativo da produção científica sobre LDD, com 15 artigos indexados na *Scopus*. Destaca-se a publicação de REED; DOUGILL; BAKER (2008), com 152 citações, que propôs a integração entre métodos participativos e ecológicos para o desenvolvimento de indicadores robustos e acessíveis a múltiplos usuários, baseando-se em um estudo de caso realizado no Deserto de Kalahari (Botsuana). O artigo demonstra, de forma clara, como a participação comunitária e o conhecimento

ecológico local podem aprimorar a precisão dos indicadores de degradação, mantendo caráter emblemático dentro das discussões contemporâneas sobre o enfoque colaborativo presente nas estratégias de Gestão Sustentável da Terra (SLM).

Outra contribuição relevante da década entre 2001 e 2010 é o artigo *Herder knowledge of landscape assessments in arid rangelands of Northern Tanzania*, de OBA & KAITIRA (2006), publicado no *Journal of Arid Environments*, com 61 citações no período analisado. O estudo analisa o conhecimento indígena dos pastores Maasai na interpretação de indicadores de vegetação e uso do solo em paisagens heterogêneas do norte da Tanzânia. Esse estudo configura um exemplo paradigmático de integração entre ciência moderna e saberes locais, reforçando a importância do conhecimento tradicional na validação empírica de indicadores ambientais.

No período de 2011 a outubro de 2019, observa-se uma expansão expressiva das publicações científicas sobre LDD, com 37 artigos indexados na *Scopus*, evidenciando amadurecimento conceitual e metodológico da temática. As publicações de REED et al. (2011) e SHRUTHI; KERLE; JETTEN (2011) apresentam o maior número de citações, com 82 e 75, respectivamente. O estudo de REED et al. (2011) propôs um arcabouço metodológico de monitoramento multiescalar (*Cross-Scale Monitoring Framework*), integrando iniciativas internacionais como DESIRE, WOCAT, LADA e DDP, e enfatizando a gestão do conhecimento e a padronização de indicadores em diferentes níveis territoriais. Já SHRUTHI; KERLE; JETTEN (2011) aplicaram análise orientada a objetos (*Object-Based Image Analysis – OOA*) em imagens de alta resolução (IKONOS e GEOEYE-1) para identificar e mapear feições erosivas (ravinas) no Marrocos, demonstrando que a interpretação automatizada de imagens é mais eficaz do que os métodos tradicionais para a detecção e o monitoramento de processos erosivos. Observa-se que esses dois trabalhos mantêm papel central na consolidação da LDD como campo científico interdisciplinar, simbolizando a convergência entre avanços tecnológicos e abordagens conceituais integradas.

De forma crítica, a análise da Tabela 8 revela que o impacto científico das publicações sobre LDD está intimamente relacionado à internacionalização da pesquisa, à cooperação entre instituições e ao uso de metodologias replicáveis e interdisciplinares. Autores vinculados a centros de excelência, como a *University of Leeds* (Reino Unido), o *Desert Research Institute* (EUA) e a *University of Twente* (Holanda), concentram o maior número de citações e influência global. Entretanto, é importante destacar que autores de países emergentes, como China e Índia, embora apresentem crescente produtividade, ainda enfrentam barreiras linguísticas, editoriais e de visibilidade internacional, o que evidencia um desequilíbrio epistemológico persistente na difusão global do conhecimento científico sobre degradação e desertificação.

Em síntese, os resultados apresentados evidenciam que os artigos mais citados exerceram papel decisivo na estruturação teórico-metodológica da LDD, tanto pela integração de indicadores biofísicos e socioeconômicos quanto pela articulação entre tecnologia, participação social e gestão territorial. Esses estudos mantêm caráter emblemático e configuram marcos referenciais para a consolidação da Neutralidade da Degradação da Terra (LDN) como meta científica e política global, alinhada à Agenda 2030 e à Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD, 2015).

3.8 Análise semântica e tendências de pesquisa sobre LDD (Scopus, 1997-2019)

Com o objetivo de identificar as tendências conceituais e metodológicas nas pesquisas sobre degradação da terra e desertificação, realizou-se uma análise semântica dos dados textuais extraídos dos títulos, resumos e palavras-chave dos artigos indexados na base de dados *Scopus*, entre 1997 e 2019.

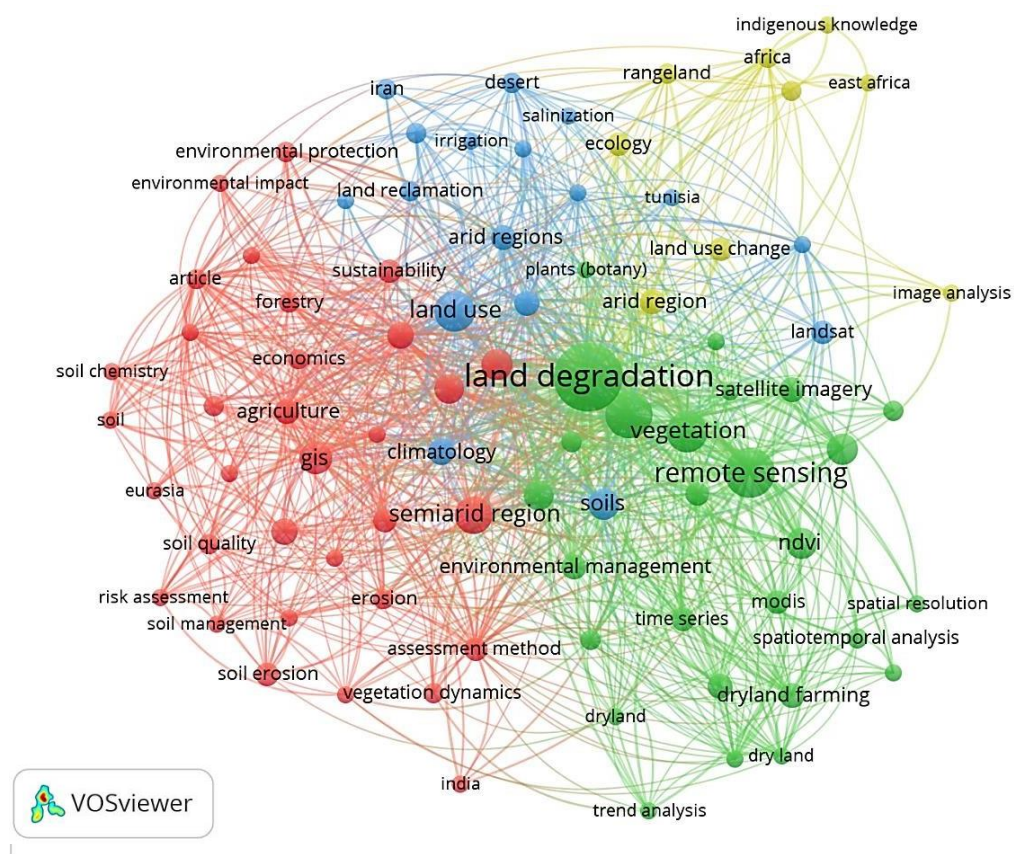
Essa abordagem permitiu ratificar as principais linhas de pesquisa e evolução temática que caracterizam o campo nas últimas duas décadas. A Figura 6 apresenta a rede textual gerada a partir das 710 palavras-chave extraídas dos 54 artigos analisados (Anexo 2), distribuídas em 22 clusters. O termo-nó central da rede de coocorrência de palavras-chave em todas as pesquisas sobre LDD indexadas no *Scopus* (1997-2019) é “*land degradation*”, que mantém conexões diretas com conceitos estruturantes, como “*remote sensing*”, “*semiarid region*”, “*GIS*”, “*environmental indicator*”, “*climate change*”, “*soil erosion*”, “*Africa*”, “*Iran*”, “*ecology*” e “*dryland*”.

Outros termos também evidenciam as abordagens temáticas das pesquisas em LDD no recorte temporal, destacando-se ainda os seguintes: “*remote sensing*”, “*semiarid region*”, “*gis*”, “*environmental indicator*”, “*climate change*”, “*soil erosion*”, “*africa*”, “*iran*”, “*ecology*”, “*multivariant analysis*”, “*change detection*”, “*conservation of natural resources*”, “*medalus*”, “*dryland*”, “*organic carbon*”, “*satelites*”, dentre outros. Esses termos estão diretamente relacionados às principais regiões do planeta onde ocorrem os processos de LDD, às suas principais causas e consequências ambientais e socioeconômicas, além dos indicadores biofísicos e sociais e às metodologias de pesquisa.

A configuração apresentada na Figura 6 evidencia não apenas a centralidade conceitual de *land degradation*, mas também a formação de subdomínios temáticos que reforçam a natureza interdisciplinar das pesquisas sobre LDD no período analisado. A presença de clusters associados a “*soil erosion*”, “*climate change*” e “*environmental indicator*”, por exemplo,

Com base na frequência de coocorrência, o software VOSviewer identificou 86 termos com pelo menos três repetições (Anexo 3), sintetizados na Figura 7. Após o processo de depuração manual e o agrupamento de sinônimos, formaram-se quatro macroclusters, que estruturam os principais campos centrais da LDD entre 1997 e 2019.

Figura 7 – Rede de coocorrência de palavras-chave em todas as pesquisas sobre LDD indexadas na Scopus (1997-2019)

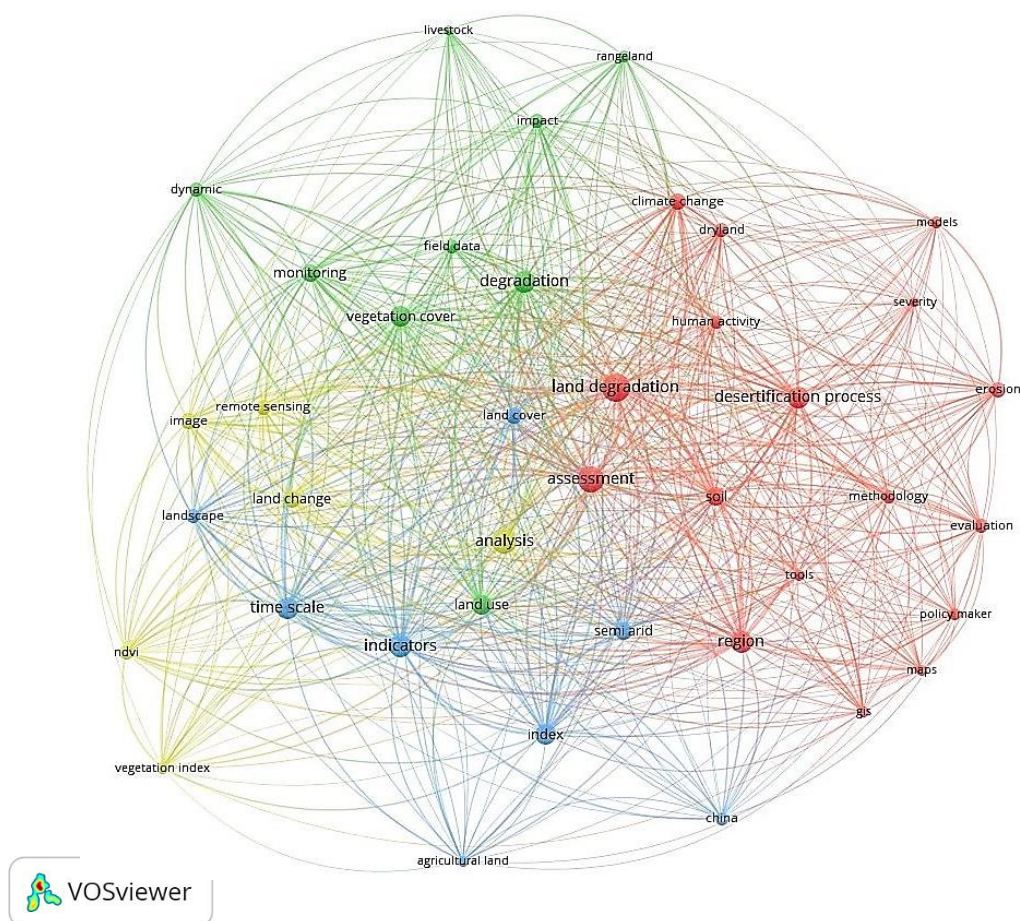


Fonte: Elaboração própria (2019).

A Figura 7 evidencia quatro grandes agrupamentos de palavras-chave, articulados em torno do nó central “*land degradation*”, termo que mantém conexões com todos os demais campos semânticos. Esse núcleo representa o eixo integrador das pesquisas sobre degradação da terra, atuando como um marcador paradigmático da área. O *cluster* verde, composto por 27 termos, associa-se às abordagens voltadas ao sensoriamento remoto, cobertura vegetal e análises espaço-temporais, com destaque para “*remote sensing*”, “*NDVI*”, “*vegetation*” e “*spatiotemporal analysis*”. O *cluster* vermelho, o mais numeroso (33 termos), abrange vocábulos ligados à gestão territorial e sustentabilidade, tais como “*semiarid region*”, “*GIS*”, “*agriculture*” e “*soil erosion*”. Já o *cluster* azul concentra 17 termos relacionados à

geomorfologia e climatologia, enquanto o amarelo, menor em extensão (9 termos), integra expressões associadas à mudança do uso da terra e ecologia, incluindo “*land use and change*”, “*ecology*” e “*rangeland*”.

Figura 8 – Rede de coocorrência de palavras-chave nas pesquisas sobre LDD indexadas na Scopus (1997-2019)



Fonte: Elaboração própria, 2019.

Os quatro *clusters* mapeados na Figura 8 revelam macrotemas interconectados e espacialmente distribuídos, evidenciando a formação de quatro clusters ou aglomerados temáticos que representam as principais vertentes conceituais e metodológicas das pesquisas científicas sobre o tema.

O *cluster* vermelho agrupa termos relacionados à avaliação e aos fatores associados aos processos de degradação e desertificação, com destaque para “*assessment*”, “*evaluation*”, “*land degradation*”, “*erosion*”, “*GIS*”, “*models*” e “*climate change*”. Ele representa o eixo metodológico e avaliativo das pesquisas, predominante em países mediterrâneos e africanos,

onde se aplicam metodologias integradas de campo e sensoriamento remoto (REED et al., 2008; MAIROTA et al., 1998). Instituições da Europa e da África, como a *University of Leeds*, o *Observatoire Midi-Pyrénées* e a *University of Tehran*, figuram entre as mais ativas nesse grupo, consolidando redes de cooperação entre Europa e Norte da África.

O *cluster* azul concentra-se nos indicadores biofísicos e nas escalas de análise, com ênfase na aplicação do NDVI e do Índice de Aridez (P/ETP), amplamente utilizados em projetos conduzidos por instituições da África e do Oriente Médio (UNEP, 1992; WMO, 2005). Essa rede relaciona-se a estudos de modelagem espacial e ao monitoramento da aridez climática, sobretudo em países como o Irã, a Tunísia e o Marrocos, onde há forte presença de universidades como a *University of Tehran* e a *Yazd University*. Embora relevantes regionalmente, esses estudos ainda apresentam cooperação internacional limitada, com escassa integração com centros europeus e asiáticos, o que reflete a fragmentação das pesquisas no eixo afro-asiático.

O *cluster* verde direciona-se à análise da dinâmica de uso da terra e da degradação da cobertura vegetal, reunindo termos como “*land use*”, “*vegetation cover*”, “*monitoring*” e “*rangeland*”. Esse grupo é fortemente representado por autores europeus e está associado à aplicação do modelo MEDALUS — metodologia desenvolvida para avaliar a vulnerabilidade à desertificação em paisagens mediterrâneas (KOSMAS et al., 1999; SALVATI et al., 2014). A rede congrega países como Espanha, Itália e Grécia, que historicamente lideram as pesquisas sobre degradação de terras na região mediterrânea e influenciam a padronização de métodos de avaliação aplicados posteriormente em contextos áridos e semiáridos de outros continentes.

Por fim, *cluster* amarelo relaciona-se aos índices de vegetação e às técnicas de sensoriamento remoto, com destaque para “*analysis*”, “*NDVI*”, “*vegetation index*”, “*image*” e “*remote sensing*”. As pesquisas desse grupo são conduzidas predominantemente na Ásia, com centralidade na *Chinese Academy of Sciences* e forte presença de pesquisadores como WANG (2016; 2018), que aplicam o indicador SOC (*Soil Organic Carbon*) em áreas áridas e semiáridas da China. Apesar de sua liderança quantitativa, esses estudos apresentam baixa taxa de citações internacionais, possivelmente em razão da barreira linguística das publicações predominantemente em chinês, o que limita sua difusão e cooperação global.

A predominância desses termos e das conexões intercontinentais sugere que o avanço científico sobre a LDD se apoia na combinação entre abordagens locais e sistemas globais de observação, destacando-se a consolidação de uma base metodológica comum capaz de subsidiar políticas internacionais de combate à desertificação, conforme os marcos da UNCCD (1994) e do Atlas Mundial da Desertificação (WMO, 2005).

emergentes como a Índia e a China.

Nesse sentido, essa mudança semântica revela não apenas uma ampliação geográfica das pesquisas, mas também um amadurecimento conceitual, em que a LDD passa a ser tratada como um processo dinâmico e multidimensional, integrando variáveis biofísicas, climáticas e socioeconômicas. É importante destacar que a incorporação de séries temporais longas e de produtos orbitais de alta resolução (como MODIS e *Landsat*) contribuiu para elevar o grau de precisão e a comparabilidade entre estudos regionais, impulsionando a transição de análises descritivas para modelos prognósticos de degradação (BINDRABAN et al., 2012; AKHTAR-SCHUSTER et al., 2016).

De modo geral, as três redes analisadas revelam a consolidação de um léxico técnico-científico coerente e evolutivo, no qual “*land degradation*”, “*remote sensing*”, “*NDVT*” e “*MEDALUS*” atuam como conceitos estruturantes da produção global sobre LDD. O diálogo entre as dimensões metodológica, tecnológica e biofísica reafirma o caráter interdisciplinar e aplicado da temática, ao mesmo tempo em que denuncia a persistente assimetria Norte-Sul na geração e difusão do conhecimento.

Desse modo, a análise semântica demonstra que, entre 1997 e 2019, a LDD deixou de ser apenas um campo descritivo para se tornar um domínio consolidado de monitoramento global da degradação da terra, sustentado por indicadores quantitativos, geotecnologias e redes internacionais de pesquisa. Trata-se, portanto, de um campo em franca maturação epistemológica, cuja evolução semântica reflete o esforço coletivo para articular ciência, política e gestão ambiental em escala planetária.

3.9 Indicadores biofísicos de avaliação da degradação da terra e desertificação

O mapeamento da degradação da terra e da desertificação em escala global ainda é um desafio conceitual e operacional (ZUCCA et al., 2012). Conforme revisado por GRAINGER (2009), desde a década de 1970 foram realizadas várias tentativas de mapear a LDD em escala global (DREGNE, 1983; FAO/UNEP, 1984; OLDEMAN et al., 1990; DREGNE et al., 1991; PNUMA, 1997; USDA, 2003), mas os mapas produzidos eram frequentemente contraditórios.

Essa problemática decorre da indefinição dos indicadores utilizados para avaliar o risco de degradação da terra e de desertificação, bem como do desenvolvimento de diferentes pressupostos metodológicos, relacionados à multiplicidade dos processos e formas da LDD e às diferentes maneiras de definir e operacionalizar os conceitos (ZUCCA et al., 2012).

A necessidade de elaborar indicadores para avaliar a LDD é uma das prioridades

identificadas pela Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (COP9, 2009). Desse modo, no contexto da UNCCD, um indicador pode ser definido como um parâmetro ou um valor derivado de parâmetros, que descrevem o estado do meio ambiente e seu impacto nos seres humanos, ecossistemas e materiais, as pressões sobre o meio ambiente, as forças motrizes e as respostas que orientam esse sistema (ETDS, 2010).

No tocante à degradação da terra e à desertificação, muitos estudos não adotam critérios formais para a seleção de indicadores, o que a sujeita a decisões arbitrárias (NIEMEIJER & de GROOT, 2008a). Tradicionalmente, decisões de especialistas sobre “relevância para a LDD” foram tomadas, e os indicadores foram simplesmente agrupados de acordo com a natureza dos dados, como dados do solo ou dados econômicos, entre outros (ZUCCA et al., 2012). Essa abordagem, quando aplicada por países ou por projetos, gerou longas listas de parâmetros, que foram submetidas à implementação (ENNE & YEROYANNI, 2006).

No presente estudo, identificaram-se vários indicadores da LDD em 54 publicações científicas indexadas na *Scopus* (ANEXO 5). A Tabela 9 apresenta os indicadores biofísicos dos 15 artigos científicos mais representativos nesta base de dados.

Tabela 9 – Lista de indicadores relacionados às causas ou processos de LDD nas 15 publicações com maior número de citações ns Scopus (1997-2019)

Indicadores biofísicos	Autor(es) / Ano	Artigo	Processo	Número de Citações
Diminuição da cobertura de grama Aumento da abundância de grama desagradável ao gado Abundância reduzida de capim palatável para o gado Disponibilidade reduzida de capim Diminuição da abundância de plantas medicinais Diminuição da abundância de árvores Atordoamento de árvores e arbustos Dossel de árvores Aumento da abundância de <i>Boscia albitrunca</i> Diminuição da abundância de <i>Grewia flava</i>	REED, M.S., DOUGILL, A.J., BAKER, T.R., 2008	<i>Participatory indicator development: What can ecologists and local communities learn from each other?</i>	Degradação da terra	149

Aumento da abundância de <i>Acacia mellifera</i> Diminuição da cobertura vegetal / aumento do solo descoberto Diminuição do teor de matéria orgânica do solo Maior folga do solo Maior densidade de faixas de gado				
Não descrito	REED, M.S. et al., 2011	<i>Cross-scale monitoring and assessment of land degradation and sustainable land management: A methodological framework for knowledge management</i>	Degradação da terra	80
NDVI	SHRUTHI, R.B.V., KERLE, N., JETTEN, V., 2011	<i>Object-based gully feature extraction using high spatial resolution imagery</i>	Degradação da terra	73
Classificação das paisagens como "ruins" (degradáveis) ou "boas" (não degradáveis) pelos pastores locais	OBA, G., KAITIRA, L.M., 2006	<i>Herder knowledge of landscape assessments in arid rangelands in northern Tanzania</i>	Degradação da terra	60
NDVI E = potencial de erosão; PDSI = Índice de Gravidade Seca de Palmer; GP = pressão do pastoreio WI = espécies invasoras de ervas daninhas como porcentagem da cobertura vegetal total	MOUAT, D. et., 1997	<i>Desertification evaluated using an integrated environmental assessment model</i>	Degradação da terra Desertificação	53
Porcentagem de cobertura vegetal e transição de uma distribuição de área de fragmento da vegetação Cobertura percentual (COVER) Maior índice de manchas (LPI) Borda total (TE) Área média do remendo (AREA_MN)	LIN, Y. et al., 2010	<i>Spatial vegetation patterns as early signs of desertification: A case study of a desert steppe in Inner Mongolia, China</i>	Degradação da terra	48

Coeficiente de variação (CV) da área do remendo (AREA_CV) Índice de clumpiness (CLUMPY)				
Modelo ESA: SQI CQI VQI MQ	LADISA, G., TODOROVIC, M., TRISORIO LIUZZI, G., 2012	<i>A GIS-based approach for desertification risk assessment in the Apulia region, SE Italy</i>	Degradação da terra Desertificação	38
Índices de degradação do solo: Índice de Degradação Física (PDI) Índice de degradação (IC) Índice de degradação biológica (BDI) Índice de degradação química (CDI) Sais: teor de sal solúvel (meq / 100 g)	DE PAZ, J.-M., SÁNCHEZ, J., VISCONTI, F., 2006	<i>Combined use of GIS and environmental indicators for assessment of chemical, physical, and biological soil degradation in a Spanish Mediterranean region</i>	Degradação da terra	38
Salinidade das terras áridas Lençol freático	CACHO, O., 2001	<i>An analysis of externalities in agroforestry systems in the presence of land degradation</i>	Degradação da terra	35
NDVI VCQ (qualidade da cobertura vegetal) /	BAJOCCO, S., DE ANGELIS, A., SALVATI, L., 2012	<i>A satellite-based green index as a proxy for vegetation cover quality in a Mediterranean region</i>	Degradação da terra	31
Percepções dos pastores sobre a degradação da terra Impactos dos gradientes de uso da terra na vegetação Monitorando as transações do IPAL	ROBA, H.G., OBA, G., 2006	<i>Efficacy of integrating herder knowledge and ecological methods for monitoring rangeland degradation in Northern Kenya</i>	Degradação da terra	28
NDVI Razão entre Evapotranspiração e Densidade da vegetação (Ea / P)	BOER, M.M., PUIGDEFÁBRE GAS, J., 2005	<i>Assessment of dryland condition using spatial anomalies of vegetation index values</i>	Degradação da terra	27
Social, econômico, ambiental e agrícola	HOU, Deyi et al., 2018	<i>A Sustainability Assessment Framework for Agricultural</i>	Degradação da terra	25

		<i>Land Remediation in China</i>		
Não descrito	BARBERO-SIERRA, C. et al., 2015	<i>How is Desertification Research Addressed in Spain? Land Versus Soil Approaches</i>	Degradação da terra Desertificação	22
Índice de Qualidade do solo (QSI) Carbono de biomassa microbiana (MBC)	GELAW, A.M., SINGH, B.R., LAL, R., 2015	<i>Soil quality indices for evaluating smallholder agricultural land uses in northern Ethiopia</i>	Degradação da terra Desertificação	18

Fonte: Elaboração própria, 2019.

Como mostra a Tabela 9, são variados os indicadores ambientais utilizados pelos pesquisadores nas quinze publicações de maior impacto na comunidade científica internacional sobre degradação da terra e desertificação.

Segundo KOSMAS et al. (2012), nas ciências ambientais, um único indicador não pode descrever de forma eficiente um processo complexo, como a erosão do solo ou a desertificação da terra. ABRAHAN e BEEKMAN (2006) destacam que os indicadores devem ser capazes de manter as conexões imprescindíveis e interdependentes que governam a realidade. Nesse sentido, muitos autores consideram que a classificação dos indicadores da LDD deve levar em consideração as ligações entre: (a) pressões exercidas sobre o meio ambiente pelas atividades humanas; (b) mudanças na qualidade dos componentes ambientais; e (c) respostas da sociedade a essas mudanças que podem ser uma ferramenta útil e valiosa para usuários da terra e formuladores de políticas (O'CONNOR, 1994; SCOPE, 1995; DUMANSKI & PIERI, 1996). Todavia, no presente estudo definiram-se como limite de análise os indicadores biofísicos associados à degradação da terra e à desertificação.

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (*Normalised Difference Vegetation Index* — NDVI em inglês), reconhecido como ferramenta ideal para acompanhar tendências de longo prazo dos fenômenos de degradação e avaliar diferentes valores de severidade tipos de processos envolvidos (IMBRENDA et al., 2012), aparece como o indicador da LDD de maneira isolada ou combinado com outros indicadores em 27% publicações dentre as mais citadas (n = 4)(MOUAT et al., 1997; BOER & PUIGDEFÁBREGAS, 2005; SHRUTHI, KERLE & JETTEN, 2011; BAJOCCO, DE ANGELIS & SALVATI, 2012). Já o Modelo ESA foi

identificado com um importante indicador da LDD em 13% dos artigos (n = 2) (LADISA, TODOROVIC & TRISORIO LIUZZI, 2012; GELAW & SINGH, LAL, 2015), enquanto a estrutura da vegetação em diferentes índices (VCQ , PDSI, GP, WI, COVER, LPI, TE, AREA_MN, CV, CLUMPY) foram utilizados também em em 27% publicações (n = 4) (MOUAT et., 1997; ROBA & OBA, 2006; LIN et al., 2010; BAJOCCO, DE ANGELIS & SALVATI, 2012).

Os indicadores de degradação do solo, como potencial de erosão (E), índice de Degradação Física (PDI), índice de degradação (IC), índice de degradação biológica (BDI), índice de degradação química (CDI), foram considerados importantes critérios para avaliar a degradação da terra e a desertificação nos estudos de MOUAT (1997) e de DE PAZ, SÁNCHEZ e VISCONTI (2006). Já o indicador de salinidade do solo foi identificado nas pesquisas de CACHO (2001) e de DE PAZ, SÁNCHEZ e VISCONTI (2006). Outros indicadores da LDD são apontados, porém, em um número menor de publicações.

Entre os mais de 50 tipos de índices de vegetação encontrados na literatura (MOREIRA, 2011), o NDVI é o mais difundido e utilizado para detectar a cobertura vegetal e avaliar as condições da vegetação (SOUSA et al., 2013; SCHUCKNECHT et al., 2013; XU et al., 2014; BECERRIL-PIÑA et al., 2016; TEHRANY et al., 2017; JUCKER RIVA et al., 2017), permitindo, por meio da construção de perfis sazonais e temporais, comparações interanuais do comportamento da vegetação (PONZONI; SHIMABUKURO, 2012).

O NDV foi proposto por ROUSE et al. (1973), a partir da normalização do índice de vegetação razão simples, cujos resultados variam de -1 a +1 por pixel, de modo que quanto mais próximo de +1, maior cobertura da vegetação. À medida que esse valor diminui, a vegetação vai ficando mais rala, e quanto mais próximo de -1, maior indício de presença de solos descobertos e rochas. Já a água, por sua vez, apresenta valores negativos próximos de -1, o que ocorre também com áreas de sombra de nuvem (MELO; SALES; OLIVEIRA, 2011). O NDVI é aplicado na identificação e caracterização da distribuição espacial da vegetação ou de sua ausência ao longo do tempo (FEOLI et al., 2003; FOLHES, 2007). Assim, este índice pode ser utilizado para auxiliar estudos que tratem de degradação da terra e da desertificação (MOUAT, D. et al., 1997; BOER & PUIGDEFÁBREGAS, 2005; SHRUTHI, KERLE & JETTEN, 2011; HUBER; FENSHOLT; RASMUSSEN, 2011; BAJOCCO; DE ANGELIS; SALVATI, 2012; IBRAHIM et al., 2015; EASDALE et al., 2017).

Outro importante indicador, de grande relevância nas pesquisas direcionadas à avaliação dos processos de degradação da terra e de desertificação, é o modelo ESAI (Índice de Área Ambientalmente Sensível) em particular no contexto da bacia do Mediterrâneo (BASSO et al.,

2010; IMBRENDA et al., 2013; LADISA; TODOROVIC; TRISORIO LIUZZI, 2012; TROTTA et al., 2015). Esse modelo, desenvolvido no âmbito do Projeto MEDALUS, combina informações sobre o componente biofísico (solo, clima e vegetação) e o componente antrópico para detectar áreas propensas à degradação e define, ao mesmo tempo, valores relativos à vulnerabilidade à desertificação (IMBRENDA et al., 2013).

O ESAI está baseado em quatro grandes grupos de indicadores, dentro dos quais a seleção mínima do conjunto de dados representa a qualidade do solo (textura, fragmentos de rocha, drenagem, material parental, profundidade do solo), o clima (precipitação, aridez, aspectos), a vegetação (cobertura vegetal, risco de incêndio, proteção contra erosão, resistência à aridez) e as práticas de manejo (intensidade do uso da terra em zonas rurais, pastagens e áreas florestais, políticas gerenciais) devem ser avaliadas (LADISA; TODOROVIC; TRISORIO LIUZZI, 2012).

No modelo ESAI, os indicadores de desertificação são combinados em quatro camadas de qualidade, independentemente da estrutura das classes de entrada (número de classes, etc.), como o Índice de Qualidade do Solo (SQI), o Índice de Qualidade Climática (CQI), o Índice de Qualidade da Vegetação (VQI) e o Índice de Qualidade de Gerenciamento (MQI). Os valores dos índices de qualidade para cada unidade elementar dentro de uma camada são obtidos como a média geométrica das pontuações atribuídas (seguindo a técnica de escala fatorial) a cada indicador único, a saber: SQI, CQI, VQI e MQI (LADISA; TODOROVIC; TRISORIO LIUZZI, 2012). Recentemente, os fatores biofísicos da ESAI têm sido utilizados pela Agência Ambiental Europeia para o desenvolvimento do Índice de Sensibilidade à Desertificação – DSI, aplicado em todo o território europeu (EEA, 2008) e no Egito (GAD e LOFTY, 2008).

Com base na análise dos indicadores biofísicos para avaliar os processos da degradação da terra e da desertificação nas publicações de maior impacto indexadas na *Scopus*, percebe-se que o NDVI é o indicador mais utilizado em estudos nas mais diversas regiões do planeta. Em seguida, temos o modelo ESA, particularmente utilizado no Mediterrâneo. Essa análise mostrou que um único indicador não pode avaliar ativamente a vulnerabilidade à degradação da terra e à desertificação nas diferentes regiões de clima árido, semiárido e subúmido seco do planeta. Portanto, uma combinação de indicadores que envolvam as variações climáticas, associadas aos fatores ambientais e sociais, torna-se fundamental para indicar as áreas com vulnerabilidade à degradação da terra e à desertificação.

3.10 Métodos de avaliação da degradação da terra e desertificação

A degradação da terra envolve uma grande variedade de processos e pode ocorrer em diferentes ambientes, com condições de contorno específicas para sua detecção e monitoramento. Com efeito, quantificar a expansão da degradação da terra e da desertificação não é uma tarefa fácil, pois implica mudança ao longo do tempo, resultado de uma dinâmica que, para ser caracterizada, necessita de uma série temporal de dados, onde um quadro de referência, ou uma suposição da situação passada, deve estar implícito nas análises (ZUCCA et al., 2012)

Desde a Conferência das Nações Unidas sobre Desertificação (UNCOD), realizada em Nairóbi, no Quênia, em 1977, várias tentativas de monitorar e avaliar a degradação da terra, das escalas regionais para globais, ocorridas, geralmente executadas por organizações internacionais, como o PNUMA e o Centro Internacional de Referência e Informação do Solo (VOGT et al., 2011). Todavia, o texto da UNCCD, ao tratar da LDD, não estabelece a metodologia nem a escala espacial e temporal de observação e de trabalho, o que configura uma das questões mais críticas no cálculo de índices de degradação da terra e de desertificação (GALINDO et al., 2008; TRAVASSOS; SOUZA, 2011; YIRAN et al., 2012).

Segundo KOSMAS et al. (2013), a metodologia desenvolvida é uma importante ferramenta de suporte que pode ser utilizada por várias partes interessadas para avaliar a vulnerabilidade à degradação da terra e à desertificação em qualquer área geográfica sujeita a esses processos. A Tabela 10 apresenta as metodologias utilizadas nas pesquisas sobre degradação da terra e desertificação identificadas em quinze publicações científicas de maior representatividade indexadas na *Scopus*. As metodologias dos 54 artigos que compõem a base de dados desse estudo podem ser verificadas no ANEXO 5.

Tabela 10 – Lista de metodologias utilizadas nas 15 publicações com maior número de citações sobre causas ou processos da LDD (1997-2019)

Metodologia	Autor(es) / Ano	Escala Espacial	Escala Temporal
Coleta de dados em campo Entrevista com agricultores	REED, M.S., DOUGILL, A.J., BAKER, T.R., 2008	Kalahari, Botswana	2001-2003
Sensoriamento Remoto: Métodos: LADA, WOCAT, DDP) e DESIRE	REED, M.S. et al., 2011	Não definida	Não definida
Sensoriamento Remoto: Análise de Imagem (OOA (IKONOS e GEOEYE-1)	SHRUTHI, R.B.V., KERLE, N., JETTEN, V., 2011	Sehoul, Marrocos	1970–2002

Pesquisa participativa Análise dos dados utilizando GLM (SAS, 1999)	OBA, G., KAITIRA, L.M., 2006	Tanzânia. (norte)	Out-Dez 2002
Sensoriamento Remoto SIG	MOUAT, D. et., 1997	Platô Colorado, Utah, EUA	1990-1991
Sensoriamento Remoto Fotografia de vegetação (câmera Canon PowerShot A570 IS)	LIN, Y. et al., 2010	Mongólia, China	1961-2000
Sensoriamento Remoto - SIG Método MEDALUS	LADISA, G., TODOROVIC, M., TRISORIO LIUZZI, G., 2012	Apulia, Itália	1980–1990, 1990–2000 e 2000–2005
Coleta de dados em campo Sensoriamento Remoto – SIG Metodologia proposta por FAO- PNUMA-UNESCO	DE PAZ, J.-M., SÁNCHEZ,J., VISCONTI, F.. 2006	Comunidade Valenciana (Alicante, Valencia e Castellon), Espanha	Não definida
Método de aplicação numérica Modelo biofísico de uma bacia hidrográfica	CACHO, O., 2001	Não definida	Não definida
Sensoriamento Remoto MODIS Método MEDALUS	BAJOCCO, S., DE ANGELIS, A., SALVATI, L., 2012	Attica, Grécia	Não definida
Coleta de dados em campo: Análise das narrativas e percepções dos pastores Avaliação das espécies vegetais	ROBA, H.G., OBA, G., 2006	Marsabit, Quênia	2005-2006
Sensoriamento Remoto: Método MEDALUS	BOER, M.M., PUIGDEFÁBREGA S, J., 2005	Rio Guadalentín, sudeste da Espanha	1993-1994
Pesquisa bibliográfica	HOU, Deyi et al., 2018	China	Não definida
Análise bibliométrica	BARBERO- SIERRA, C. et al., 2015	Espanha	1989-2012
Coleta de Dados (solos) Análise em laboratório das amostras Análise estatística (teste estudado de Tukey (HSD)	GELAW, A.M., SINGH, B.R., LAL, R., 2015	Tigray Oriental, Norte da Etiópia	

Fonte: Elaboração própria (2019).

No que se refere às metodologias mais usuais nos trabalhos de maior representatividade sobre LDD, indicados na Tabela 10, constatou-se que os índices direcionados ao monitoramento

da cobertura vegetal por meio das técnicas do Sensoriamento Remoto são preponderantes, dada a sua capacidade de detectar mudanças no padrão espacial das paisagens, sem grandes custos computacionais (HERRMANN; ANYAMBA; TUCKER, 2005). Destes, o NDVI, direcionado aos estudos da desertificação, foi o primeiro a ser aplicado, por BECKER e CHOUDHURY (1988), em uma publicação da *Remote Sensing of Environment*, intitulada *Relative sensitivity of normalized difference vegetation Index (NDVI) and microwave polarization difference Index (MPDI) for vegetation and desertification*. Desse modo, entre as 15 pesquisas selecionadas, 60% delas (n = 9) adotaram geotecnologias, como sensoriamento remoto, SIG ou cartografia digital (ROSA, 2005), enquanto 27% (n = 4) utilizaram o NDVI como indicador da degradação da terra e da desertificação.

Com efeito, o sensoriamento remoto pode facilitar a avaliação do *estado* de vários indicadores de degradação da terra (REED et al., 2011). Por exemplo, a Avaliação Pan-Europeia de Erosão do Solo (PESERA) modelou as taxas de erosão do solo na Europa (KIRKBY et al., 2008) e o Modelo de Avaliação Global de Degradação dos Solos (*Global Land Degradation Assessment Model - GLADA*), da FAO (DIKSHOORN.; VAN ENGELEN; HUTING, 2008), que por meio de dados orbitais obteve indicações de áreas com mudanças significativas, seja pela degradação ou pela melhoria das condições da terra; MOUAT et al. (1997) identificaram áreas no Platô Colorado, estado de Utah (EUA), com vulnerabilidade variável de degradação da terra, com a maior parte da área de estudo em risco moderado de desertificação.

Nesse sentido, REED et al., 2011 indicaram uma estrutura metodológica híbrida que se baseia nas abordagens desenvolvidas pela FAO para a avaliação de degradação da terra em Terras Secas (LADA), o programa WOCAT (World Conservation Approaches and Technologies) e o Paradigma de Desenvolvimento das Terras Secas (DDP), e está sendo aplicado internacionalmente através do projeto DESIRE, financiado pela UE; BAJOCOCCO, DE ANGELIS, SALVATI (2012) buscaram uma abordagem para a avaliação da degradação da terra na Attica, Grécia, em larga escala do VCQ por meio do NDVI, usando imagens de satélite MODIS, concluindo que a partir do uso das imagens de satélite, a abordagem proposta pode ser aplicada a toda a bacia do Mediterrâneo, para monitorar diacronicamente a qualidade da vegetação e controlar indiretamente a degradação do solo.

As contribuições do sensoriamento remoto para a pesquisa da degradação da terra com base em fotos aéreas e técnicas de interpretação de imagens datam da década de 1940 (SMITH, 1943). Atualmente, as geotecnologias, como os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) e o sensoriamento remoto, são importantes ferramentas para captar padrões e processos e

proporcionam um diagnóstico espaço-temporal da mudança na paisagem, permitindo também monitorar e diagnosticar o grau de degradação de terras. Essas técnicas facilitam a análise e a manipulação de dados em grandes áreas, com menor custo que os métodos convencionais (JACINTHO, 2013), permitindo uma avaliação das alterações ocorridas no meio ambiente, no passado, presente e com simulações do futuro (MOUAT et al., 1997; BOER & PUIGDEFÁBREGAS, 2005; BASSO et al., 2010; SHRUTHI; KERLE; JETTEN, 2011; BAJOCCO; DE ANGELIS; SALVATI, 2012; LADISA; TODOROVIC; TRISORIO LIUZZI, 2012; IMBRENDA et al., 2013; TROTTA, et al., 2015)

No que se refere aos métodos das pesquisas sobre LDD selecionados no presente estudo, a metodologia MEDALUS (*Mediterranean Desertification and Land Use*) foi identificada em três publicações. Esse modelo, financiado pela Comissão Europeia (KIRKBY et al., 1998, BASSO et al., 1999, KOSMAS et al., 1999), permite estimar as áreas ambientalmente sensíveis à desertificação (ESAs), em km² ou %, a partir de uma análise multifatorial dos índices de qualidade do solo (SQI), do clima (CQI), da vegetação (VQI) e de utilização do solo (MQI) (GONÇALVES et al., 2010). Esses índices são calculados a partir de diversos parâmetros, que são divididos em classes distintas consoante a sua maior ou menor capacidade de proteção do solo (GONÇALVES et al., 2010).

O modelo MEDALUS é validado principalmente para paisagens do Mediterrâneo para condições não cultivadas em Portugal, Espanha, Itália e Grécia, mas os princípios conceituais têm uma aplicação mais ampla (MAIROTA et al., 1998). Essa abordagem foi aplicada em ambientes mediterrâneos, áridos e semiáridos, como a bacia do Rio Guadalentín, no sudeste da Espanha (BOER & PUIGDEFÁBREGAS, 2005), as regiões da Basilicata (BASSO et al., 2000) e da Apúlia (LADISA; TODOROVIC; TRISORIO LIUZZI, 2012), na Itália, e a província da Attica, na Grécia (BAJOCCO; DE ANGELIS; SALVATI, 2012).

Outros métodos variados de avaliação da LDD foram identificados dentre as publicações de maior impacto no meio científico: a) coleta de dados em campo (DE PAZ; SÁNCHEZ; VISCONTI, 2006; ROBA & OBA, 2006; REED; DOUGILL; BAKER, 2008) e entrevistas com agricultores (ROBA & OBA, 2006; REED; DOUGILL; BAKER, 2008); b) pesquisa participativa e análise dos dados utilizando GLM (OBA & KAITIRA, 2006); c) Método de aplicação numérica e Modelo biofísico de uma bacia hidrográfica (CACHO, 2001); d) análise e fotografia de vegetação (ROBA & OBA, 2006; LIN et al., 2010); e) pesquisa bibliográfica e análise bibliométrica (HOU et al., 2018; BARBERO-SIERRA et al., 2015); e f) Coleta de solos, análise em laboratório das amostras e análise estatística (HSD) (GELAW; SINGH; LAL, 2015).

3.11 Evolução temporal dos países e institutos de pesquisa (1997–2019)

A análise temporal das publicações sobre degradação da terra e desertificação (LDD) entre 1997 e 2019 revela um crescimento expressivo e contínuo da produção científica mundial, impulsionado pela operacionalização da UNCCD e pela criação de programas interinstitucionais voltados ao monitoramento da degradação da terra. Esse aumento demonstra o amadurecimento do campo, que passou de estudos exploratórios locais, nas décadas de 1980 e 1990, para abordagens integradas, com uso intensivo de indicadores biofísicos e de ferramentas de geotecnologia.

Durante a década de 1990, predominavam pesquisas descritivas voltadas a metodologias locais de diagnóstico, sobretudo em países mediterrâneos, como Itália, Espanha e Grécia, fortemente influenciadas pelo modelo MEDALUS (KOSMAS et al., 1999). Na década seguinte, observam-se a consolidação de redes internacionais de pesquisa e o fortalecimento de centros especializados, com destaque para o *China Committee for Implementation of the Convention to Combat Desertification* (CCICCD, 2006) e a *Chinese Academy of Sciences*, que se tornaram os principais polos globais de produção científica sobre LDD.

Entre 2010 e 2019, ocorreu uma mudança paradigmática associada à incorporação da Agenda 2030 e da Meta 15.3 da UNCCD (2015), voltada à neutralidade da degradação das terras. Essa fase é marcada pelo salto quantitativo e qualitativo nas publicações, refletindo a ampliação de metodologias integradas que combinam indicadores biofísicos, climáticos e socioeconômicos, como o NDVI, o SOC, o LULC e o Índice de Aridez (P/ETP), aplicadas por instituições internacionais como FAO, ESA, UNEP e WMO. Países como China, Itália, Espanha, Alemanha e Irã consolidaram redes de cooperação científica, enquanto o Brasil iniciou, a partir de 2004, uma trajetória mais discreta, mas progressiva, com destaque para a EMBRAPA Semiárido, o MMA e universidades do Nordeste (UFPE, UFRPE, UFPI e UNEB).

O levantamento bibliométrico confirma que a China lidera a produção global, respondendo por cerca de um quarto dos artigos analisados. Essa liderança decorre do forte investimento estatal em ciência e tecnologia e da gravidade dos problemas de degradação e desertificação em seu território (BERRY, 2002; DELANG, 2018). A atuação da *Chinese Academy of Sciences* e de centros regionais, como o CCICCD, permitiu o desenvolvimento de modelos de vulnerabilidade baseados em sensoriamento remoto, integração de dados climáticos e análises de séries temporais de cobertura vegetal.

Na Europa, o protagonismo cabe à *Wageningen University and Research Centre* (Holanda), ao *Deutsches Geo Forschungs Zentrum – Gfz* (Alemanha) e à *Leeds University*

(Reino Unido), instituições responsáveis por avanços metodológicos na modelagem espacial, no sensoriamento remoto e na integração entre indicadores de solo, vegetação e uso da terra. Essas instituições também contribuíram para a disseminação do modelo ESAI (SALVATI et al., 2014), amplamente utilizado em contextos mediterrâneos e adaptado a outras regiões áridas e semiáridas.

No Brasil, a produção científica sobre LDD começa a ganhar corpo no início dos anos 2000, a partir da adesão do país aos compromissos da UNCCD e da criação de grupos de pesquisa vinculados à EMBRAPA Semiárido, ao Ministério do Meio Ambiente (MMA) e às universidades federais. Embora o número de publicações ainda seja reduzido, o país tem avançado na adaptação de metodologias globais às suas realidades regionais, sobretudo nas áreas suscetíveis à desertificação do Semiárido Nordestino (SÁ et al., 2000; COSTA, 2019; SOARES, 2016).

A Tabela 11 sintetiza essa evolução temporal, associando as décadas analisadas aos principais eventos, instituições e tendências metodológicas identificados no período 1997–2019.

Tabela 11 – Evolução temporal das publicações sobre LDD (1997–2019)

Década	Eventos e marcos institucionais	Países/instituições com maior produção	Tendências metodológicas predominantes
1990–1999	Criação e ratificação da UNCCD (1994–1997); Lançamento do MEDALUS	Itália, Espanha, Grécia	Estudos exploratórios, diagnósticos locais, primeiros modelos de vulnerabilidade (ESAI)
2000–2009	Expansão de redes de pesquisa e criação de centros especializados (CCICCD, 2006)	China (Chinese Academy of Sciences, CCICCD)	Consolidação de metodologias integradas; uso do NDVI e sensoriamento remoto
2010–2019	Agenda 2030 e implementação da Meta 15.3 (UNCCD, 2015)	China, Alemanha, Holanda, Reino Unido, Brasil (EMBRAPA, MMA)	Integração de indicadores (NDVI, SOC, LULC, P/ETP); monitoramento global e regional

Fonte: Elaboração própria (2025) com base em dados da Scopus e referências até set. 2019.

Em síntese, a evolução temporal dos estudos sobre LDD demonstra a consolidação de uma agenda global de pesquisa voltada à neutralidade da degradação das terras. A UNCCD foi determinante na indução de políticas e programas científicos internacionais, promovendo cooperação interinstitucional e avanços metodológicos expressivos. Ainda assim, a distribuição geográfica das publicações revela fortes assimetrias regionais, com predominância da Ásia e da

Europa, enquanto a América Latina e a África apresentam participação ainda incipiente.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A degradação da terra e a desertificação são processos que se manifestam em múltiplas escalas (local, regional e global) e afetam de forma adversa o ambiente natural, comprometendo a flora, a fauna e o bem-estar socioeconômico das populações humanas. Diante da expansão da LDD nas diferentes regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas do planeta, a comunidade científica internacional tem buscado desenvolver metodologias cada vez mais precisas, tanto em termos espaciais quanto temporais, bem como consolidar modelos de indicadores biofísicos capazes de monitorar, com maior acurácia, a progressão desses processos. O aumento expressivo da produção científica em diversos países reflete a crescente preocupação global com a sustentabilidade dos ecossistemas terrestres e com a necessidade de políticas integradas de mitigação.

O destaque da China na última década nas pesquisas sobre a temática justifica-se pelo fato de o país estar entre os mais afetados do mundo em extensão, intensidade e impacto econômico da degradação do solo, processo que atinge seu ápice com a desertificação, configurando um grave problema ecológico e socioeconômico. A liderança chinesa na afiliação de autores e instituições internacionais dedicadas à pesquisa sobre LDD reflete o empenho estatal em mitigar o fenômeno, mediante a implementação de programas em larga escala voltados à recuperação de terras degradadas. Essas ações reverberam ainda na criação de institutos de pesquisa, no fortalecimento de redes de colaboração científica e no incentivo a pesquisadores, consolidando a China como protagonista na agenda global sobre degradação e desertificação.

Em âmbito mundial, inexistiu um modelo único de metodologia ou conjunto universal de indicadores biofísicos aplicáveis à avaliação da LDD. Diversas abordagens e modelos foram desenvolvidos e utilizados para avaliar e mapear a degradação da terra em diferentes contextos geográficos e socioambientais, destacando-se as metodologias MEDALUS e PESERA como as mais recorrentes e consolidadas na literatura científica. O sensoriamento remoto permanece como a principal ferramenta de coleta e análise de informações, permitindo a obtenção de dados espaciais e temporais de alta precisão, revelando transformações significativas tanto nos ambientes naturais quanto nos sistemas socioeconômicos que deles dependem.

Os resultados deste estudo confirmam que, embora haja notável avanço nas metodologias e nos indicadores de avaliação, persiste a necessidade de harmonização conceitual

e de padronização de métricas em escala global. A diversidade de abordagens, embora enriquecedora, ainda dificulta a comparabilidade dos resultados e a formulação de políticas públicas integradas. Nesse contexto, a análise bibliométrica realizada, ao identificar países, instituições, autores, indicadores e metodologias predominantes, contribui para o aprimoramento das estratégias de monitoramento e para a consolidação da Neutralidade da Degradação da Terra como meta científica e política global.

Por fim, a presente pesquisa oferece uma base empírica e metodológica que pode orientar futuros estudos sobre a LDD, especialmente em regiões vulneráveis como o semiárido brasileiro. Recomenda-se, em versões futuras, a ampliação do recorte temporal pós-2019 e o fortalecimento da cooperação científica internacional, de modo a integrar novas bases de dados, metodologias emergentes e perspectivas regionais, consolidando o conhecimento necessário para alcançar os compromissos da Agenda 2030 e a sustentabilidade dos ecossistemas terrestres.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAHAN, E.; BEEKMAN, W. **Indicadores de desertificação no semiárido brasileiro: desafios e perspectivas**. Cadernos de Ciência & Tecnologia, v. 23, n. 3, p. 555-573, 2006. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-18232006000300007>. Acesso em: 18 ago. 2019.
- ADLER, N. J.; HARZING, A. W. A. **When knowledge wins: transcending the language barrier in international business research**. Journal of International Business Studies, v. 40, n. 4, p. 710-725, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1057/jibs.2008.104>. Acesso em: 20 fev. 2019.
- AKHTAR-SCHUSTER, M. et al. **Land degradation and the Sustainable Development Goals: Threat and opportunity**. Environmental Science & Policy, v. 63, p. 250-254, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2016.05.013>. Acesso em: 15 mai. 2019.
- ALBRECHT, A. J. **Measuring Application Development Productivity**. In: **Proceedings of IBM Applications Development Symposium**, Monterey, 14-17 October 1979. p. 83. 1979. Disponível em: <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2012816>. Acesso em: 23 abr. 2019.
- BAI, Y. et al. **Desertification and its control in China**. Land Degradation & Development, v. 19, n. 2, p. 119-125, 2008. Acesso em: 14 nov. 2019.
- BAJOCCO, S. et al. **A remote sensing indicator for assessing the risk of forest fires in Mediterranean Europe**. Forest Ecology and Management, v. 261, n. 10, p. 1833-1840, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2011.02.016>. Acesso em: 10 mai. 2019.
- BAJOCCO, S.; DE ANGELIS, A.; SALVATI, L. **A satellite-based green index as a proxy for vegetation cover quality in a Mediterranean region**. Ecological Indicators, v. 18, p. 55-62, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.09.006>. Acesso em: 29 abr. 2019.
- BARBERO-SIERRA, C. et al. **How is Desertification Research Addressed in Spain? Land Versus Soil Approaches**. Land Degradation & Development, v. 26, n. 5, p. 460-473, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/ldr.2343>. Acesso em: 13 mar. 2019.
- BARBIER, E. B. **The role of economics in the assessment of land degradation**. New York: Oxford University Press, 2000. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1093/0199245588.001.0001>. Acesso em: 14 fev. 2019.
- BASSO, F. et al. **Assessment of desertification risk in Southern Italy: an application of the MEDALUS model**. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, v. 35, n. 10-12, p. 646-655, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pce.2010.08.006>. Acesso em: 11 abr. 2019.
- BECERRIL-PIÑA, R. et al. **Integration of remote sensing techniques for monitoring desertification in Mexico**. Human and Ecological Risk Assessment, v. 22, n. 6, p. 1323-1340, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/10807039.2016.1169914>. Acesso em: 11 abr. 2019.

BECKER, F.; CHOUDHURY, B. J. **Relative sensitivity of normalized difference vegetation index (NDVI) and microwave polarization difference index (MPDI) for vegetation and desertification.** Remote Sensing of Environment, v. 24, n. 2, p. 297-311, 1988. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90013-4](http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(88)90013-4). Acesso em: 08 mai. 2019.

BINDRABAN, P. S. et al. **Assessing the impact of soil degradation on food production.** Current Opinion in Environmental Sustainability, v. 4, n. 5, p. 518-528, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cosust.2012.09.015>. Acesso em: 22 jun. 2019.

BOER, M. M.; PUIGDEFÁBREGAS, J. **Assessment of dryland condition using spatial anomalies of vegetation index values.** Journal of Arid Environments, v. 63, n. 2, p. 450-469, 2005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.02.001>. Acesso em: 29 abr. 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano de ação nacional de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca (PAN-Brasil).** Brasília: MMA, 2007. Acesso em: 10 set. 2019.
BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD):** texto da Convenção e decisões da Conferência das Partes. Brasília: MMA, 2003. Acesso em: 15 out. 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Atlas mundial da desertificação.** Brasília: MMA, 1999. Acesso em: 22 out. 2019.

BRIASSOULIS, H. **Governance as multiplicity: the Assemblage Thinking perspective.** Policy Sciences, v. 52, n. 3, p. 419-450, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11077-018-09345-9>. Acesso em: 12 mar. 2019.

CACHO, O. **An analysis of externalities in agroforestry systems in the presence of land degradation.** Ecological Economics, v. 39, n. 2, p. 275-288, 2001. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/S0921-8009\(01\)00223-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0921-8009(01)00223-9). Acesso em: 29 abr. 2019.

CARNEIRO, A. E. **A interdisciplinaridade: o grande desafio da ciência.** Interação, v. 10, n. 2, p. 11-16, 1994. Disponível em: <http://www.seer.ufscar.br/index.php/interacao/article/view/29>. Acesso em: 18 abr. 2019.

CCICCD. **China's National Action Programme to Combat Desertification.** Beijing: China Committee for Implementation of the Convention to Combat Desertification, 2006. Acesso em: 05 jul. 2019.

CODATO, F. **Análise de Redes Sociais: teoria, métodos e aplicações.** Curitiba: Editora UFPR, 2018. Acesso em: 03 dez. 2019.

COSTA, J. P. B. **A degradação da terra e a desertificação no Semiárido brasileiro: uma análise bibliométrica.** Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2019. Acesso em: 15 dez. 2019.

COWIE, C. C. et al. **Prevalence of diagnosed diabetes in adults by diabetes type—United States, 2016.** MMWR Morbidity and Mortality Weekly Report, v. 67, n. 12, p. 359-363, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.15585/mmwr.mm6712a2>. Acesso em: 18 mar. 2019.

DE PAZ, J. M. et al. **Combined use of GIS and environmental indicators for assessment of chemical, physical, and biological soil degradation in a Spanish Mediterranean region.** Journal of Environmental Management, v. 80, n. 1, p. 44-54, 2006. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.01.002>. Acesso em: 29 abr. 2019.

DELANG, C. O. **China's land degradation: a comparison of the environmental and economic cost of desertification, soil erosion, and forest loss.** London: Routledge, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4324/9781351187979>. Acesso em: 24 fev. 2019.

DIJKSHOORN, M. L.; VAN ENGELEN, V. W. P.; HUTING, J. **The Global Land Degradation Assessment (GLADA) approach: a new tool for assessment of land degradation.** Journal of Arid Environments, v. 72, n. 2, p. 147-154, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2007.03.003>. Acesso em: 12 mai. 2019.

DOUGILL, A. J. et al. **Integrating knowledge to address global scale assessment of Land Degradation and Sustainable Land Management.** Environmental Science & Policy, v. 23, p. 94-106, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2012.06.002>. Acesso em: 24 fev. 2019.

DREGNE, H. E. **Desertification of arid lands.** New York: Harwood Academic Publishers, 1983. Acesso em: 11 jun. 2019.

DREGNE, H. E. **The global status of desertification.** Tucson: University of Arizona, 2002. Acesso em: 05 ago. 2019.

DREGNE, H. E. et al. **A new assessment of the world status of desertification.** Desertification Control Bulletin, v. 20, p. 6-10, 1991. Acesso em: 29 jul. 2019.

EASDALE, M. T. et al. **Mapping Land Degradation Status in the Ethiopian Highlands Using Multi-Temporal Landsat Imagery.** Remote Sensing, v. 9, n. 10, p. 1014, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/rs9101014>. Acesso em: 15 fev. 2019.

EEA. European Environment Agency. **Desertification in Europe.** Copenhagen: EEA, 2008. Acesso em: 08 set. 2019.

ENNE, G.; YEROYANNI, M. **Land degradation in drylands: indicators and trends.** Rome: FAO, 2006. Acesso em: 25 ago. 2019.

FAHIMNIA, B.; SARKIS, J.; DAVARZANI, H. **Green supply chain management: a review and bibliometric analysis.** International Journal of Production Economics, v. 162, p. 101-114, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.01.003>. Acesso em: 14 fev. 2019.

FAO/UNEP. **Provisional methodology for assessment and mapping of desertification.** Rome: FAO, 1984. Acesso em: 17 jul. 2019.

FAZENDA, I. C. A. (Org.). **O que é interdisciplinaridade?.** São Paulo: Cortez, 1993. Acesso em: 20 ago. 2019.

FEOLI, E. et al. **Desertification risk assessment using a NDVI-based approach in Northern Kordofan, Sudan.** Journal of Arid Environments, v. 53, n. 2, p. 257-271, 2003. Disponível em:

<http://dx.doi.org/10.1006/jare.2002.1070>. Acesso em: 19 mar. 2019.

FLICK, U. **Uma introdução à pesquisa qualitativa**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2004. Acesso em: 10 jun. 2019.

FLORIANI, D. **A interdisciplinaridade e a questão ambiental**. Interações, v. 7, n. 13, p. 9-18, 2006. Acesso em: 27 set. 2019.

FOLHES, M. T. **Mapeamento da desertificação no semiárido piauiense utilizando o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2007. Acesso em: 22 nov. 2019.

GAD, A.; LOFTY, M. **Assessment of desertification risk in the North West coast of Egypt using the ESAI model**. Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, v. 11, n. 2, p. 129-140, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrs.2008.06.002>. Acesso em: 27 mar. 2019.

GALINDO, A. C. et al. **Assessment and mapping of soil degradation in an arid region of Mexico**. Land Degradation & Development, v. 19, n. 2, p. 126-139, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/ldr.825>. Acesso em: 06 mai. 2019.

GEIST, H. J.; LAMBIN, E. F. **Dynamic causal structures in LUCC**. Bioscience, v. 54, n. 4, p. 317-329, 2004. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1641/0006-3568\(2004\)054\[0317:DCSILC\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[0317:DCSILC]2.0.CO;2). Acesso em: 05 mar. 2019.

GELAW, A. M. et al. **Soil quality indices for evaluating smallholder agricultural land uses in northern Ethiopia**. Land Degradation & Development, v. 26, n. 3, p. 286-294, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/ldr.2201>. Acesso em: 29 abr. 2019.

GIBBS, H. K.; SALMON, J. **Global drivers of land-use change**. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 112, n. 30, p. 8507-8512, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1504313112>. Acesso em: 26 jun. 2019.

GEIST, Helmut J.; LAMBIN, Eric F. **Dynamic causal patterns of desertification**. **BioScience**, v. 54, n. 9, p. 817-829, 2004. Disponível em: [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2004\)054\[0817:DCPOD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[0817:DCPOD]2.0.CO;2). Acesso em: 26 jun. 2019.

GONÇALVES, Z. L. et al. **Metodologia para avaliação da suscetibilidade à desertificação (MEDALUS) no Nordeste do Brasil**. João Pessoa: Ed. UFPB, 2010. Acesso em: 29 out. 2019. GRAINGER, A. **Global monitoring of land degradation**. Land Degradation & Development, v. 20, n. 5, p. 493-514, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/ldr.911>. Acesso em: 09 mai. 2019.

HERRMANN, S. M.; ANYAMBA, A.; TUCKER, C. J. **Recent trends in vegetation dynamics in the African Sahel and their relationship to rainfall and temperature**. Journal of Arid Environments, v. 63, n. 3, p. 394-409, 2005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.03.012>. Acesso em: 07 mai. 2019.

HIGGINBOTTOM, T. P.; SYMEONAKIS, E. **The effect of data resolution on the**

monitoring of dryland degradation. Remote Sensing of Environment, v. 152, p. 250-259, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2014.05.011>. Acesso em: 01 mar. 2019.

HOU, D. et al. **A Sustainability Assessment Framework for Agricultural Land Remediation in China.** Journal of Cleaner Production, v. 190, p. 297-307, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.148>. Acesso em: 07 mai. 2019.

HUBER, S.; FENSHOLT, R.; RASMUSSEN, K. **Assessing desertification severity in the Sahel using a Landsat-based degradation index.** Remote Sensing of Environment, v. 115, n. 11, p. 2831-2838, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2011.06.009>. Acesso em: 26 mar. 2019.

IBRAHIM, Y. et al. **Monitoring land degradation in a semi-arid region using remote sensing and GIS: a case study of northern Kordofan State, Sudan.** Journal of Arid Environments, v. 114, p. 1-13, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2014.11.006>. Acesso em: 10 mai. 2019.

IMBRENDA, V. et al. **The environmental sensitivity area index (ESAI): a tool for assessing and mapping land degradation.** Land Degradation & Development, v. 24, n. 1, p. 1-14, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/ldr.1099>. Acesso em: 07 mar. 2019.

JAFARI, S.; BAKHSHANDEMEHR, S. **Assessment of desertification vulnerability using GIS in semi-arid regions of Iran.** International Journal of Environmental Science and Technology, v. 13, n. 10, p. 2409-2420, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s13762-016-1070-7>. Acesso em: 02 mar. 2019.

JACINTHO, J. J. **Sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica aplicados à análise e monitoramento da degradação ambiental.** São Paulo: Novatec, 2013. Acesso em: 09 set. 2019.

JUCKER RIVA, M. et al. **Assessment of desertification susceptibility using the Environmental Sensitivity Area Index (ESAI) in the Apulia region, Southern Italy.** Land Degradation & Development, v. 28, n. 6, p. 1779-1793, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/ldr.2709>. Acesso em: 15 fev. 2019.

KAIRIS, O. et al. **Land degradation and desertification: a review of the spatial and temporal assessment using remote sensing.** Science of The Total Environment, v. 473-474, p. 657-670, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.12.046>. Acesso em: 10 jun. 2019.

KIRKBY, M. J. et al. **MEDALUS: Mediterranean desertification and land use.** Catena, v. 37, n. 3-4, p. 487-502, 1998. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/S0341-8162\(99\)00069-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0341-8162(99)00069-9). Acesso em: 22 mar. 2019.

KIRKBY, M. J. et al. **The PESERA soil erosion model applied to the European Union: structure and methodology.** European Journal of Soil Science, v. 59, n. 3, p. 344-358, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2389.2007.00995.x>. Acesso em: 12 mai. 2019.

KOSMAS, C. et al. **The MEDALUS project: methodology for assessing and mapping desertification and land use.** Catena, v. 37, n. 3-4, p. 477-486, 1999. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/S0341-8162\(99\)00067-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0341-8162(99)00067-5). Acesso em: 24 fev. 2019.

_____. **The methodology of the European Soil and Land Degradation Assessment (ESLAD): an integrated approach for the assessment of land degradation.** Land Degradation & Development, v. 23, n. 5, p. 427-440, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/ldr.1132>. Acesso em: 08 mai. 2019.

KOSMAS, C. et al. **A comparative analysis of land degradation assessment approaches and their implications for sustainable land management.** Land Degradation & Development, v. 24, n. 2, p. 195-207, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/ldr.2227>. Acesso em: 05 mai. 2019.

LADA. Land Degradation Assessment in Drylands. **Assessment of land degradation and sustainable land management in drylands.** Rome: FAO, 2010. Acesso em: 12 nov. 2019.

LADISA, G. et al. **A GIS-based approach for desertification risk assessment in Apulia region, SE Italy.** Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, v. 41, p. 128-138, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pce.2012.01.002>. Acesso em: 29 abr. 2019.

LÉLÉ, S. M.; NORGAARD, R. B. **Sustainability and the scientist's burden.** Conservation Biology, v. 6, n. 3, p. 334-338, 1996. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1046/j.1523-1739.1996.06030334.x>. Acesso em: 25 abr. 2019.

LIN, Y. et al. **Spatial vegetation patterns as early signs of desertification: A case study of a desert steppe in Inner Mongolia, China.** Landscape Ecology, v. 25, n. 5, p. 747-758, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s10980-010-9470-3>. Acesso em: 29 abr. 2019.

LU, H. et al. **The effects of the “Grain for Green” program on land use and ecosystem services in China.** Land Use Policy, v. 29, n. 3, p. 551-559, 2012. Acesso em: 17 out. 2019.

MA, Y. Human well-being and drylands. In: **Millennium Ecosystem Assessment (MA).** Washington, D.C.: Island Press, 2005a. Acesso em: 05 nov. 2019.

MA, Y. **Millennium Ecosystem Assessment (MA).** Washington, D.C.: Island Press, 2005b. Acesso em: 05 nov. 2019.

MAIROTA, P. et al. **Desertification risk assessment in Mediterranean areas: a multicriteria approach.** Catena, v. 37, n. 3-4, p. 551-570, 1998. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/S0341-8162\(99\)00077-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0341-8162(99)00077-8). Acesso em: 22 mar. 2019.

MATALLO JÚNIOR, H. **As zonas áridas, semi-áridas e sub-úmidas secas (ASAS): áreas de risco de desertificação no Brasil.** Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. Acesso em: 03 out. 2019.

MELO, A. M. T.; SALES, M. C. L.; OLIVEIRA, S. F. **Aplicação do NDVI e análise de componentes principais na avaliação da degradação da Caatinga no município de Petrolina – PE.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 15, n. 5, p. 470-478, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011000500007>. Acesso em: 20 mar. 2019.

MIDDLETON, N. J.; THOMAS, D. S. G. **World atlas of desertification.** London: Edward Arnold, 1992. Acesso em: 15 out. 2019.

MINAYO, M. C. de S. **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. 7. ed. Petrópolis: Vozes, 1997. Disponível em: <http://www.mobilizadores.org.br/wp-content/uploads/2015/03/MINAYO-M.-Cec%C3%ADlia-org.-Pesquisa-social-teoria-m%C3%A9todo-e-criatividade.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2019.

MOREIRA, J. C. **Sensoriamento remoto: fundamentos e aplicações**. 4. ed. São Paulo: Érica, 2011. Acesso em: 11 set. 2019.

MOUAT, D. et al. **Desertification evaluated using an integrated environmental assessment model**. Environmental Monitoring and Assessment, v. 48, n. 3, p. 237-251, 1997. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1023/A:1005886419965>. Acesso em: 28 fev. 2019.

NIEMEIJER, D.; DE GROOT, R. S. **A conceptual framework for selecting environmental indicators to assess desertification**. Land Degradation & Development, v. 19, n. 4, p. 471-487, 2008a. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/ldr.847>. Acesso em: 10 abr. 2019.

OBA, G. **Herder knowledge of landscape assessments in arid rangelands in northern Tanzania**. Journal of Arid Environments, v. 67, n. 1, p. 147-158, 2006. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.02.003>. Acesso em: 24 fev. 2019.

OLDEMAN, L. R. et al. **World map of the status of human-induced soil degradation**. Wageningen: ISRIC, 1990. Acesso em: 15 jul. 2019.

OLIVEIRA, M. C. et al. **Análise bibliométrica da produção científica sobre educação ambiental no período de 2000 a 2010**. Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental, v. 30, p. 77-94, 2013. Acesso em: 20 ago. 2019.

PEREIRA, R. M. et al. **Bibliometric analysis of land use and land cover change research in the context of the Sustainable Development Goals**. Environmental Science & Policy, v. 101, p. 150-161, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2019.07.009>. Acesso em: 16 abr. 2019.

PNUMA. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. **World atlas of desertification**. 2. ed. London: Arnold, 1997. Acesso em: 10 jul. 2019.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. Acesso em: 11 set. 2019.

PRĂVĂLIE, R. et al. **Spatial assessment of land degradation vulnerability in Romania using the Environmental Sensitive Area Index (ESAI) model**. Land Degradation & Development, v. 28, n. 4, p. 1162-1175, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/ldr.2676>. Acesso em: 08 mar. 2019.

PRITCHARD, A. **Statistical bibliography or bibliometrics?**. Journal of Documentation, v. 25, n. 4, p. 348-349, 1969. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1108/eb026521>. Acesso em: 05 fev. 2019.

REED, M. S.; DOUGILL, A. J.; BAKER, T. R. **Participatory indicator development: What can ecologists and local communities learn from each other?**. Ecological Applications, v.

18, n. 5, p. 1221-1234, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1890/07-0683.1>. Acesso em: 24 fev. 2019.

REED, M. S. et al. **Cross-scale monitoring and assessment of land degradation and sustainable land management: A methodological framework for knowledge management.** Land Degradation & Development, v. 22, n. 2, p. 261-274, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/ldr.1052>. Acesso em: 24 fev. 2019.

REYNOLDS, James F. et al. **Global desertification: building a science for dryland development.** Science, v. 316, n. 5826, p. 847-851, 2007. Disponível em: <http://doi.org/10.1126/science.1131634>. Acesso em: 24 fev. 2019.

ROBA, H. G.; OBA, G. **Efficacy of integrating herder knowledge and ecological methods for monitoring rangeland degradation in Northern Kenya.** Journal of Environmental Management, v. 80, n. 4, p. 320-334, 2006. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.10.016>. Acesso em: 29 abr. 2019.

ROUSE, J. W. et al. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS.** In: **Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium.** Washington, D.C.: NASA SP-351, 1973. p. 309-317. Acesso em: 12 nov. 2019.

RUBIO, J. L.; BOCHET, E. **Desertification indicators as an evaluation tool of sustainable land management.** Journal of Arid Environments, v. 39, n. 2, p. 113-134, 1998. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1006/jare.1998.0384>. Acesso em: 05 mar. 2019.

RUBIO, J. L.; RECATALA, L. **The impact of desertification and land degradation on the Mediterranean environment.** Land Degradation & Development, v. 17, n. 5, p. 487-497, 2006. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/ldr.760>. Acesso em: 01 mar. 2019.

SÁ, I. I. et al. **Degradação de terras e desertificação no Nordeste do Brasil: o desafio da reversão.** Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2000. Acesso em: 14 out. 2019.

SAHA, S.; SAINT, S.; CHRISTAKIS, D. A. **Impact factor: a valid measure of journal quality?.** Journal of the Medical Library Association, v. 91, n. 4, p. 422-426, 2003. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1525-1497.2003.00115.x>. Acesso em: 16 mar. 2019.

SALVATI, L. et al. **An integrated approach to assessing desertification risk in Italy.** Land Degradation & Development, v. 25, n. 3, p. 270-279, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/ldr.2120>. Acesso em: 07 mar. 2019.

SALVATI, L.; BAJOCCHO, S. **Land degradation and climate change: an exploratory statistical assessment in Italy.** Climatic Change, v. 109, n. 1-2, p. 125-141, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-010-0010-9>. Acesso em: 20 ago. 2019.

SCHUCKNECHT, A. et al. **The application of remote sensing for the assessment of land degradation and desertification in the semi-arid lands of sub-Saharan Africa.** Remote Sensing of Environment, v. 134, p. 147-158, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2013.02.012>. Acesso em: 15 fev. 2019.

SHRUTHI, R. B. V.; KERLE, N.; JETTEN, V. **Object-based gully feature extraction using**

high spatial resolution imagery. *Geomorphology*, v. 134, n. 3-4, p. 260-268, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.07.022>. Acesso em: 24 fev. 2019.

SILVA, E. D. **Fator de impacto: qualis e ranking.** *Revista Brasileira de Pós-Graduação*, v. 3, n. 6, p. 119-130, 2002. Acesso em: 29 out. 2019.

SOARES, J. S. **Degradação de terras e desertificação no semiárido brasileiro: uma análise espacial e temporal.** Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016. Acesso em: 14 out. 2019.

SOUSA, F. B. et al. **Uso do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) na avaliação da desertificação em uma área do semiárido paraibano.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, n. 11, p. 1178-1184, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013001100007>. Acesso em: 17 fev. 2019.

SOUZA, M. H.; SANTOS, S. R. L.; DIAS, P. **Pesquisa científica: como planejar e desenvolver.** 2. ed. São Paulo: Atlas, 2013. Acesso em: 08 ago. 2019.

STRINGER, L. C.; REED, M. S. **Land degradation in drylands: a literature review.** *Land Degradation & Development*, v. 18, n. 2, p. 115-131, 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/ldr.784>. Acesso em: 19 fev. 2019.

TACHIZAWA, T.; MENDES, G. **Como fazer pesquisa acadêmica: passo a passo.** Rio de Janeiro: FGV, 2006. Acesso em: 22 jul. 2019.

TEHRANY, M. et al. **Application of remote sensing and GIS for flash flood potential mapping in the semi-arid region of Iran.** *Remote Sensing*, v. 9, n. 4, p. 407, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/rs9040407>. Acesso em: 15 fev. 2019.

THORNTON, C. W. **Climate and settlement in the Great Plains.** In: *Climate and man: yearbook of agriculture*. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1941. p. 177-193. Acesso em: 10 out. 2019.

TROTTA, M. et al. **Assessment of desertification risk using the MEDALUS model in the Apulia region, Southern Italy.** *Land Degradation & Development*, v. 26, n. 8, p. 883-894, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/ldr.2435>. Acesso em: 06 mai. 2019.

TRAVASSOS, L.; SOUZA, R. P. **A desertificação em questão: um debate conceitual.** *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 4, n. 1, p. 33-46, 2011. Acesso em: 11 set. 2019.

UNCCD. United Nations Convention to Combat Desertification. **The Future We Want: Rio+20 outcome document.** New York: UNCCD, 2015. Acesso em: 15 out. 2019.

_____. United Nations Convention to Combat Desertification. **The 10-year strategic plan and framework to enhance the implementation of the Convention (2008–2018).** Bonn: UNCCD, 2010. Acesso em: 12 nov. 2019.

UNEP. United Nations Environment Programme. **World atlas of desertification.** London: Arnold, 1992. Acesso em: 13 dez. 2019.

USDA. United States Department of Agriculture. **Global assessment of soil degradation**

(GLASOD). Washington, D.C.: USDA, 2003. Acesso em: 25 set. 2019.

VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. **Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping**. Scientometrics, v. 84, n. 2, p. 523-538, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11192-009-0027-9>. Acesso em: 07 fev. 2019.

VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. **Visualizing bibliometric networks**. In: D. W. M. D. E. **Measuring scholarly impact**. Cham: Springer, 2014. p. 285-320. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-01200-4_13. Acesso em: 07 fev. 2019.

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 15. ed. São Paulo: Atlas, 2014. Acesso em: 10 ago. 2019.

VOGT, J. V. et al. **The UNCCD reporting process: time for re-thinking its purpose and improving its effectiveness**. Land Degradation & Development, v. 22, n. 2, p. 209-222, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/ldr.1054>. Acesso em: 23 jun. 2019.

WANG, X. **Desertification in China: a review**. Berlin: Springer, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-29938-1>. Acesso em: 25 fev. 2019.

_____. **A comparative study of desertification assessment methods in northern China**. Singapore: Springer, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/978-981-10-6671-1>. Acesso em: 25 fev. 2019.

WANG, X. et al. **The relative role of climatic and human factors in desertification in semiarid China**. Global Environmental Change, v. 16, n. 4, p. 355-364, 2006. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.05.002>. Acesso em: 24 fev. 2019.

WMO. World Meteorological Organization. **Climate and desertification**. Geneva: WMO, 2005. Acesso em: 10 out. 2019.

XU, L. et al. **Monitoring desertification in the semi-arid region of China using Landsat ETM+ and MODIS data**. Remote Sensing, v. 6, n. 4, p. 2617-2636, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/rs6042617>. Acesso em: 15 fev. 2019.

YIRAN, W. et al. **A review of methodologies for desertification assessment in China**. Land Degradation & Development, v. 23, n. 3, p. 204-214, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/ldr.1070>. Acesso em: 06 mai. 2019.

ZUCCA, C. et al. **The land degradation assessment in drylands (LADA) approach: a synthesis**. Land Degradation & Development, v. 23, n. 5, p. 416-426, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/ldr.1133>. Acesso em: 08 mai. 2019.

ZUPIC, I.; ČATER, T. **Bibliometric methods in management and organization**. Organizational Research Methods, v. 18, n. 3, p. 429-472, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1177/1094428114562629>. Acesso em: 14 fev. 2019.

ANEXO 1 – OS DEZESSETE OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL



Fonte: PNUD, 2015.

Agenda 2030 do Desenvolvimento Sustentável - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

1. Acabar com a pobreza em todas as suas formas e em toda a parte;
2. Acabar com a fome, atingir a segurança alimentar e a melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável;
3. Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos em todas as idades;
4. Assegurar uma educação inclusiva e equitativa de qualidade e promover oportunidades de aprendizagem para todos ao longo da vida;
5. Alcançar a igualdade de género e a autonomia de todas as mulheres e meninas;
6. Garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água e do saneamento para todos;
7. Assegurar o acesso a energia confiável, sustentável e moderna para todos;
8. Promover o crescimento económico sustentável e inclusivo, o emprego pleno e produtivo e o trabalho digno para todos;
9. Construir infraestruturas resilientes, promover industrialização inclusiva e sustentável e também a inovação;
10. Reduzir as desigualdades dentro e entre países;

11. Fazer as cidades e os povoados inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis;
12. Assegurar padrões de consumo e de produção sustentáveis;
13. Adotar medidas urgentes para combater as mudanças climáticas e os seus impactos;
14. Conservar e utilizar sustentavelmente os oceanos, os mares e os recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável;
15. Proteger, restaurar e promover a utilização sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir sustentavelmente as florestas, combater a desertificação, travar e reverter a degradação das terras e por cobro às perdas em biodiversidade;
 - 15.1 Até 2020, assegurar a conservação, recuperação e uso sustentável de ecossistemas terrestres e de água doce interiores e seus serviços, em especial florestas, zonas úmidas, montanhas e terras áridas, em conformidade com as obrigações decorrentes dos acordos internacionais;
 - 15.2 Até 2020, promover a implementação da gestão sustentável de todos os tipos de florestas, deter o desmatamento, restaurar florestas degradadas e aumentar substancialmente o florestamento e o reflorestamento globalmente;
 - 15.3 Até 2030, combater a desertificação, restaurar a terra e o solo degradado, incluindo terrenos afetados pela desertificação, secas e inundações, e lutar para alcançar um mundo neutro em termos de degradação do solo;
 - 15.4 Até 2030, assegurar a conservação dos ecossistemas de montanha, incluindo a sua biodiversidade, para melhorar a sua capacidade de proporcionar benefícios que são essenciais para o desenvolvimento sustentável;
 - 15.5 Tomar medidas urgentes e significativas para reduzir a degradação de habitat naturais, deter a perda de biodiversidade e, até 2020, proteger e evitar a extinção de espécies ameaçadas;
 - 15.6 Garantir uma repartição justa e equitativa dos benefícios derivados da utilização dos recursos genéticos e promover o acesso adequado aos recursos genéticos;
 - 15.7 Tomar medidas urgentes para acabar com a caça ilegal e o tráfico de espécies da flora e fauna protegidas e abordar tanto a demanda quanto a oferta de produtos ilegais da vida selvagem;
 - 15.8 Até 2020, implementar medidas para evitar a introdução e reduzir significativamente o impacto de espécies exóticas invasoras em ecossistemas terrestres e aquáticos, e controlar ou erradicar as espécies prioritárias;

- 159 Até 2020, integrar os valores dos ecossistemas e da biodiversidade ao planejamento nacional e local, nos processos de desenvolvimento, nas estratégias de redução da pobreza e nos sistemas de contas;
- 15.a Mobilizar e aumentar significativamente, a partir de todas as fontes, os recursos financeiros para a conservação e o uso sustentável da biodiversidade e dos ecossistemas;
- 15.b Mobilizar recursos significativos de todas as fontes e em todos os níveis para financiar o manejo florestal sustentável e proporcionar incentivos adequados aos países em desenvolvimento para promover o manejo florestal sustentável, inclusive para a conservação e o reflorestamento;
- 15.c Reforçar o apoio global para os esforços de combate à caça ilegal e ao tráfico de espécies protegidas, inclusive por meio do aumento da capacidade das comunidades locais para buscar oportunidades de subsistência sustentável;
16. Promover sociedades pacíficas e inclusivas para o desenvolvimento sustentável, assegurar o acesso à justiça para todos e desenvolver instituições eficazes, responsáveis e inclusivas a todos os níveis;
17. Reforçar os meios de implementação e revitalizar a Parceria Global para o Desenvolvimento Sustentável.

Fonte: PNUD, 2015.

ANEXO 2 – TODOS OS TERMOS MAPEADOS PELO VOSVIEWER

id	keyword	occurrences	total link strength	id	keyword	occurrences	total link strength
1	acacia	1	28	356	landsat thematic mapper	1	21
2	acacia mellifera	1	28	357	landscape	1	62
3	action plan	2	82	358	landscape ecology	1	10
4	advanced very high resolution radiometer (avhrr)	1	24	359	law enforcement	1	51
5	aerial photography	1	10	360	leaf area index	1	24
6	africa	4	86	361	leaf area index (lai)	1	24
7	agricultural areas	1	56	362	life cycle	1	26
8	agricultural intensification	1	30	363	life cycle analysis	1	26
9	agricultural land	3	104	364	life cycle assessment	1	26
10	agricultural management	2	84	365	life cycle assessment (lca)	1	26
11	agricultural management practice	1	32	366	linear regression	1	24
12	agricultural sustainability	1	26	367	linear spectral unmixing	1	29
13	agriculture	6	247	368	livestock	1	28
14	agro-ecosystems	1	13	369	livestock farming	1	14
15	agroforestry	1	5	370	livestock grazing	1	56
16	agronomy	1	32	371	livestock grazing preference	1	14
17	albedo	2	38	372	local and scientific knowledge	1	20
18	alkalinity	1	19	373	local knowledge	1	28
19	alluvial fan	1	19	374	local participation	1	14
20	alluvial plain	1	19	375	local planning	1	62
21	alternative agriculture	3	70	376	loess plateau	1	22
22	analytical hierarchy process	1	25	377	logistic regression	1	4
23	analytical method	1	15	378	logit analysis	1	17
24	animalia	2	40	379	lulc	1	17
25	annual average	1	56	380	maasai	1	14
26	anthropogenic effect	1	28	381	management	1	20
27	apulia region	1	24	382	managers	1	20
28	aquifer	1	30	383	manas basin	2	48
29	aquifer pollution	1	30	384	mann-kendall	1	38
30	argentina	1	10	385	mapping	4	64
31	arid and semi-arid regions	3	106	386	mapping capabilities	1	29
32	arid environment	3	51	387	mashhad plain	1	7
33	arid region	5	115	388	mathematical computing	1	51
34	arid regions	6	190	389	mathematical models	1	15
35	arid tunisia	1	56	390	matrix	1	21
36	arida	1	24	391	maturity	1	16
37	artemisia tridentata	1	9	392	medalus	2	22
38	article	4	164	393	medalus model	1	21

39	asia	2	34	394	medalus project	1	24
40	assessment	1	21	395	mediterranean	1	28
41	assessment method	5	139	396	mediterranean areas	1	15
42	atmospherics	1	24	397	mediterranean environment	2	39
43	attica	1	28	398	mediterranean environments	1	24
44	australia	1	17	399	mediterranean region	3	109
45	autumn	1	51	400	mirza	1	12
46	avhrr	1	24	401	mitigation	1	24
47	baci sampling design	1	14	402	mixtures	1	13
48	bardaskan	1	21	403	model	1	13
49	bare soils	1	56	404	moderate resolution imaging spectroradiometer satellites	2	53
50	beijing [china]	1	22	405	modis	5	133
51	bibliometric	1	23	406	mongolia	1	21
52	bioclimate	1	56	407	monitoring	1	20
53	biodiversity	2	84	408	monitoring and evaluations	1	24
54	biological conservation	1	4	409	monoculture	1	62
55	biology	1	56	410	morocco	2	27
56	biomass	1	51	411	multi-criteria decision analysis	1	25
57	biophysical impact	1	14	412	multi-temporal	1	56
58	biophysical process	1	56	413	multidisciplinarity	1	23
59	biophysics	1	32	414	multinomial logit model	1	17
60	biosphere	1	13	415	multiple linear regression analysis	1	29
61	biotype	1	13	416	multivariate analysis	2	51
62	botswana	1	28	417	natural dynamics	1	56
63	cajanus cajan	1	32	418	natural resources management	1	24
64	calcium	1	30	419	naturally occurring	1	24
65	canopy	1	29	420	nature conservation	1	28
66	canopy temperature	1	29	421	ndvi	8	173
67	cape verde [macaronesia]	1	32	422	nefzaoua	1	30
68	carbon sequestration	1	29	423	nei monggol	2	59
69	carrying capacity	1	18	424	net primary production	2	62
70	cartography	1	28	425	net primary productivity	1	38
71	catchments	1	29	426	net primary productivity (npp)	1	38
72	central asia	1	18	427	network analysis	1	23
73	change detection	3	80	428	non-sustainable management	1	15
74	changes in ecosystem functioning	1	24	429	normalized difference vegetation index	1	29
75	chemistry	1	62	430	northern kenya	1	20
76	china	8	170	431	nutrient cycling	1	20
77	chott el djerid	1	30	432	oasis	2	34
78	chotts basin	1	30	433	oasis agroecosystems	1	13
79	ci	1	30	434	object-based image analysis	1	14

80	classification	1	14	435	observatories	1	22
81	classification results	1	56	436	opencast mining	1	10
82	classification scheme	1	56	437	optimization	1	15
83	clean-quality indicator	1	10	438	organic carbon	2	51
84	climate	1	23	439	overgrazing	1	21
85	climate change	6	192	440	ovis aries	2	31
86	climate conditions	1	32	441	parameterization	1	26
87	climate models	1	24	442	participation	1	28
88	climate variability	1	32	443	participatory approach	1	28
89	climate variation	1	13	444	particle size	1	26
90	climatic conditions	1	56	445	pastoralists	1	9
91	climatology	7	169	446	pastures	1	18
92	coal mine	1	10	447	patch dynamics	1	10
93	combating desertification	1	56	448	patch structure change	1	10
94	composite	1	22	449	persimmon	1	15
95	composite indicators	1	22	450	pesera-desmice	1	32
96	composite land degradation index (cldi)	1	5	451	phoenix dactylifera	1	30
97	computer program	1	51	452	photosynthesis	1	38
98	computer simulation	2	49	453	physical conservation	1	4
99	comunidad valencia	2	66	454	physicochemical property	1	26
100	conceptual framework	1	22	455	phytoplankton	1	38
101	conservation measures	1	32	456	planning	1	38
102	conservation of natural resources	3	141	457	plantation	2	77
103	conservation technologies	1	32	458	plantation forestry	1	17
104	contamination	1	24	459	plantation forests	1	17
105	controlled study	2	113	460	plants (botany)	3	67
106	correlation	2	41	461	policy	2	71
107	cost effectiveness	1	32	462	policy development	1	17
108	cost effectiveness analysis	1	51	463	policy implementation	1	24
109	cost reduction	1	32	464	policy making	2	48
110	cotton	1	29	465	pollution	1	26
111	crop production	1	30	466	pollution prevention	1	26
112	crops	2	61	467	population densities	1	56
113	cultivated land	1	29	468	population growth	2	78
114	cultivated lands	1	29	469	population statistics	1	62
115	data acquisition	2	49	470	precipitation (meteorology)	1	15
116	data fusion	1	38	471	precipitation and runoff	1	29
117	data set	1	21	472	principal component analysis	1	22
118	deciduous tree	1	15	473	probability of yield	1	32
119	decision making	2	43	474	procedures	1	62
120	decision tree	1	11	475	productivity	1	24
121	decision trees	1	11	476	project assessment	1	11

122	degradation	7	264	477	publishing	1	23
123	degradation process	1	56	478	puglia	1	24
124	desert	4	79	479	qualitative analysis	2	78
125	desert climate	1	51	480	quality assurance	1	25
126	desertification	19	408	481	quantitative analysis	1	21
127	desertification assessment	1	23	482	quantitative prediction	1	29
128	desertification monitoring	2	76	483	radiometers	5	141
129	desertification process	1	21	484	radiometry	1	24
130	desertification risk	2	49	485	rain	3	107
131	desertification severity	1	11	486	rainfall	2	37
132	development	1	62	487	rajasthan	1	13
133	development project	1	22	488	rangeland	4	85
134	dicotyledon	1	21	489	rangeland degradations	1	12
135	digital elevation model	1	29	490	rangelands	2	65
136	diospyros	1	15	491	rating	1	20
137	drainage	1	29	492	razavi khorasan	1	21
138	driving factors analysis	1	38	493	reclaimed land	1	10
139	drought	1	21	494	reforestation	1	21
140	dry farming	1	56	495	regional geology	1	18
141	dry land	3	85	496	regional planning	1	28
142	dryland	2	26	497	regression analysis	2	67
143	dryland farming	6	118	498	remediation	1	26
144	dryland monitoring	1	11	499	remote sensing	22	460
145	dryland salinity	1	5	500	remote sensing techniques	1	29
146	drylands	3	85	501	rendille	1	20
147	earth (planet)	1	12	502	research	1	23
148	earth observation	1	22	503	research and development management	1	38
149	earth observations	1	22	504	reservoirs (water)	1	29
150	earth sciences	1	12	505	residential area	1	62
151	east africa	3	58	506	resilience	1	22
152	east african rift	1	62	507	resource depletion	1	11
153	eastern hemisphere	1	24	508	resource use	1	16
154	eastman	1	56	509	restoration interventions	1	14
155	ecological engineering	1	38	510	restrend	2	37
156	ecological environment	1	18	511	retrospective	1	9
157	ecological environments	1	18	512	reversible change	1	56
158	ecological indicators	1	20	513	rift valley	1	62
159	ecological knowledge	1	12	514	risk assessment	3	107
160	ecological theory	1	28	515	river basin	1	16
161	ecology	5	102	516	rivers	1	29
162	economic and social effects	1	62	517	rue	1	13
163	economic development	1	62	518	rural area	1	22

164	economics	4	129	519	saccharum	1	62
165	ecosystem	1	51	520	sahel	1	24
166	ecosystem function	2	44	521	saline soil	1	19
167	ecosystem functioning	1	24	522	saline water	1	62
168	ecosystem functions	1	20	523	salinity	4	147
169	ecosystem health	1	22	524	salinization	3	60
170	ecosystems	6	133	525	sampling	1	14
171	elevation	1	21	526	sand	1	56
172	empirical research	1	28	527	sand accumulation	1	56
173	enhanced vegetation index	1	29	528	satellite data	3	76
174	environmental assessment	2	44	529	satellite imagery	6	189
175	environmental change	1	62	530	satellite thermography	1	29
176	environmental crisis	1	24	531	satellites	2	40
177	environmental degradation	1	28	532	scientific knowledge	1	12
178	environmental economics	1	51	533	scientific researches	1	26
179	environmental exploitation	1	51	534	sea-viewing wide field-of-view sensor (seawifs)	1	24
180	environmental factor	2	35	535	seasonality	1	20
181	environmental impact	3	106	536	seawifs	1	24
182	environmental indicator	7	161	537	secondary salinization	1	18
183	environmental issue	1	21	538	semi-arid ecosystems	1	29
184	environmental management	6	189	539	semi-arid environments	1	29
185	environmental modeling	1	21	540	semi-arid rangeland	1	12
186	environmental monitoring	8	221	541	semiarid area	1	7
187	environmental planning	1	28	542	semiarid climate	1	51
188	environmental pollution	1	51	543	semiarid lands	1	15
189	environmental protection	4	129	544	semiarid region	13	322
190	environmental quality	2	49	545	sen+mann-kendall	1	38
191	environmental restoration	2	33	546	senegal	1	24
192	environmental risk	1	30	547	sensitivity areas	1	24
193	environmental sensitivity area	1	11	548	sensors	1	11
194	environmental sustainability	1	62	549	sergs	1	24
195	erosion	4	103	550	set-aside	1	22
196	erosion control	2	36	551	sheep grazing	1	21
197	erosion rate	1	21	552	shortwave domain	1	20
198	erosion risk	1	56	553	shortwave radiation	1	20
199	esfahan [esfahan (prv)]	1	11	554	signal detection	2	67
200	esfahan [iran]	1	11	555	simulated rainfall	1	26
201	estimation method	2	46	556	small-scale	1	21
202	ethiopia	2	78	557	smallholder	2	38
203	ethiopian rift	1	62	558	social aspects	1	26
204	eucalyptus	1	17	559	social network	1	23

205	eurasia	3	85	560	social network analysis	1	23
206	europa	1	51	561	social networking (online)	1	23
207	europa union	1	20	562	socio-economic benefits	1	32
208	evapotranspiration	1	15	563	socioeconomic conditions	1	22
209	expansion	1	13	564	socioeconomic indicator	1	28
210	experimental design	1	14	565	software	1	21
211	exploitation	2	46	566	soil	3	124
212	externalities	1	5	567	soil alkalinity	1	19
213	extraction	1	13	568	soil analysis	2	62
214	factor analysis	2	42	569	soil and water conservation	1	4
215	factorial analysis	1	16	570	soil carbon	1	29
216	far east	1	16	571	soil chemistry	3	124
217	farmers knowledge	1	20	572	soil classification	1	19
218	farming system	2	84	573	soil conservation	1	32
219	farms	1	29	574	soil contamination	1	26
220	feature extraction	1	62	575	soil degradation	2	81
221	feature extraction methods	1	62	576	soil depth	1	51
222	field survey	1	13	577	soil erodibility	1	26
223	food security	1	22	578	soil erodibility factor	1	26
224	food supply	2	54	579	soil erosion	5	119
225	forecasting	1	22	580	soil erosion risk assessment	1	32
226	forest	2	75	581	soil fertility	1	30
227	forest clearance	1	17	582	soil functions	1	16
228	forest management	2	79	583	soil management	3	108
229	forest soil	1	62	584	soil moisture	1	29
230	forestry	4	166	585	soil nutrient cycling	1	20
231	framework conditions	1	22	586	soil organic carbon	1	29
232	fuzzy ahp	1	25	587	soil organic matter	1	29
233	fuzzy mathematics	1	25	588	soil organic matters	1	26
234	gansu	1	16	589	soil pollutants	1	51
235	geo-spatial analysis	1	26	590	soil pollution	1	26
236	geoeye-1	1	14	591	soil profile	1	19
237	geographic distribution	1	51	592	soil properties	1	7
238	geographic information system	1	51	593	soil property	1	19
239	geographic information system (gis)	1	5	594	soil quality	4	102
240	geographic information systems	3	106	595	soil quality index	1	25
241	geologic sediments	1	51	596	soil quality indicators	1	7
242	geometry	1	11	597	soil resources	1	56
243	geospatial analysis	1	26	598	soil salinity	3	110
244	geostatistical analysis	1	26	599	soil surface	1	10
245	gis	10	237	600	soil surveys	1	22
246	global change	1	20	601	soil type	1	19
247	global tropics	1	22	602	soil types	1	19

248	gossypium hirsutum	1	29	603	soils	9	266
249	grain for green project	1	22	604	south africa	1	29
250	grain size	1	21	605	southern africa	1	28
251	grassland	2	83	606	southern europe	1	51
252	grazing	1	10	607	space research	1	11
253	grazing management	2	34	608	spaceborne mission	1	11
254	greece	1	28	609	spain	3	89
255	groundwater quality	1	30	610	spatial analysis	4	82
256	groundwater resource	1	30	611	spatial assessment	1	25
257	gully erosion	1	14	612	spatial data	1	17
258	habitat fragmentation	1	21	613	spatial distribution	2	42
259	haloxylon persicum	1	21	614	spatial homogeneity	1	21
260	heavy metal	1	30	615	spatial patterns	1	26
261	heavy metals	1	30	616	spatial resolution	3	62
262	herbivory	1	21	617	spatial variation	1	19
263	herder knowledge	1	20	618	spatio-temporal change characteristics	1	29
264	heterogeneity	1	21	619	spatio-temporal changes	1	29
265	hexi corridor	1	16	620	spatiotemporal analysis	4	88
266	hierarchical systems	1	25	621	spatiotemporal characteristics	1	29
267	high spatial resolution imagery	1	14	622	spectral mixture analysis	1	13
268	higher resolution images	1	56	623	spectrometry	1	11
269	homogeneity	1	21	624	spectroscopy	1	29
270	household survey	1	22	625	spring	1	51
271	human activities	1	56	626	stakeholder	1	23
272	human activity	1	38	627	statistical downscaling	1	24
273	human being	1	56	628	statistical downscaling model (sdsm)	1	24
274	hydrology	1	62	629	steppe	1	21
275	hyparrhenia	1	28	630	sub-saharan africa	4	86
276	hyper-spectral imageries	1	29	631	sugar cane	1	62
277	identification method	1	38	632	sugarcane	1	62
278	ikonos	1	14	633	sugarcane monoculture	1	62
279	image analysis	3	51	634	supervised classification	1	62
280	image classification	1	11	635	surface measurement	1	29
281	image enhancement	1	38	636	sustainability	5	111
282	image processing	1	29	637	sustainability assessment	1	26
283	image reconstruction	3	82	638	sustainability indicators	1	28
284	image resolution	2	52	639	sustainable agriculture	1	22
285	image signatures	1	10	640	sustainable development	5	197
286	imagery	1	18	641	sustainable land management	2	52
287	imaging method	1	29	642	sustainable land managements	1	32
288	imaging spectrometry	1	11	643	sustainable remediation	1	26
289	imaging spectroscopy	1	29	644	tamil nadu	1	11
290	imaging spectroscopy (is)	1	29	645	tanzania	1	14

291	imaging systems	1	11	646	tehran [iran]	1	24
292	index	1	28	647	temperature amplitude	1	56
293	index method	2	37	648	temperature control	1	25
294	index system	1	18	649	temporal distribution	1	24
295	index systems	1	18	650	terrestrial ecosystem	1	25
296	india	3	50	651	terrestrial ecosystems	1	25
297	indicator	1	51	652	thermography (imaging)	1	29
298	indicator system	1	16	653	tightly-coupled	1	56
299	indicators	1	24	654	tigray	1	16
300	indicators (instruments)	1	24	655	time series	5	159
301	indigenous knowledge	3	46	656	time series analysis	3	112
302	indigenous people	1	12	657	topography	1	21
303	indigenous population	1	14	658	topsoil	2	50
304	information system	1	23	659	topsoil grain size index	1	21
305	infrastructure planning	1	22	660	traditional knowledge	2	34
306	integrated approach	1	20	661	traditional landscape classification	1	14
307	integrated evaluation	1	16	662	transition matrix method	1	29
308	integrated models	1	23	663	trend analysis	2	37
309	intensity of land use change	1	29	664	trend study	1	62
310	international	1	20	665	triticum aestivum	1	29
311	international agreement	1	23	666	tropics	1	22
312	interval type-2 fuzzy	1	25	667	tunisia	3	90
313	intrinsic property	1	26	668	turkmenistan	1	18
314	investment	1	17	669	turpan oasis	1	18
315	iran	4	63	670	two-dimensional matrix	1	21
316	irifr model	1	21	671	type-2 fuzzy sets-fuzzy ahp	1	25
317	irrigation	3	77	672	unccd	2	43
318	irrigation farming	1	7	673	uncertainty analysis	1	26
319	isfahan	1	11	674	united nations	2	43
320	italy	1	24	675	united states	1	23
321	kalahari	1	28	676	usa	1	23
322	kalahari desert	1	28	677	uzbekistan	1	29
323	kebili	1	30	678	variance analysis	1	29
324	kenya	2	44	679	vegetation	14	412
325	knowledge	2	35	680	vegetation classification	1	13
326	knowledge management	2	43	681	vegetation cover	9	218
327	lake	1	62	682	vegetation cover quality	1	28
328	lake water	1	62	683	vegetation degradation	1	38
329	lake waters	1	62	684	vegetation dynamics	3	73
330	lakes	1	62	685	vegetation index	3	64
331	land condition	1	15	686	vegetation index values	1	15
332	land cover	2	74	687	vegetation indices	1	29
333	land cover mapping	1	11	688	vegetation structure	1	20

334	land cover maps	1	56	689	vegetation type	1	24
335	land degradation	43	916	690	virudhunagar	1	11
336	land degradation and desertification	1	25	691	visual interpretation	1	13
337	land degradation neutrality (ldn)	1	5	692	vulnerability	2	46
338	land evaluation	1	16	693	water availability	1	30
339	land management	8	243	694	water budget	1	15
340	land management planning	1	7	695	water conservancy	1	29
341	land managements	1	12	696	water conservancy facilities	1	29
342	land reclamation	4	84	697	water management	2	59
343	land type	1	26	698	water quality	1	30
344	land use	15	446	699	water resources	2	44
345	land use and cover change	1	62	700	water supply	1	56
346	land use change	5	99	701	watering points	1	56
347	land use planning	2	41	702	watershed	2	30
348	land use policy	1	17	703	weathering	2	46
349	land vulnerability	1	28	704	west asia	1	18
350	land-surface process	1	29	705	western australia	1	17
351	land-use change	1	56	706	wetlands	1	29
352	landforms	4	171	707	wetness topographic index	1	21
353	landsat	5	107	708	wind erosion	1	21
354	landsat imagery	1	13	709	world	1	24
355	landsat images	1	56	356	landsat thematic mapper	1	21

**ANEXO 3 – TERMOS QUE PERMANECERAM NAS REDES APÓS O FILTRO DE
03 COOCORRÊNCIAS NOS ARTIGOS**

id	Palavras-Chaves	Ocorrência	Força total do link
6	africa	4	33
9	agricultural land	3	38
13	agriculture	6	93
21	alternative agriculture	3	22
31	arid and semi-arid regions	3	43
32	arid environment	3	22
33	arid region	5	43
34	arid regions	6	68
38	article	4	70
41	assessment method	5	65
73	change detection	3	30
76	china	8	63
85	climate change	6	68
91	climatology	7	76
102	conservation of natural resources	3	55
122	degradation	7	110
124	desert	4	40
126	desertification	19	158
141	dry land	3	38
143	dryland farming	6	49
146	drylands	3	38
151	east africa	3	23
161	ecology	5	37
164	economics	4	47
170	ecosystems	6	54
181	environmental impact	3	40
182	environmental indicator	7	63
184	environmental management	6	78
186	environmental monitoring	8	97
189	environmental protection	4	50
195	erosion	4	44
205	eurasia	3	35
230	forestry	4	71
240	geographic information systems	3	42

245	gis	10	98
279	image analysis	3	23
283	image reconstruction	3	35
296	india	3	21
301	indigenous knowledge	3	14
315	iran	4	23
317	irrigation	3	24
335	land degradation	43	353
339	land management	8	96
342	land reclamation	4	30
344	land use	15	178
346	land use change	5	37
352	landforms	4	62
353	landsat	5	38
385	mapping	4	31
399	mediterranean region	3	46
405	modis	5	62
421	ndvi	8	77
460	plants (botany)	3	34
483	radiometers	5	66
485	rain	3	47
488	rangeland	4	38
499	remote sensing	22	198
514	risk assessment	3	44
523	salinity	4	59
524	salinization	3	19
528	satellite data	3	26
529	satellite imagery	6	82
544	semiarid region	13	112
566	soil	3	49
571	soil chemistry	3	49
579	soil erosion	5	45
583	soil management	3	45
594	soil quality	4	44
598	soil salinity	3	38
603	soils	9	95
609	spain	3	36
610	spatial analysis	4	27
616	spatial resolution	3	26

620	spatiotemporal analysis	4	38
630	sub-saharan africa	4	33
636	sustainability	5	35
640	sustainable development	5	81
655	time series	5	64
656	time series analysis	3	41
667	tunisia	3	26
679	vegetation	14	164
681	vegetation cover	9	86
684	vegetation dynamics	3	36
685	vegetation index	3	28

ANEXO 4 – TERMOS QUE FORAM UNIDOS

label	replace by
agricultural land	Agricultural land
approach	
analysis	Analysis
area	
assessment	Assessment
case study	
combination	
change	Land change
characteristic	
china	China
class	
climate	Climate change
climate change	Climate change
data	
dataset	
degradation	Degradation
desertification	Desertification process
desertification process	Desertification process
dryland	Dryland
dynamic	Dynamic
erosion	Erosion
evaluation	Evaluation
factor	
field	Field data
field data	Field data
gis	GIS
human activity	Human activity
image	Image
impact	Impact
identification	
information	
index	Index
indicator	Indicators
knowledge	
land	Land cover
land degradation	Land degradation
land use	Land use
landscape	Landscape
livestock	Livestock
map	Maps
mean	
methodology	Methodology

model	Models
monitoring	Monitoring
need	
ndvi	NDVI
normalized difference vegetation index	NDVI
order	
paper	
period	Time scale
policy maker	Policy maker
process	Desertification process
rangeland	Rangeland
relationship	
remote sensing	Remote sensing
semi arid	Semi arid
semi arid region	Semi arid
semiarid region	Semi arid
severity	Severity
soil	Soil
study	
study area	
term	
time	Time scale
type	
tool	Tools
total area	
use	Land use
vegetation	Vegetation cover
vegetation cover	Vegetation cover
vegetation index	Vegetation index
year	Time scale

ANEXO 5 – TABELA COM INDICADORES BIOFÍSICOS E METODOLOGIAS IDENTIFICADAS NOS 54 ARTIGOS SOBRE LDD INDEXADOS NA SCOPUS

Artigos/ Autores/ Número de Citações	Indicadores Biofísicos	Escala Espacial	Escala Temporal	Metodologia
<i>Participatory indicator development: What can ecologists and local communities learn from each other?</i> Reed, M.S., Dougill, A.J., Baker, T.R., 2008. 149 CITAÇÕES	Diminuição da cobertura de grama; Aumento da abundância de grama desagradável ao gado Abundância reduzida de capim palatável para o gado; Disponibilidade reduzida de capim; Diminuição da abundância de plantas medicinais; Diminuição da abundância de árvores; Atordoamento de árvores e arbustos; Dossel de árvores; Aumento da abundância de <i>Boscia albitrunca</i> ; Diminuição da abundância de <i>Grewia flava</i> ; Aumento da abundância de <i>Acacia mellifera</i> ; Diminuição da cobertura vegetal / aumento do solo descoberto; Diminuição do teor de matéria orgânica do solo Maior folga do solo; Maior densidade de faixas de gado;	Kalahari, Botsuana,	2001-2003	Coleta de dados em campo Entrevista com agricultores
<i>Cross-scale monitoring and assessment of land degradation and sustainable land management: A methodological framework for knowledge management</i> Reed, M.S., 2011. 80 CITAÇÕES				Sensoriamento Remoto Métodos: LADA, WOCAT, DDP) e DESIRE,
<i>Object-based gully feature extraction using high spatial resolution imagery</i> (Shruthi, R.B.V., Kerle, N., Jetten, V., 2011) 73 cita	NDVI	Sehoul, Marrocos	1970–2002	Sensoriamento Remoto – Análise de Imagem (OOA (IKONOS e GEOEYE-1)
<i>Herder knowledge of landscape assessments in</i>	Classificação das paisagens como "ruins" (degradáveis) ou	Tanzânia.	Out-Dez 2002	Pesquisa participativa

<i>arid rangelands in northern Tanzania</i> (Oba, G., Kaitira, L.M., 2006) 60 CITAÇÕES	"boas" (não degradáveis) pelos pastores locais	(norte)		Análise dos dados utilizando GLM (SAS, 1999)
<i>Desertification evaluated using an integrated environmental assessment model</i> (Mouat, D. et., 1997) 53 CITAÇÕES	Risco de erosão; Clima, conforme indicado pela Palmer Drought Severity Índice (PDSI); Pressão de pastejo; Esverdeamento da vegetação, medidos pelo Índice de Vegetação por Diferenças Normalizadas (NDVI); E = potencial de erosão; PDSI = Índice de Gravidade Seca de Palmer; GP = pressão de pastoreio; WI = espécies invasoras de ervas daninhas como porcentagem da cobertura vegetal total;	Platô Colorado, Utah, EUA	1990-1991	Sensoriamento Remoto SIG
<i>Spatial vegetation patterns as early signs of desertification: A case study of a desert steppe in Inner Mongolia, China</i> (Lin, Y. et al., 2010) 48 CITAÇÕES	Porcentagem de cobertura vegetal e transição de uma distribuição de área de fragmento da vegetação; Cobertura percentual (COVER), o maior índice de manchas (LPI), borda total (TE), área média do remendo (AREA_MN), coeficiente de variação (CV) da área do remendo (AREA_CV) e índice de clumpiness (CLUMPY);	Mongólia, China	1961-2000	Sensoriamento Remoto Fotografia de vegetação (câmera Canon PowerShot A570 IS)
<i>A GIS-based approach for desertification risk assessment in Apulia region, SE Italy</i> (Ladisa, G., Todorovic, M., Trisorio Liuzzi, G., 2012) 38 CITAÇÕES	Modelo ESAI: SQI CQI VQI MQ	Apulia, Itália	1980–1990, 1990–2000 and 2000–2005.	Sensoriamento Remoto - SIG Método MEDALUS
<i>Combined use of GIS and environmental indicators for assessment of chemical, physical and biological soil degradation in a Spanish Mediterranean region</i> (de Paz, J.-M., Sánchez, J., Visconti, F., 2006) 38 CITAÇÕES	Índices de degradação do solo: Índice de Degradação Física (PDI); Índice de degradação (IC); Índice de degradação biológica (BDI); Índice de degradação química; (CDI) Sais: teor de sal solúvel (meq / 100 g);	Comunidade Valenciana (Alicante, Valencia e Castellon), Espanha	nd	Coleta de dados em capo Sensoriamento Remoto – SIG Metodologia proposta por FAO-PNUMA-UNESCO
<i>An analysis of externalities in</i>	Salinidade das terras áridas;	nd	nd	Método de aplicação numérica

<i>agroforestry systems in the presence of land degradation</i> (Cacho, O., 2001) 35 CITAÇÕES	Lençol freático;			Modelo biofísico de uma bacia hidrográfica.
<i>A satellite-based green index as a proxy for vegetation cover quality in a Mediterranean region</i> (Bajocco, S., De Angelis, A., Salvati, L., 2012) 31 CITAÇÕES	VCQ (qualidade da cobertura vegetal); NDVI;	Attica, Grécia	Nd	Sensoriamento Remoto MODIS Método MEDALUS
<i>Efficacy of integrating herder knowledge and ecological methods for monitoring rangeland degradation in Northern Kenya</i> (Roba, H.G., Oba, G.) 28 CITAÇÕES	Método 1: Percepções dos pastores sobre a degradação da terra Método 2: Impactos dos gradientes de uso da terra na vegetação Métodos 3: Monitorando as transações do IPAL	Marsabit, Quênia	2005-2006	Coleta de dados: Análise das narrativas e percepções dos pastores Avaliação das espécies vegetais
<i>Assessment of dryland condition using spatial anomalies of vegetation index values</i> (Boer, M.M., Puigdefábregas, J., 2005) 27 CITAÇÕES	NDVI Razão entre Evapotranspiração e Densidade da vegetação (E_a / P)	Rio Guadalentín, sudeste da Espanha	1993-1994	Sensoriamento Remoto – Método MEDALUS
<i>A Sustainability Assessment Framework for Agricultural Land Remediation in China</i> (Hou, Deyi et al., 2018) 25 citações	Social, econômico, ambiental e agrícola	China	nd	Pesquisa bibliográfica
<i>How is Desertification Research Addressed in Spain? Land Versus Soil Approaches</i> (Barbero-Sierra, C. et al., 2015) 22 CITAÇÕES	nd	Espanha	1989-2012	Análise bibliométrica
<i>Soil quality indices for evaluating smallholder agricultural land uses in northern ethiopia</i> (Gelaw, A.M., Singh, B.R., Lal, R., 2015) 18 CITAÇÕES	Índice de Qualidade do solo (QSI) Carbono de biomassa microbiana (MBC)	Tigray Oriental, Norte da Etiópia		Coleta de Dados (solos) Análise em laboratório das amostras Análise estatística (teste estudado de Tukey (HSD))
<i>Methods and applications for ecological vulnerability</i>	Índices de pressão ecológica; Densidade populacional,	Oásis de Turpan, Xinjiang - China	nd	Sensoriamento Remoto - GIS

<i>evaluation in a hyper-arid oasis: a case study of the Turpan Oasis, China</i> (Pei, Huan et al., 2015) 15 CITAÇÕES	Índice de desertificação, Índice de salinização, Índice de uso da terra - Tipo de uso da terra; Água; Terrenos arborizados, terras agrícolas, terras artificiais; Grama alta; Bosque, spinney, cobertura média. Terra não-florestal, grama baixa, Terra salina-alcalina, terra industrial e não utilizada; Índices de sensibilidade ecológica: Textura do solo (solo matricial, solo de argila, solo gravilhado, Solo argiloso, solo arenoso); Nível de água subterrânea; Tipos de solo (solo rochoso, solo do deserto marrom, solo arenoso, solo irrigado de assoreamento, solo salino); Índices de estabilidade ecológica (Índice de diversidade da paisagem, matéria orgânica do solo, índice de abundância biológica, cobertura vegetal - NDVI)			Processo de Desertificação
<i>Spatiotemporal mapping of the dry season vegetation response of sagebrush steppe</i> (Washington-Allen, R.A.; Ramsey, R.D.; West, N.E., 2004) 15 CITAÇÕES	Índice de Vegetação SAVI	Utah, EUA	1972- 1997	Sensoriamento Remoto - SIG
<i>Establishing a clean-quality indicator system for evaluating reclaimed land in the antaibao opencast mine area, China</i> (Bi, R.T. et, 2010) 13 CITAÇÕES	Espessura efetiva do horizonte; Composição do material da superfície do solo; Índice de vegetação (NDVI); Tipos de cobertura vegetal; Inclinação do terreno; Tempo de recuperação; Área de módulos de avaliação; Índice de forma dos módulos de avaliação.	Província de Shanxi, China	1985–2005	Tecnologia 3S e método Fuzzy
<i>Desertification of forest, range and desert in Tehran province, affected by climate change</i> (Eskandari, H. et al, 2016) 13 CITAÇÕES	NPP	Irã	2001-2010	Sensoriamento Remoto: SDSM e MODIS
<i>GIS-based evaluation of groundwater quality and</i>	Salinidade do solo	Sudoeste da Tunísia	nd	Sensoriamento Remoto

<i>estimation of soil salinization and land degradation risks in an arid Mediterranean site (SW Tunisia)</i> (Besser, H. et al, 2017) 12 CITAÇÕES				Coleta de dados Coleta de dados Sensoriamento Remoto métodos de titulação volumétrica (HCL, EDTA), técnica espectrométrica, fase líquida de cromatografia e fotômetro de chama.
<i>Satellite Thermography for Soil Salinity Assessment of Cropped Areas in Uzbekistan</i> (Ivushkin, K. et al, 2017) 12 CITAÇÕES	Salinidade do solo NDVI EVI	Província de Syrdarya, Uzbequistão	Set-Abr 2005	Sensoriamento Remoto – Termografia
<i>Desertification in western Rajasthan (India): an assessment using remote sensing derived rain-use efficiency and residual trend methods</i> (Kundu, A. et. Al., 2017) 10 CITAÇÕES	NDVI	Oeste do Rajistão, Índia	1983–2013)	Sensoriamento Remoto – Métodos RUE (eficiência no uso da chuva) e RESTREND (tendências residuais)
<i>Combining Field and Imaging Spectroscopy to Map Soil Organic Carbon in a Semiarid Environment</i> (Bayer, A.D. et al., 2016) 10 CITAÇÕES	Teor de carbono orgânico (SOC) do solo.	Província do Cabo Oriental da África do Sul (Albany Thicket Bioma)	Jun-Out 2009	Sensoriamento Remoto Espectroscopia de imagem (IS) – Extração Espacial-Espectral de Terminais ferramenta (SSEE)
<i>Sustainability of smallholder agriculture in semi-arid areas under land set-aside programs: A case study from China's loess plateau</i> (Li, Q. et al, 2016) 10 CITAÇÕES	Índice de Sustentabilidade Agropecuária (FHS) A dimensão ambiental: descrita pela vegetação natural (proporção da área sob vegetação florestal e gramada e área total da terra), matéria orgânica do solo (carbono orgânico do solo a uma profundidade de 0 a 20 cm, em g / kg) e índice de diversidade de culturas (CDI)	Distrito de Yanhe no condado de Ansai na província de Shaanxi (China)	Fev-Mai 2014	Coleta de dados – Questionário semiestruturado
<i>Assessment of remote sensing-based</i>	Índice de Salinização do solo	Wadi Biskra,	1984 -2015	Sensoriamento

<i>classification methods for change detection of salt-affected areas (Biskra area, Algeria)</i> (Afrasinei, G.M. et al., 2017) 09 CITAÇÕES		Argéria		Remoto
<i>Estimates of dryland degradation in Argentina with Fourier signatures from low-altitude monochromatic images with high spatial resolution</i> (Ares, J.O., Bertiller, M.B., Bisigato, A., 2003) 09 CITAÇÕES	Estrutura do patch de vegetação (tamanho dos patches, conectividade-continuidade das unidades de patches etc.)	Sul da Patagônia do Sul (província de Chubu) Argentina	1997–1998	Sensoriamento Remoto
<i>Geospatial comparison of four models to predict soil erodibility in a semi-arid region of Central India</i> (Adhikary, P.P. et al., 2014) 08 citações	Erodibilidade do Solo	Região de Bundelkhand, na Índia Central	nd	Sensoriamento Remoto
<i>Comparison between vegetation change analysis in Kenya based on AVHRR and SeaWiFS images</i> (Laneve, G., Castronuovo, M.M., 2005) 07 citações	NDVI EVI	Norte do Quênia	1980	Sensoriamento Remoto
<i>Assessing desertification by using soil indices</i> (Khanamani, A, et al., 2017) 07 citações	Critérios de solo: taxa de absorção de sódio (SAR), porcentagem de gesso no solo, textura do solo, teor de HCO ₃ ⁻ , porcentagem de matéria orgânica, condutividade elétrica (CE), pH, teor de sódio do solo e foram utilizados cloreto.	Norte do rio Zayandeh-Rood, na Província de Isfahan, Irã	nd	Sensoriamento Remoto – SIG Coleta de dados - Campo
<i>Correlation between Desertification and Environmental Variables Using Remote Sensing Techniques in Hognu Khaan, Mongolia</i> (Lamchin, M., et al., 2017) 06 citações	Sete fatores: o índice de vegetação com diferença normalizada (NDVI), o índice de tamanho de grão do solo superficial (TSGI), albedo da superfície terrestre, o índice de umidade topográfica (TWI), temperatura da superfície terrestre (LST), o índice de seca perpendicular (PDI)	Hogno Khaan, Mongólia	1990, 2002 e 2011	Sensoriamento Remoto
<i>Spatio-temporal change analysis of cultivated</i>	Uso e ocupação do solo – Terras cultiváveis	Bacia do rio Manas, China	1962, 1977, 1989, 2000 e 2010	Sensoriamento Remoto - GIS

<i>land in Manas drainage basin during 1962-2010</i> (Li, J. et al., 2015) 06 citações				
<i>Integrated assessment of oases maturity in Inland River Basins of China</i> (Li, X., et al., 2006) 05 citações		Corredor Hexi, China		
<i>Innovative evaluation of field and spatial remote sensing data for analysis of vegetation bio-types in arid rangelands, taznakht, moroccan anti-atlas</i> (Bennouna, T. et al., 2000) 03 citações	Fatores invariantes (em escala humana), ou seja, solos, geomorfologia e tamanho das partículas da superfície, para determinar o chamado ari 'invari ± classes de formigas. "	Marrocos	1) 20 de maio a 10 de junho de 1993 2) 20 de março a 10 de abril de 1994 3) 15 até 30 de maio de 1995	Sensoriamento Remoto – interpretação visual de imagens (fotofácias), numérica análises que combinam dados de campo e imagem para distinguir uma tipologia específica e "Finalmente", métodos "tradicionais" de dados ± classificação controlada.
<i>Albedo estimated from remote sensing correlates with ecosystem multifunctionality in global drylands</i> (Zhao, Y. et al., 2018) 03 citações	Índice de Vegetação por Diferenças Normalizadas (NDVI) e Índice de Vegetação Melhorada (EVI) Albedo da superfície	Dados de todos os continentes (exceto Antártida)	Fev 2006- Dez 2010	Sensoriamento Remoto
<i>Expansion of sugarcane monoculture: associated impacts and management measures in the semi-arid East African Rift Valley, Ethiopia</i> (Beza, S.A., Assen, M.A., 2017) 03 citações	Principais classes LUC unificadas das subclasses: A = floresta, B = matagal, C = pastagem, D = água do lago, E = plantação de cana-de-açúcar, F = resíduos e terras degradadas e G = agricultura e assentamentos de pequenos agricultores	Rift Valley , Etiópia	1957 -2010	Sensoriamento Remoto
<i>An imaging spectrometer mission for the monitoring of desertification processes</i> (Mueller, A. et al., 2001) 02 citações	nd	nd	1996-2001	Sensoriamento Remoto – Avaliação espectral e radiométrica
<i>The use of multivariate statistical analysis and soil quality indices as tools to be included in regional management</i>	Propriedades do solo (tamanho de partícula,	Província de Khorasan-e-Razavi, nordeste do Irã	nd	Coleta de amostras de solo (acima de 1.200 m; 0-30 cm e 30-60 cm)

<i>plans. A case study from the Mashhad Plain, Iran</i> (Rodrigo-Comino, J. et., 2019) 02 citações	saturação, densidade aparente, carbono orgânico do solo, pH e condutividade elétrica			Análise Multivariável
<i>Remote sensing monitoring of land restoration interventions in semi-arid environments with a before–after control–impact statistical design</i> (Meroni, M. et al, 2017) 02 citações	NDVI	Departamento de Linguère, na região de Louga e no departamento de Ranerou, na região de Matam, no norte do Senegal.	2003-2014	Sensoriamento Remoto - MODIS
<i>Rangeland degradation assessment: A new strategy based on the ecological knowledge of indigenous pastoralists</i> (Behmanesh, B. et al., 2016) 02 citações	Percepção dos indígenas: 1)Vegetação (Diminuição do rendimento da vegetação; Perda de fito-diversidade; Remoção de plantas palatáveis; Aumento de plantas venenosas; Diminuição de arbustos; Aumento de plantas anuais; Aumento da distância entre plantas; Diminuição da altura das plantas; Perda de massa da cama); 2) Solo (Salinação do solo; Diminuição da cobertura do solo; Muddiness do solo; Diminuição da areia do solo; Diminuição da infiltração no solo; Aumento da folga do solo); De outros (Aumento do risco de incêndios florestais; Aumento do risco de danos causados por praga)	Golestan National Park, nordeste do Irã	2015	Pesquisa descritiva. Os dados foram coletados usando o documentário e pesquisa de campo
<i>Spatial assessment and mapping of soil quality index for desertification in the semi-arid terrestrial ecosystem using MCDM in interval type-2 fuzzy environment</i> (Turan, İ.D., Dengiz, O., Özkan, B., 2019) 01 citação	Índice de Qualidade do Solo (SQI): risco de erosão do solo, profundidade do solo, textura do solo, matéria orgânica do solo, pH, litologia, drenagem, condutividade elétrica, CaCO ₃ ,	Bacia do rio Çorum, localizada na região central do Mar Negro da Turquia	nd	Sensoriamento Remoto Análises de interpolação e estatística descritiva Gerenciamento de Decisão Multicritério (MCDM) Analytic Hierarchy Process (AHP)
<i>Spatial patterns of boom and bust forestry investment development:</i>	Mudança de uso e cobertura da terra (LULC)	Bacia hidrográfica do rio Warren, no Oeste da Austrália	1979-2014	Sensoriamento Remoto

<i>A case study from Western Australia</i> (Nery, T. et al, 2019) 01 citação				modelo multinomial logit (MNL)
<i>Towards improved remote sensing based monitoring of dryland ecosystem functioning using sequential linear regression slopes (SeRGS)</i> (Abel, C. et al., 2019) 01 citação	NDVI relação alterada da precipitação da vegetação (VRR)	Senegal	1970–2016	Sensoriamento Remoto MODIS Método declives de regressão linear sequencial (SeRGS)
<i>Land degradation assessment in an African dryland context based on the Composite Land Degradation Index and mapping method</i> (Akinyemi, F.O., Tlhalerwa, L.T., Eze, P.N. et al, 2019) 01 citação	Mudança de uso e cobertura da terra (LULC)	Palapye, leste de Botsuana	2010-2014	Observação em campo Análise das propriedades físicas e químicas do solo Interpretação das imagens de satélite (Sensoriamento Remoto) Método de Índice de Degradação da Terra Composta
<i>Analysis of Landsat-derived multitemporal vegetation cover to understand drivers of oasis agroecosystems change</i> (Lamqadem, A.A., Afrasinei, G.M., Saber, H., 2019) 01 citação	dados auxiliares (dados estatísticos socioeconômicos e climáticos fornecidos por várias administrações), (2) dados de trabalho de campo, de cada oásis.	06 oásis no Sudeste do Marrocos	1984-2017	Coleta de dados em campo e pesquisas auxiliares Sensoriamento Remoto - SIG
<i>Biophysical and econometric analysis of adoption of soil and water conservation techniques in the semiarid region of sidi bouzid (Central Tunisia)</i> (Dhehibi, B. et al., 2018) 01 citação	Tecnologias de conservação do solo e da água (SWCT)	Província de Sidi Bouzid, na Tunísia Central	2014-2015	Entrevistas domiciliares semiestruturadas, com análises aumentadas pela coleta e uso de fontes secundárias de dados; modelo de regressão logística binária, com dados obtidos em uma pesquisa com 250 agricultores
<i>Assessing the Biophysical Impact and Financial Viability of Soil</i>	Variabilidade climática Práticas agrícolas	Ilha de Santiago, Cabo Verde	2011–2012	Sensoriamento Remoto

<i>Management Technologies Under Variable Climate in Cabo Verde Drylands: The PESERA-DESMICE Approach</i> (Baptista, I. et al., 2016) 01 citação				Modelo PESERA-DESMICE
<i>Evaluation of land degradation and environmental status in Haloxylon persicum planted area in Bardaskan region, Iran</i> (Jafarian, A. et al., 2016) 01 citação	Erosão do solo e produção de sedimentos (Litologia; Formas de terra; Velocidade e status do vento; Superfície do solo e cobertura; Densidade da vegetação; Efeitos da erosão do solo; Umidade do solo; Distribuição dos depósitos eólicos; Gestão e uso da terra	Província de Khorasan Razavi, Irã	1983- 2008	Sensoriamento Remoto - SIG Modelos MEDALUS e IRIFR (Iranian Research Institute of Forests and Rangelands) Metodologia MATRIZ DIMENSIONAL
<i>Analysis of the spatial variational characteristics of saline-alkaline soil types in non-agriculture land in manas river basin, Xinjiang, China</i> (Wei, Y. et al., 2016) 01 citação	Salinização do solo	Bacia do rio Manas, Xinjiang, China	Agosto, 2012	Coleta de dados em campo Análise estatística (análise de correlação de Pearson foi realizada usando o SPSS 17.0)
<i>Trend-cycles of vegetation dynamics as a tool for land degradation assessment and monitoring</i> (Easdale, M.H. et al., 2019) 0 citação	NDVI	Patagonia, Argentina	February 2000–July 2018	Sensoriamento Remoto
<i>Identification and assessment of the factors driving vegetation degradation/regeneration in drylands using synthetic high spatiotemporal remote sensing Data—A case study in Zhenglanqi, Inner Mongolia, China</i> (Sun, B. et al., 2019) 0 citação	NPP (produtividade primária líquida)	Zhenglanqi (na Região Autônoma da Mongólia Interior), China	2001-2016	Sensoriamento Remoto – MODIS modelo de fusão de refletância (STARFM) e modelo Carnegie-Ames-Stanford Approach (CASA) aprimorado; Método Sen + Mann-Kendall
<i>Analyzing long-term soil erosion in a ridge-shaped persimmon plantation in</i>	Alterações micro-topográficas e estimativas de erosão do solo em plantações (caqui)	Município de Canals, Valência, leste da Espanha	2018	Coleta de dados em campo

<i>eastern Spain by means of ISUM measurements</i> (Bayat, F. et al., 2019) 0 citação				Método de Desenterramento de Estoque Aprimorado (ISUM)
<i>Predicting the spatial distribution and severity of soil erosion in the global tropics using satellite remote sensing</i> (Vågen, T.-G., Winowiecki, L.A. et al., 2019) 0 citação	Erosão do solo por cobertura vegetal, zona de vida de Holdridge, continente e subcontinente	Observação da Terra	2002-2017	Sensoriamento Remoto – MODIS Land Degradation Surveillance Framework (LDSF)
<i>Assessment of environmentally sensitive area and desertification severity using GIS for an Indian region - Virudhunagar district, Tamil Nadu</i> (Vani, K. et al., 2015) 0 citação	Índice de Área de Sensibilidade Ambiental (ESAI): uso do solo, controles climáticos, qualidade do solo, qualidade das águas subterrâneas e fatores demográficos	Distrito de Virudhunagar, região de Tamil Nadu, no sul da Índia	Março de 2003 a Março de 2012	Sensoriamento Remoto - SIG Método MEDALUS
<i>Surveillance of the desertification surrounding watering points in the rangelands of El Ouara (Tataouine, Tunisia) by MSS/TM/ETM+ Landsat time series</i> (Essifi, B., Ouessar, M., Rabia, M.C., 2008) 0 citação	Declínio da cobertura vegetal, deterioração qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos e do solo Atividades humanas	Bir Jaouacha e Bir Ouled Hamed) em El Ouara, no sudeste da Tunísia	1975- 1990-1999	Sensoriamento Remoto – SIG
<i>Monitoring land use and land cover changes in Turkmenistan using remote sensing</i> (Orlovsky, L. et al., 2006) 0 citação	NDVI SAVI	Província de Dashoguz velayat, no norte Turquemenistão	1988-2004	Sensoriamento Remoto – SIG Método Análise de Mistura Espectral (SMA)

CAPÍTULO 3 - NEUTRALIDADE DA DEGRADAÇÃO DA TERRA (LDN): UMA REVISÃO CRÍTICA DAS LACUNAS CONCEITUAIS E DESAFIOS DE IMPLEMENTAÇÃO E MONITORAMENTO

RESUMO

A meta da Neutralidade da Degradação da Terra (LDN) foi recentemente proposta pela Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD/ONU) com o propósito de reduzir a degradação global das terras secas, por meio da diminuição da taxa de degradação e do aumento da taxa de restauração das áreas já degradadas. Por se tratar de uma iniciativa recente, o conceito de degradação da terra e desertificação (LDD), assim como os indicadores biofísicos estabelecidos pela UNCCD, ainda são passíveis de críticas quanto ao entendimento dos termos, expressões e conjuntos de indicadores que fundamentam a implementação, o monitoramento e a avaliação dessa meta em diferentes regiões áridas e semiáridas do planeta. Nesse contexto, o objetivo do presente estudo é analisar a implementação da LDN, identificando lacunas na base conceitual e nos indicadores biofísicos, bem como incertezas e desafios enfrentados nas pesquisas voltadas ao monitoramento e à avaliação da LDN em diferentes contextos regionais. O estudo combina análise bibliométrica e revisão integrativa, articulando as dimensões conceituais, técnicas e políticas da LDN. Para isso, realizou-se uma revisão bibliográfica integrativa, associada à análise bibliométrica de publicações científicas indexadas na base de dados Scopus, abrangendo o período de 1997–2019, complementada por documentos da literatura cinzenta (FAO, UNCCD, EEA e MMA). Os resultados indicam que a UNCCD (ONU) tem demonstrado crescente preocupação com a expansão dos processos de degradação da terra e seus efeitos em escala global, o que levou à implementação, em 2015, da meta da Neutralidade da Degradação da Terra (LDN), como parte dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) definidos na Agenda 2030. Constatou-se, ainda, que a base conceitual da LDD e os indicadores biofísicos estabelecidos apresentam lacunas e desafios que devem ser debatidos e aprimorados pela comunidade científica. Os resultados contribuem para o fortalecimento das metodologias de monitoramento da meta 15.3 dos ODS, oferecendo subsídios à governança socioambiental global e reforçando a importância do alinhamento entre a produção científica e as políticas públicas voltadas à gestão sustentável da terra.

PALAVRAS-CHAVE: Degradação da terra; Desertificação; Neutralidade da Degradação da Terra (LDN).

ABSTRACT

The Land Degradation Neutrality (LDN) target was recently proposed by the United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD/UN) to reduce global dryland degradation by decreasing the rate of land degradation and increasing the rate of restoration of already degraded areas. As a recent initiative, the concept of land degradation and desertification (LDD), as well as the biophysical indicators established by the UNCCD, remain subject to criticism regarding the interpretation of terms, expressions, and sets of indicators that underpin the implementation, monitoring, and evaluation of this goal across different arid and semi-arid regions of the planet. In this context, the objective of this study is to analyze the implementation of LDN by identifying conceptual gaps and issues related to biophysical indicators, as well as the uncertainties and challenges faced in research focused on monitoring and evaluating LDN in different regional contexts. The study combines bibliometric analysis and integrative review, articulating conceptual, technical, and policy dimensions of LDN. To this end, an integrative literature review was conducted in association with a bibliometric analysis of scientific publications indexed in the Scopus database, covering the period 1997–2019, and complemented by grey literature documents (FAO, UNCCD, EEA, and MMA). The results indicate that the UNCCD (UN) has shown increasing concern about the expansion of land degradation processes and their global effects, which led to the establishment of the Land Degradation Neutrality (LDN) target in 2015 as part of the Sustainable Development Goals (SDGs) outlined in the 2030 Agenda. Furthermore, the conceptual framework of LDD and the defined biophysical indicators still present gaps and challenges that must be debated and refined by the scientific community. The findings contribute to strengthening the methodologies for monitoring SDG target 15.3, providing inputs for global socio-environmental governance and reinforcing the importance of aligning scientific production with public policies aimed at sustainable land management.

Keywords: Land degradation. Desertification. Land Degradation Neutrality (LDN).

1. INTRODUÇÃO

A degradação da terra tem um impacto profundo nas sociedades e na natureza, comprometendo os recursos naturais em todo o planeta e constituindo-se como o mais desafiador problema ambiental em terras secas (MEA, 2005b). Esse processo afeta os meios de subsistência, a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos, exacerba as mudanças climáticas e compromete o bem-estar de cerca de 1,5 bilhão de pessoas em todo o mundo (NACHTERGAELE et al., 2010; LAL et al., 2012; ELD, 2015).

A amplitude conceitual do termo “degradação” constitui um ponto de partida essencial para a compreensão do problema. Frequentemente utilizado de forma genérica, o conceito abrange uma variedade de processos, como erosão, salinização, compactação e perda de fertilidade, que dificultam estimativas precisas de sua extensão e intensidade (GIBBS; SALMON, 2015). De acordo com a Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação (UNCCD), a degradação da terra é definida como a redução ou perda da produtividade biológica ou econômica, bem como da complexidade ecológica de terras agrícolas, pastagens, bosques e áreas de vegetação nativa, resultantes de usos inadequados ou de processos decorrentes da ação humana em zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas (UNCCD, 2015c; AYNEKULU et al., 2017). Essa definição reforça o caráter multidimensional do fenômeno e evidencia a necessidade de abordagens interdisciplinares que integrem ciência, políticas públicas e gestão territorial.

Diante da necessidade de promover o uso sustentável do solo e o equilíbrio dos serviços ecossistêmicos, diversos estudos têm abordado a degradação da terra e a desertificação em diferentes contextos (CHARNEY, 1975; BAI et al., 2008; LIN et al., 2010; MEKURIA; AYNEKULU, 2011; GRAINGER, 2014; WANG, 2013; LIJUAN, 2015). Relatórios globais, como o *World Atlas of Desertification* (CHERLET et al., 2018) e o *Global Assessment of Human-Induced Soil Degradation* (GLASOD), indicam que cerca de 20% das áreas secas do planeta apresentam algum grau de degradação, sendo a Ásia e a África as regiões mais afetadas. Estima-se que aproximadamente 25% das terras agricultáveis do mundo estejam ameaçadas até 2025 (FAO, 2011), o que representa um grave risco à segurança alimentar e à estabilidade ecológica. Esses impactos são mais intensos em zonas áridas e semiáridas, onde a erosão e a perda da cobertura vegetal afetam até 69% das terras úteis (SALVATI et al., 2009). No Brasil, a situação é particularmente preocupante na região semiárida do Nordeste, na qual as Áreas Suscetíveis à Desertificação (ASD) abrangem mais de 1,3 milhão de km² e afetam cerca de 34,8 milhões de habitantes (CGEE, 2016; SÁ, 2015; MMA, 2007).

Em resposta a esse cenário, a Organização das Nações Unidas mobilizou esforços globais para enfrentar a degradação do solo por meio de políticas e acordos multilaterais. Entre os marcos históricos mais relevantes destacam-se: a Conferência das Nações Unidas sobre Desertificação (Nairóbi, 1977), que instituiu o Plano de Ação para Combater a Desertificação (PACD); a Conferência do Rio de Janeiro (1992), que consolidou o conceito de desenvolvimento sustentável e impulsionou a criação da Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação (UNCCD, 1994); e a Conferência Rio+20 (2012), que ampliou o debate sobre degradação, mudanças climáticas e biodiversidade. Como resultado desse percurso, a ONU aprovou em 2015 a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, estabelecendo o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 15, voltado a “proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, combater a desertificação e reverter a degradação da terra e a perda da biodiversidade”, e a meta 15.3, que visa alcançar um mundo neutro em degradação da terra até 2030.

Diante desse percurso político e científico, emergiu a proposta da Neutralidade da Degradação da Terra (LDN) como estratégia global para harmonizar a restauração ecológica e o desenvolvimento sustentável. O conceito, formulado pela UNCCD (2015), define a LDN como o estado em que a quantidade e a qualidade das terras produtivas se mantêm estáveis ou aumentam em escalas temporais e espaciais específicas. Essa abordagem busca equilibrar perdas e ganhos na qualidade das terras por meio de ações de compensação e recuperação, mantendo o balanço zero entre degradação e restauração. Assim, a LDN consolida-se como uma política inovadora na governança ambiental contemporânea, ao integrar ciência, gestão e políticas públicas em escala global.

Apesar de seu avanço conceitual, a implementação da LDN ainda enfrenta lacunas teóricas e metodológicas que limitam sua efetividade prática. Persistem indefinições quanto à seleção e à padronização dos indicadores biofísicos de monitoramento, divergências sobre as escalas de avaliação (global, nacional e local) e desafios na integração entre bases de dados, sistemas de informação e mecanismos de governança multinível (REED et al., 2011; UNCCD, 2015; CGEE, 2016). Essa ausência de padronização metodológica dificulta a mensuração precisa do progresso rumo à neutralidade e a comparação entre contextos territoriais distintos.

Ademais, observa-se uma lacuna teórico-metodológica significativa quanto à integração entre os fundamentos conceituais da LDN e os indicadores biofísicos empregados em seu monitoramento. Poucos estudos abordam, de forma crítica e comparativa, as metodologias utilizadas por instituições internacionais e nacionais na implementação da meta da LDN, especialmente em regiões semiáridas, como o Nordeste brasileiro, que figuram entre as mais

vulneráveis às mudanças climáticas e à desertificação. Essa investigação, portanto, busca contribuir para o aprimoramento das ferramentas de monitoramento, oferecendo subsídios técnicos e científicos para a formulação de políticas públicas e a gestão sustentável das terras.

Dessa forma, o presente artigo tem três objetivos principais: 1) discutir o desenvolvimento da meta da LDN como uma iniciativa da UNCCD para combater a degradação da terra e a desertificação, a partir da análise das principais causas e consequências dos processos de degradação da terra, das Convenções da ONU no período de 1977 a 2012 e da adoção dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), em 2015, em especial, o ODS 15 e a meta 15.3; 2) analisar as lacunas relacionadas à base conceitual e aos indicadores biofísicos definidos pela UNCCD para monitorar e avaliar a LDN; e 3) identificar os desafios que permeiam os estudos sobre a iniciativa LDN em diferentes regiões do planeta, no que se refere aos indicadores biofísicos utilizados para monitorar e avaliar o progresso da implementação dessa meta.

2. METODOLOGIA

2.1 Estrutura metodológica e etapas da pesquisa

Figura 10 – Fluxograma metodológico da pesquisa sobre LDN

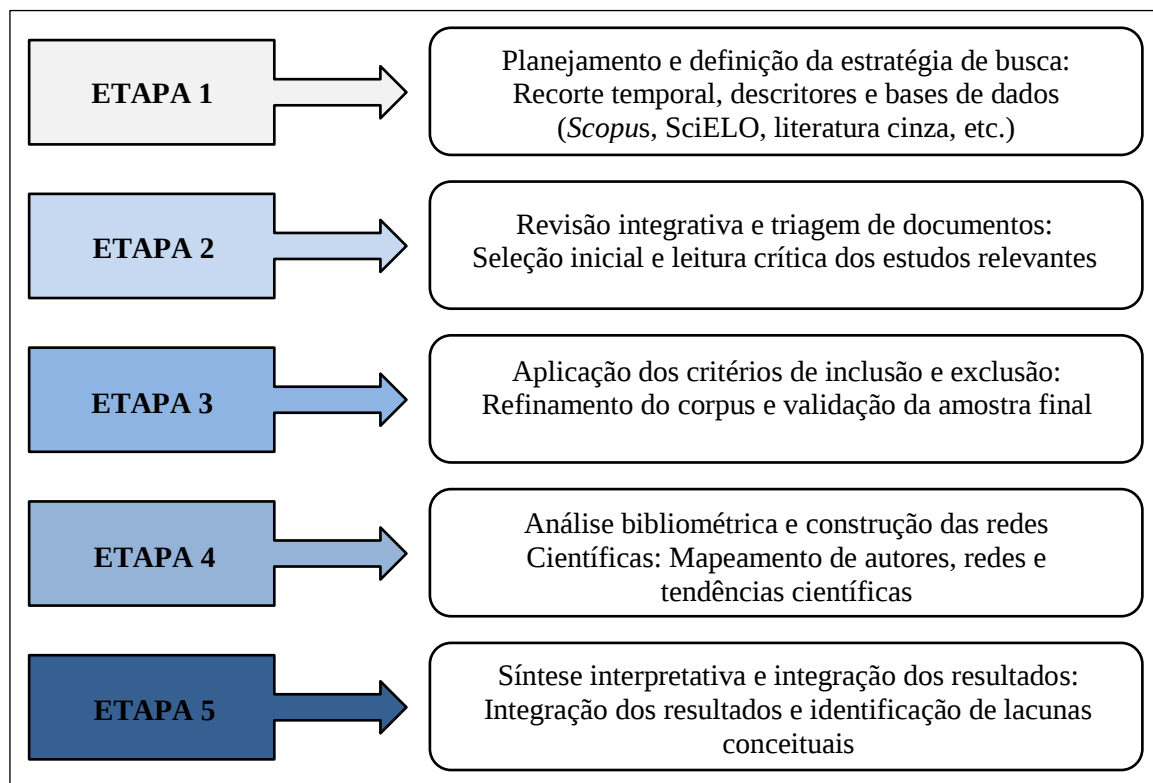


Figura: Elaboração própria, 2020.

A metodologia foi estruturada em cinco etapas sequenciais e interdependentes, representadas no Fluxograma metodológico (Figura 10). O fluxograma acima ilustra a natureza iterativa do processo, evidenciando a integração entre a revisão bibliográfica, os critérios de seleção e a análise bibliométrica, que subsidiaram a interpretação final dos resultados.

2.2 Caracterização da pesquisa

A presente investigação caracteriza-se como uma revisão bibliográfica integrativa associada a uma análise bibliométrica exploratória, fundamentada nos princípios de BOTELHO, CUNHA e MACEDO (2011). Essa combinação metodológica permitiu integrar dimensões conceituais, técnicas e políticas da Neutralidade da Degradação da Terra (LDN), viabilizando uma compreensão abrangente da produção científica internacional sobre o tema.

O recorte temporal (1997–2019) foi definido por corresponder ao período de consolidação da Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD) e de formalização da LDN na Agenda 2030, o que marca o amadurecimento conceitual e a institucionalização das políticas globais de gestão sustentável da terra.

Para garantir maior transparência, em cada etapa do funil metodológico foi registrado o número exato de documentos analisados: inicialmente 312 registros identificados, reduzidos para 156 após a triagem de títulos e resumos, dos quais 62 foram selecionados na leitura completa, resultando no corpus final de 54 artigos científicos e 08 relatórios institucionais utilizados nas análises qualitativas e bibliométricas. O conjunto analisado totalizou 1.842 citações provenientes de 41 países, o que reflete a amplitude geográfica e o alcance interdisciplinar da temática.

2.3 Etapa 1 – Planejamento e definição da estratégia de busca

Foram estabelecidos o recorte temporal (1997–2019), as bases científicas e os descritores principais utilizados nas buscas. A pesquisa foi realizada nas bases *Scopus*, *SciELO*, *ResearchGate* e *Google Scholar*, complementada por consultas à literatura cinzenta (relatórios da UNCCD, FAO, EEA e MMA).

As expressões de busca foram estruturadas com o comando *TITLE-ABS-KEY*, utilizando operadores booleanos (*AND*, *OR*, *NOT*) para combinar termos e refinar a precisão dos resultados. Os descritores principais incluíram: “*land degradation neutrality*”,

“*desertification*”, “*dryland degradation*”, “*biophysical indicators*”, e “*sustainable land management*”. A busca foi estruturada por meio do comando *TITLE-ABS-KEY*, utilizando operadores booleanos (*AND*, *OR*, *NOT*) para refinar a precisão dos resultados.

Essa etapa teve como meta identificar publicações científicas e documentos institucionais relevantes que abordassem o desenvolvimento conceitual e os mecanismos de avaliação da LDN em diferentes contextos regionais.

2.4 Etapa 2 – Revisão integrativa e triagem de documentos

A revisão integrativa consistiu em um processo sistemático de leitura crítica e categorização temática, orientado pelos critérios de relevância, originalidade e aderência ao escopo da LDN. Inicialmente, foram identificados 312 documentos, dos quais 156 foram mantidos após a leitura dos títulos e resumos. Os dados foram organizados segundo as variáveis de base: autor, ano, país, descritores, área temática e tipo de publicação.

A Tabela 12 apresenta a síntese das bases consultadas, dos parâmetros de busca e dos critérios de inclusão empregados nesta etapa.

Tabela 12 – Síntese das bases de dados e parâmetros de busca

Base de Dados	Tipo de Publicação	Período	Campos de Busca	Exemplos de Descritores	Critério de Inclusão
Scopus	Artigos indexados	1997–2019	Título, Resumo, Palavras-chave	“ <i>land degradation neutrality</i> ”, “ <i>LDN indicators</i> ”, “ <i>desertification</i> ”	Artigos com ≥ 10 citações
SCIELO	Artigos revisados	2000–2019	Título, Resumo	“gestão sustentável da terra”, “indicadores biofísicos”	Relevância temática
Google Scholar / Literatura cinzenta	Relatórios e documentos técnicos	1997–2019	Texto completo	“UNCCD”, “Agenda 2030”, “ODS 15.3”	Fontes institucionais reconhecidas

Fonte: Elaboração própria, 2019.

2.5 Etapa 3 – Aplicação dos critérios de inclusão e exclusão

Nesta etapa, realizou-se a filtragem dos documentos para garantir a coerência e a representatividade científica. Os critérios de inclusão abrangeram:

- Publicações entre 1997 e 2019;
- Textos em inglês, espanhol ou português;
- Estudos sobre indicadores biofísicos, metodologias de avaliação ou políticas públicas relacionadas à LDN;
- Documentos institucionais de organismos internacionais.

Foram excluídos artigos de opinião sem base empírica, estudos sem menção explícita à LDN, trabalhos duplicados e estudos centrados exclusivamente na degradação agrícola. Após a aplicação dos filtros, 62 documentos foram analisados em texto completo, resultando no corpus final de 54 artigos científicos e 08 relatórios institucionais.

2.6 Etapa 4 – Análise bibliométrica e construção das redes científicas

Esta etapa teve como propósito identificar padrões de produção, colaboração e convergência temática sobre a LDN no período delimitado, articulando dados quantitativos e interpretações qualitativas. Os metadados foram previamente organizados, com padronização de autores, instituições, países e palavras-chave, assegurando a consistência e a comparabilidade das informações.

A base de dados final foi exportada para o software *VOSviewer 1.6.20*, aplicando-se o modelo de normalização “*association strength*”, conforme proposto por VAN ECK E WALTMAN (2014), em conjunto com o algoritmo de modularidade para a detecção de *clusters* conceituais. Essa abordagem permitiu identificar redes de coautoria, núcleos de colaboração institucional e tendências emergentes de pesquisa.

Os resultados dessa etapa possibilitaram a formação de três *clusters* interpretativos principais:

- (1) Conceituação e definição da LDN;
- (2) Indicadores biofísicos e metodologias de avaliação;
- (3) Incertezas e desafios relacionados à implementação, incluindo questões de governança, escalas de análise e integração com políticas ambientais.

A partir dessas redes, foi possível estabelecer a base empírica e conceitual que orientou a análise temática integrada, desenvolvida na etapa seguinte.

2.7 Etapa 5 – Análise temática integrada e síntese dos resultados

Nesta etapa, procedeu-se à correlação entre os resultados bibliométricos e as evidências qualitativas extraídas da literatura, a fim de compreender os fundamentos conceituais, técnicos e metodológicos da LDN. A leitura analítica dos textos completos permitiu identificar trechos que abordavam as dimensões conceituais, os indicadores biofísicos e os desafios operacionais da implementação da LDN em diferentes contextos.

As informações foram classificadas em três macrogrupos analíticos:

- 1) Conceituação e definições da LDN;
- 2) Indicadores biofísicos e integração metodológica;
- 3) Incertezas e lacunas associadas à linha de base, às escalas de mensuração, à governança e ao financiamento.

Com base nessa categorização, realizou-se uma triangulação analítica entre os *clusters* bibliométricos e as categorias temáticas, o que permitiu a construção de uma matriz de convergência entre as principais tendências conceituais e as evidências empíricas da literatura. Essa matriz evidenciou lacunas e desafios recorrentes, que foram posteriormente sistematizados na Tabela 13 (Resultados e Discussão), integrando de forma coerente os resultados quantitativos e qualitativos da pesquisa.

Como limitação, reconhece-se a possibilidade de viés linguístico, decorrente da predominância de publicações em inglês, o que pode ter restringido a inclusão de estudos relevantes em outros idiomas. Além disso, há restrição temporal, pois o recorte até 2019 não abrange avanços metodológicos e institucionais mais recentes, ainda em desenvolvimento após a consolidação da Agenda 2030.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Degradação da terra: uma ameaça global para biodiversidade e desenvolvimento sustentável

3.1.1 Discutindo os processos: degradação da terra, degradação do solo e desertificação

A degradação da terra é uma das maiores ameaças ambientais que a comunidade internacional enfrenta, sobretudo nas regiões áridas e semiáridas, cuja expansão e continuidade de processos de degradação impedem o seu desenvolvimento sustentável (GRANDI et al.,

2017). Para SAFRIEL (2017), ao conceituar a terra como ecossistema ou como ecossistema terrestre, a sua degradação pode ser atribuída aos impactos sofridos em processos ecossistêmicos específicos, que sustentam os serviços ecossistêmicos a partir dos quais as pessoas obtêm benefícios. Estão incluídas nesse processo de degradação as interações entre os componentes do solo e a diversidade de sua biota subterrânea e acima do solo (SAFRIEL, 2017).

Quando são mal utilizados, os solos perdem progressivamente sua fertilidade, necessitando cada vez mais de investimentos em adubos e corretivos, com reflexos, em última análise, no aumento dos preços dos produtos alimentícios. Também o mau uso do solo pode levar à contaminação das nascentes de rios e lagos e mesmo do próprio solo, reduzindo a qualidade de vida do homem na terra (COELHO et al., 2013).

Como exemplo, podem ser citados os estudos de SOJO JNR (2014), que demonstrou como a degradação da terra é uma questão ambiental importante que afeta a região do Sahel, com consequências negativas para a agricultura; VLEK, TAMENE e LE (2010), cuja pesquisa apontou as ameaças da degradação da terra à segurança alimentar na África Subsaariana; DELANG (2018) analisou os impactos diretos e indiretos da degradação do solo na China, que incluem perda de nutrientes do solo, salinização, acidificação e desertificação. Outros autores alertam para os impactos da degradação da terra e da desertificação: GUERRA e FAVIS-MORTLOCK (1998), ABAHUSSAIN et al. (2002), ZHANG (2006), CAVALCANTI e COUTINHO (2009), BAHRAMI (2010), BORRELLI et al. (2013), WINGEYER et al. (2015), LIU et al. (2019).

Diante do contexto geral de degradação da terra, houve uma demanda crescente de estudos com o objetivo de estabelecer critérios para determinar a qualidade do solo e desenvolver índices que possam ser usados para classificar e comparar a qualidade dos solos em diferentes locais ou no mesmo local ao longo do tempo (NORTCLIFF, 2002).

A qualidade do solo é entendida como a capacidade de um tipo de solo para funcionar, dentro dos limites naturais ou gerenciados do ecossistema, para sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou melhorar a qualidade da água e do ar e apoiar a saúde e a habitação humanas (KARLEN et al., 1997). A avaliação da qualidade do solo, quando examinada como parte de um ecossistema, constitui um eficiente método para avaliar a sustentabilidade ambiental das atividades de uso e manejo da terra. Assim, serve de instrumento para monitorar o grau de degradação do solo.

Considerando a degradação da terra como um desafio ambiental global, é necessária uma definição específica para o termo. Nesse contexto, uma das definições mais robustas é

apresentada pela *Global Environment Facility* (GEF), que trata a degradação da terra como sendo qualquer forma de deterioração do potencial natural da terra que afeta a integridade do ecossistema, seja em termos de redução de sua produtividade ecológica sustentável ou em termos de sua riqueza biológica e manutenção da resiliência (GEF, 2009). Essa concepção aproxima-se da definição apresentada na *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA, 2005), segundo a qual a degradação da terra pode ser tratada como uma redução nos serviços dos ecossistemas. Os serviços de provisionamento de uma paisagem, por exemplo, em madeira, alimentos, etc., e serviços culturais, como recreação, são sustentados por serviços reguladores, como o ciclo do carbono, e também através de serviços de apoio, como ciclo de nutrientes (MEA, 2005).

Para CHARTRES (1987), a degradação da terra envolve uma redução das condições físicas, químicas ou do status biológico da terra, o que também pode restringir a capacidade produtiva. Tal processo abrange não apenas a degradação do solo, mas também a da vegetação, que tem sido definida genericamente como uma redução temporária ou permanente na densidade, estrutura, composição de espécies ou produtividade da cobertura vegetal (GRAINGER, 1996).

A desertificação, por sua vez, constitui o processo de degradação da terra que ocorre em regiões áridas e semiáridas e áreas subúmidas secas, resultante de vários fatores, incluindo variações climáticas e atividades humanas (ONU, 1994). Já a degradação das terras em áreas secas ocorre por meio de diversos processos, incluindo erosão eólica, erosão hídrica, compactação, alagamento, salinização e alcalinização (GRAINGER, 1990). Esse fenômeno é resultado de um período de interação de processos de degradação da terra, que podem ser acelerados sob condições severas de seca, embora possa ocorrer sob condições climáticas muito diversas. (EU, 2009).

3.1.2 Causas e impactos da degradação das terras

A degradação da terra envolve dois sistemas complexos e interrelacionados: o ecossistema natural e o sistema social humano. As forças naturais atuam por meio de eventos climáticos extremos persistentes, como secas ou mudanças climáticas, enquanto o sistema social humano resulta de pressões socioeconômicas ou políticas sobre o uso da terra (WMO, 2005).

Nas últimas décadas, houve um aumento no percentual de degradação da terra em todo o planeta. Segundo o Novo Atlas Mundial de Desertificação, globalmente, uma área equivalente

à metade do tamanho da União Europeia (4,18 milhões de km²) é degradada anualmente, sendo a África e a Ásia os continentes mais afetados (PNUMA, 2018). Estima-se que atualmente esse processo afete cerca de um terço da terra arável global (UNCCD 2015a, VLEK 2005) e custe entre US\$ 6,3-10,6 trilhões por ano ou 10-17% da receita bruta do produto interno mundial (ELD 2015).

No contexto latino-americano e brasileiro, estudos conduzidos pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), pelo Projeto Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (PNPDT) e pelo MapBiomias (2018) têm revelado que as áreas semiáridas do Nordeste e os biomas Cerrado e Caatinga figuram entre os mais vulneráveis à perda de produtividade do solo. Essa dimensão regional reforça a importância de políticas nacionais de monitoramento integradas aos compromissos globais da UNCCD.

A Tabela 13 apresenta uma descrição simplificada das consequências biofísicas e socioeconômicas da degradação de terras e da desertificação em diferentes áreas secas do planeta.

Tabela 13 – Descrição simplificada das consequências biofísicas e socioeconômicas da LDD em áreas secas do planeta

Dimensão	Consequência	Local / Escala	Autor(es)
Socioeconômica	Redução da produção agrícola	Porção Central de Mianmar (Regional)	Tun, Shrestha & Datta (2015)
	Redução na produção animal	Sudoeste dos Estados Unidos (Regional)	Fredrickson et al., 1998
	Movimentos migratórios	México (Regional/Local)	Eche, 2013
	Perda de espécies econômicas importantes	Sudeste da Ásia (Regional)	Shrestha, 2011
	Mudança nos padrões de uso da terra	Grécia (Nacional)	Karamesouti et al., 2015
	Perda de conhecimento ambiental local	África (Nacional)	Bollig e Schulte, 1999
	Perda de estruturas agrícolas tradicionais	Nordeste da Nigéria (Regional)	Saleh, 2014
	Perda de nutrientes do solo	Gana (Nacional)	Bashagaluke et al., 2018
	Redução da cobertura vegetal	África Sub-Saariana (Regional)	Symeonakis e Drake, 2004

Biofísica	Diminuição da infiltração	Patagônia Argentina (Regional)	Chartier, Rostagno e Pazos, 2011
	Perda da biodiversidade	Sudeste da Ásia (Regional / Nacional)	Shrestha, 2011
	Mudança em processos geomórficos	África Oriental	Nyssen et al., 2008
	Adição de sedimentos a corpos d'água	China (Nacional / Regional)	Issaka e Ashraf, 2017
	Redução da resiliência no ecossistema	Nacional	Lal, 2012.
	Mudanças na composição e riqueza de espécies	Oeste do Sahel Africano (Regional)	Gonzalez, 2001
	Erosão eólica	Sudão (Nacional)	Glover e Luukkanen, 2013

Fonte: Elaboração própria (2019).

A partir da análise da Tabela 13, nota-se que praticamente todas as consequências biofísicas dos processos de degradação da terra e desertificação começam com a perda de vegetação. Essas perdas têm um efeito de "cascata" em outros componentes e processos, levando à deterioração progressiva da estrutura e do funcionamento do sistema ecológico (FERNÁNDEZ et al. 2002).

As consequências biofísicas e socioeconômicas decorrentes do processo de degradação da terra diferem substancialmente entre áreas geográficas do globo em função da intensidade e do número de forças motrizes no trabalho, da extensão da área impactada, da duração da deterioração e da resiliência dos componentes do sistema, especialmente a vegetação (REYNOLDS et al., 2014). Até mesmo em uma área específica, é possível identificar diferentes consequências, dependendo das características únicas do sistema. Assim, algumas generalizações sobre as consequências biofísicas e socioeconômicas podem ser enganosas ou incorretas quando aplicadas a determinadas situações (REYNOLDS et al., 2014).

Considerando as ações humanas inadequadas responsáveis pela degradação da terra, pode-se considerar como uma das mais graves a conversão da terra em agricultura e pastagens, além da extração excessiva de recursos naturais, incluindo madeira (GEIST e LAMBIN, 2004). Merece destaque o fato de que aproximadamente 44% de todos os sistemas cultivados do mundo estão em terras secas (FAO, 2009), áreas tradicionalmente utilizadas na pecuária, mas que agora estão sendo cada vez mais convertidas em terras agrícolas.

De acordo com a FAO, o consumo médio de calorias per capita aumentará em 11% entre 2003 e 2050 (FAO, 2006a). Por consequência, estimam-se 120 milhões de hectares adicionais de terras para apoiar o crescimento necessário à produção de alimentos até 2030 (FAO, 2003), uma área equivalente ao tamanho da África do Sul, caso as terras não sejam reabilitadas para a produção agrícola (STAVI e LAL, 2015).

De certo, o crescimento populacional e o desenvolvimento econômico são importantes fatores indiretos da degradação da terra, associados a formas de cultivo e políticas de gestão inadequadas (IUCN, 2015). Entretanto, a alta densidade populacional, por si só, não está necessariamente relacionada à degradação da terra (WMO, 2005). É a forma como a população utiliza esse recurso que determina a extensão da degradação. Assim, as pessoas podem ser um ativo importante na reversão de uma tendência para a degradação da terra. A mitigação desse processo só pode ter sucesso se os usuários assumirem o compromisso de manter a qualidade dos recursos terrestres (WMO, 2005).

Recentemente, a produção agrícola tem sido praticada em áreas de menor precipitação e solos mais pobres, onde sua viabilidade é questionável, resultando, em muitos casos, no abandono de terras após a degradação (IUCN, 2015). Contribui para esse fato a ação de governos em todo o planeta, responsáveis por políticas que visam maior área em produção, em vez de maior produtividade por unidade de área ou de redução de perdas pós-colheita (IUCN, 2015). Como exemplo, pode-se citar o que ocorre no Brasil, em especial no Cerrado, onde a exploração da agropecuária, a partir da década de 1970 do século XX, resultou em excesso de desmatamento, erosão e compactação do solo, assoreamento de rios, contaminação da água subterrânea e perda de biodiversidade, com reflexos em todo o ecossistema (CUNHA et al., 2008).

A crescente produção agropecuária para atender à atual demanda de alimentos intensifica a pressão sobre o solo e a biodiversidade, culminando na degradação da terra e, conseqüentemente, no aumento da pobreza, especialmente em terras secas (ADEEL e SAFRIEL, 2005; FAO, 2009). Acrescentam-se ainda à pressão ao solo as mudanças climáticas, que tendem a exacerbar a intensificação da escassez de água doce sob um clima quente (SAFRIEL, 2017). Este mesmo autor destaca que não são raros os casos em que a degradação da terra desencadeia pobreza e fome, sendo ainda um efeito identificador dos conflitos dentro e entre países (SAFRIEL, 2006), que desencadeiam migrações de refugiados (MYERS 2002; FERNÁNDEZ et al. 2002; REUVENY 2007).

A expansão da perda da produtividade da terra, associada à função do sequestro de carbono, ainda prejudicaria a segurança alimentar (BOWYER et al. 2009; FISCHER et al.,

2001; ROSEGRANT e CLINE, 2003) e a mitigação das mudanças climáticas, respectivamente, em escala local e principalmente em escala global (LAL, 2004).

Além dos impactos socioeconômicos citados, a degradação da terra leva à redução da infiltração e recarga de água subterrânea e a um aumento do escoamento e assoreamento, que em ambos os casos contribuem para graves efeitos de seca e inundação a jusante (COELHO et al., 2013). A UNCCD estimou que a porcentagem da área terrestre afetada pela seca grave mais do que dobrou desde a década de 1970 e, em 2030, a escassez de água em algumas regiões áridas e semiáridas pode deslocar até 700 milhões de pessoas (UNCCD, 2015).

Outro aspecto a ser considerado ao avaliar os impactos sociais e econômicos da degradação da terra está relacionado à distribuição espacial da população que habita terras secas. Em 1994, estimava-se que a população total nas regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas era de 2.010 bilhões (PNUD, 1997), o que correspondia a 40% de todas as pessoas do planeta. O tamanho da população afetada pela degradação da terra e pela desertificação que vive nessas áreas é desconhecido devido a dados insuficientes sobre a população, bem como sobre a extensão e a taxa de variação das terras degradadas (UNCCD, 2013). Mesmo assim, por certo, os indivíduos mais pobres da população são diretamente os mais afetados pela expansão desse processo nas áreas secas, devido principalmente ao declínio da produção agrícola, o que pode afetar os níveis de pobreza em escala nacional (DIAO e SARPONG, 2007).

3.1.3 Mudanças climáticas, degradação da terra e qualidade do solo

A degradação da terra e as mudanças climáticas são processos interligados, com fatores biofísicos e humanos, impactos e respostas (HERRICK, SALA e KARL, 2013; LI et al., 2015). Esse processo pode ser intensificado pelos padrões de uso e gestão da terra e fenômenos naturais como seca, chuvas intensas e incêndio (MA, 2005). Também podem ser influenciados por fatores sociais, econômicos e políticos que incentivam ou impõem pressões de uso da terra, enquanto falham em equilibrar a oferta de serviços ecossistêmicos com as demandas da produção agrícola (D'ODORICO et al., 2013).

A degradação da terra pode, portanto, manifestar-se de diversas maneiras nos sistemas agroecológicos. Mudanças estruturais na cobertura de copa das florestas tropicais e redução de biomassa (MIETTINEN et al., 2014), erosão dos nutrientes do solo em áreas de cultivo (QUINTON et al., 2010) e salinização de áreas secas irrigadas (QADIR et al., 2014) são todas manifestações de degradação da terra. Tais impactos podem ser difusos entre paisagens e regiões ou ocorrer como pontos quentes e podem exibir grande variabilidade espacial.

As mudanças climáticas têm efeito direto sobre a degradação da terra, atuando de diferentes formas, incluindo erosão acelerada do solo, aumento das taxas de evapotranspiração, seca e mudanças na biodiversidade, em pragas e doenças (HERRICK, SALA e KARL, 2013). Por meio dessas mudanças, a degradação da terra pode limitar o aumento da biomassa vegetal e elevar as concentrações atmosféricas de CO² (fertilização com CO²) (REICH e HOBBIIE, 2012). Historicamente, o grau de degradação da terra pode influenciar ainda mais a magnitude e a direção (positiva ou negativa) dos impactos das mudanças climáticas nos sistemas agroecológicos.

A relação entre a degradação da terra e as mudanças climáticas configura um processo de retroalimentação, no qual a perda da qualidade dos solos reduz a capacidade de sequestro de carbono e, ao mesmo tempo, intensifica o aquecimento global (LAL, 2015; IPCC, 2019). Solos degradados tendem a apresentar menor teor de matéria orgânica, baixa infiltração e maior suscetibilidade à erosão, o que altera o balanço hídrico e compromete a estabilidade térmica dos ecossistemas (BLUM, 2005; REYNOLDS et al., 2014). Práticas agrícolas inadequadas, como o revolvimento intenso do solo, o uso excessivo de insumos químicos e a supressão da cobertura vegetal, ampliam a vulnerabilidade climática das paisagens e reduzem sua capacidade de regeneração (MONTANARELLA; PANAGOS, 2015).

Nesse contexto, práticas conservacionistas, como o plantio direto, o uso de culturas de cobertura e a recuperação de áreas degradadas, representam estratégias fundamentais para restaurar os estoques de carbono, reduzir as emissões e fortalecer a resiliência ecológica. A preservação da integridade dos solos, portanto, transcende a esfera agrônômica e se afirma como um elemento estratégico das políticas de mitigação e adaptação às mudanças climáticas. Com efeito, melhorias na qualidade do solo estão tipicamente relacionadas à sensibilidade reduzida às mudanças climáticas.

Entende-se como qualidade do solo a capacidade de exercer funções relacionadas à sustentação da atividade, da produtividade e da diversidade biológica, à manutenção da qualidade do ambiente, à promoção da saúde das plantas e dos animais e à sustentação de estruturas socioeconômicas e de habitação humana (DORAN, 1996).

SOJKA e UPCHURCH (1999) destacam que a definição da qualidade do solo pode mudar para a mesma área de terra e mesmo uso dependendo, dentre outros fatores, da habilidade de cada produtor em manejar sua área, do sistema ou tipo e cultivo e das condições climáticas (efeito da sazonalidade). Para esses autores, existe uma complexidade na definição da qualidade do solo, pois sua composição física, química e biológica varia enormemente, tendo sistemas

mais diversos e dinâmicos.

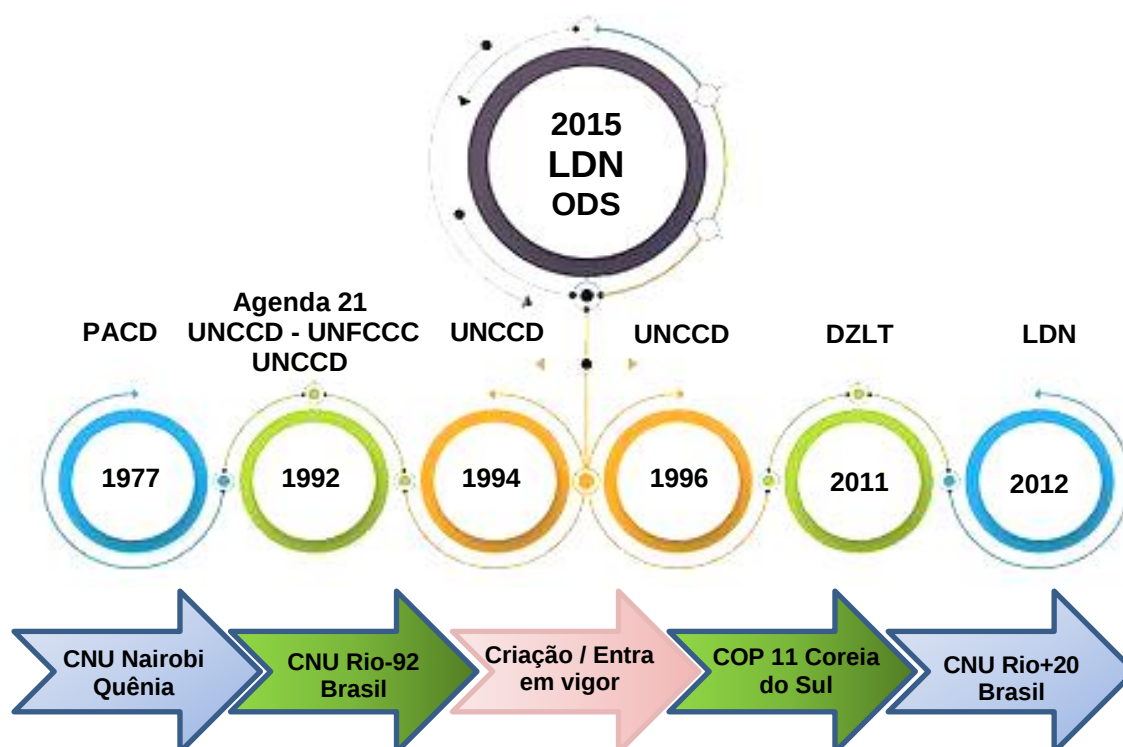
De modo geral, a qualidade do solo está relacionada às funções da terra no equilíbrio dos ecossistemas naturais e ao seu funcionamento em benefício humano, de acordo com a composição natural do solo, sendo também fortemente relacionada às práticas intervencionistas do homem.

3.1.4 A ONU e o combate à degradação da terra

A degradação da terra e a desertificação tornaram-se temas relevantes nos debates feitos pela ONU, que desde a década de 1970 mostra-se empenhada, junto com a comunidade científica internacional e governos, em combater a expansão do fenômeno nos países afetados (ONU, 1992; UNCCD, 1994; HIGGINBOTTOM e SYMEONAKIS, 2014).

A Figura 11 apresenta um esquema do caminho percorrido pela ONU, desde a década de 1970 até 2015, no combate à degradação da terra e à desertificação.

Figura 11 – Caminho percorrido pela ONU para reverter os processos de LDD



Fonte: Elaboração própria, 2019.

Em 1977, foi realizada a primeira Conferência das Nações Unidas de Combate à

Desertificação, na cidade de Nairóbi, Quênia. Esta conferência teve um papel fundamental na luta contra a desertificação no mundo, pois consolidou as discussões mundiais sobre a importância de adotar medidas para enfrentar o fenômeno, culminando, assim, na criação do Plano de Ação Mundial de Combate à Desertificação (TOWNLEY, 1977). Desde então, o fenômeno da desertificação tem sido objeto de discussões sistematizadas em conferências e eventos nacionais e internacionais.

Em 1992, foi realizada a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMA, também chamada de Cúpula da Terra ou Rio-92), na cidade do Rio de Janeiro. Desta conferência resultou a elaboração do documento Agenda 21, como uma ferramenta de planejamento e gerenciamento ambiental orientada rumo ao desenvolvimento sustentável em nível local com a participação cidadã (GARCÍA-MONTES e MONREAL, 2019; MUÑOZ, 2016). Esse documento constitui um plano de ação para o século XXI, refletindo um consenso mundial e um compromisso político em nível mais abrangente sobre o desenvolvimento e a cooperação na esfera ambiental (MMA, 2004; PESSINI, 2016). Dentre as muitas questões ambientais, o documento apresenta o Capítulo 12, dedicado à temática desertificação e seca (Capítulo 12: Manejo de Ecossistemas Frágeis: a Luta Contra a Desertificação e a Seca) (AGENDA 21, MMA, 1992; SÁNCHEZ e CROAL, 2012; UNCCD, 2013).

Na Conferência Rio-92, também foi aprovada a criação da Convenção Internacional de Combate à Desertificação (CCD), principal referência sobre o tema em todo o mundo, já ratificada por mais de cento e cinquenta países, entre eles o Brasil. Nela, definiu-se como desertificação “a degradação das terras nas zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas resultante de fatores diversos, tais como as variações climáticas e as atividades humanas” (BRASIL, MMA, 1998).

Em linhas gerais, a Conferência Rio-92 teve a maior relevância na consolidação do debate internacional não somente sobre o fenômeno da desertificação, mas também se tornou oficialmente uma ferramenta de auxílio a decisões rumo ao desenvolvimento sustentável (Princípio 17 da Declaração do Rio) e para a proteção da biodiversidade (Artigo 14 da Convenção da Diversidade Biológica) (SÁNCHEZ e CROAL, 2012). Ela marcou o início do processo de negociação para a elaboração de três convenções: a Convenção Quadro sobre Mudança Climática, a Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB) e a Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação nos Países Afetados por Seca Grave e/ou Desertificação, particularmente na África (UNCCD). Como clima, solos e biodiversidade estão dinâmica e intimamente ligados, a UNCCD colabora estreitamente com outras duas

Convenções (UNCDB e a UNFCCC) para enfrentar esses desafios complexos, com uma abordagem integrada e com a melhor utilização possível dos recursos naturais (MMA, 2015).

No ano de 1994 foi acordada a Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação nos Países Afetados por Seca Grave e/ou Desertificação (UNCCD), como a terceira das 'Convenções do Rio' que emergiram da Conferência Rio-92 (AKHTAR-SCHUSTER et al., 2016). A convenção entrou em vigor em 26 de dezembro de 1996 e já foi ratificada por 195 países (UNCCD, [s. d.]). No Brasil, o Congresso Nacional ratificou a convenção em 12 de junho de 1997 (BRASIL, 1997).

Em 2002, realizou-se, em Johannesburgo, na África do Sul, a Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável, a Rio+10. Nesta conferência, buscou-se avaliar os resultados da Rio 92 e constatou-se que os resultados não foram satisfatórios, pois houve aumento da pobreza e a degradação ambiental piorou (PESSINI e SGANZERLA, 2016). Verificou-se ainda que o mundo desejava, segundo sua Assembleia Geral, uma Conferência que apontasse para resultados na erradicação da pobreza e de produtos químicos perigosos, em investimentos nos setores de saneamento básico e saúde e na proteção da biodiversidade (PESSINI e SGANZERLA, 2016).

No sentido de avançar no debate e na implementação de ações voltadas ao desenvolvimento sustentável, a ONU tem realizado e apoiado continuamente a realização de conferências, congressos e outros eventos nacionais e internacionais. A Conferência das Partes (COP) insere-se nesse contexto, com a participação dos países-membros da UNFCCC. As cinco primeiras sessões da COP foram realizadas anualmente de 1997 a 2001 e, a partir de então, passaram a ser realizadas bienalmente.

A 10ª Conferência das Partes da Convenção sobre Diversidade Biológica (COP-10) foi realizada em Changwon, na Coreia do Sul, em 2011. Nessa conferência foi adotada uma iniciativa inovadora (Iniciativa de Changwon) para avançar os objetivos estratégicos da UNCCD (UNCCD, 2012). Esta iniciativa, formulada como um desejo de alcançar “degradação líquida zero da terra” no nível global, tornou-se um marco importante como resposta internacional aos problemas de degradação do solo (SÁNCHEZ e CROAL, 2012).

No ano de 2012 foi realizada em 2012, na cidade do Rio de Janeiro a Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável (CNUDS), a Rio + 20, tendo como debate principal o conceito de desenvolvimento sustentável denominado de “economia verde” em substituição ao modelo antiecológico da chamada economia “marrom” (SÁNCHEZ e CROAL, 2012).

De acordo com o relatório do PNUMA, a “economia verde” pode ser definida como

uma economia que melhora o bem-estar humano e garante a igualdade social, ao mesmo tempo em que reduz significativamente os riscos e as perspectivas ambientais de degradação do meio ambiente. Em síntese, trata-se de uma economia de baixo carbono, eficiente no uso de recursos naturais e socialmente inclusiva (UNEP, 2011; MORROW, 2012). A "iniciativa Economia Verde" foi lançada pelo PNUMA em meio à eclosão da crise financeira no segundo semestre de 2008, com um forte apelo a um novo paradigma para a retomada do crescimento da economia mundial (ALMEIDA, 2012).

Na Conferência Rio+20 foi aprovado o documento final intitulado “Nosso Futuro Comum” (ONU, 2012). Este documento buscou mostrar como cada país poderia implementar internamente a política da “economia verde”, de acordo com seus planos, estratégias e prioridades nacionais para o desenvolvimento sustentável (SCARANO et al., 2012; ZONN, KUST e ANDREEVA, 2017).

A temática da desertificação, da degradação da terra e das secas também é tratada no referido documento como um dos problemas globais que representam uma séria ameaça à conquista do desenvolvimento sustentável em todos os países do mundo (ONU, 2012; ZONN, KUST E ANDREEVA, 2017). Ainda na Conferência Rio+20, emerge a ideia de “degradação zero da terra”, no contexto de desenvolvimento sustentável, como uma forma de combater a degradação da terra (ZONN, KUST e ANDREEVA, 2017).

No parágrafo 206 do documento “Nosso Futuro Comum”, a ONU reconheceu a necessidade urgente de ações para reverter a degradação da terra, tendo em vista os esforços para alcançar um mundo neutro em relação à degradação da terra (ONU, 2012). Este parágrafo estabelece o objetivo de manter um mundo em que a quantidade total de terra degradada permaneça constante, ou seja, não aumente, o que garantiria terras produtivas disponíveis para o uso de gerações presentes e futuras (UNCCD, 2012a, b). Tal conceito de "degradação zero" foi substituído pelo de “degradação neutra da terra”, e assim é indicado como meta para o período até 2030, no “Objetivo 15” dos “17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável” adotados pelos países na Cúpula da ONU, em 2015 (ONU, 2015; ODS, 2015). Segundo SAFRIEL (2017), o surgimento do LDN como um mecanismo para tratar da degradação global foi desencadeado pelas falhas da UNCCD em reduzir a desertificação.

Mesmo sem alcançar os resultados esperados na luta contra o processo de degradação da terra e de desertificação, a ONU tem desempenhado uma função-chave nas discussões internacionais e na promoção de ações rumo à sustentabilidade ambiental (SECCO, 2015). Dessa forma, compreender as causas e os impactos da degradação da terra constitui o ponto de partida para o entendimento da proposta de Neutralidade da Degradação da Terra (LDN). Essa

abordagem busca transformar o desafio da degradação em oportunidade de recuperação e governança sustentável, articulando ciência, política e sociedade. A seguir, examina-se o desenvolvimento conceitual da LDN, seus indicadores de avaliação e as lacunas metodológicas que ainda limitam sua implementação em escala global e nacional.

3.2 Neutralidade da Degradação do Solo (LDN): a próxima etapa de esforços internacionais para combater a desertificação

3.2.1 Neutralidade da Degradação da Terra (LDN) como meta dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

A partir da Conferência Rio+20, o conceito de neutralidade da degradação da terra (LDN) entrou no discurso global do desenvolvimento sustentável, como um mecanismo para combater a degradação da terra e a desertificação (ZONN, KUST e ANDREEVA, 2017; CHASEK et al., 2015; WUNDER et al., 2018). Essa iniciativa deriva do conceito de Degradação Líquida Zero da Terra (ZNLD)³, promovida pela UNCCD (2012) (KUST, ANDREEVA e COWIE, 2016), conforme discutido na literatura recente (CHASEK et al., 2015; STAVI e LAL, 2015; SAFRIEL, 2017). Em setembro de 2015, como resultado do debate iniciado na Conferência Rio+20, a UNCCD aprovou a Agenda 2030, um documento que apresenta os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)⁴, como orientação para as políticas nacionais e as atividades de cooperação internacional visando o desenvolvimento sustentável (ONU, 2015) (VER ANEXO 1).

Em contraponto às agendas de desenvolvimento anteriormente propostas, que enfatizam o crescimento econômico, os ODS são uma estrutura universal que contém muitas metas de políticas potencialmente divergentes nas esferas econômica, social e ambiental, enquanto se acredita que algumas metas sejam de apoio mútuo (KROLL, WARCHOLD e PRADHAN, 2019). Trata-se, então, do conceito de desenvolvimento inclusivo, que enfatiza as dimensões

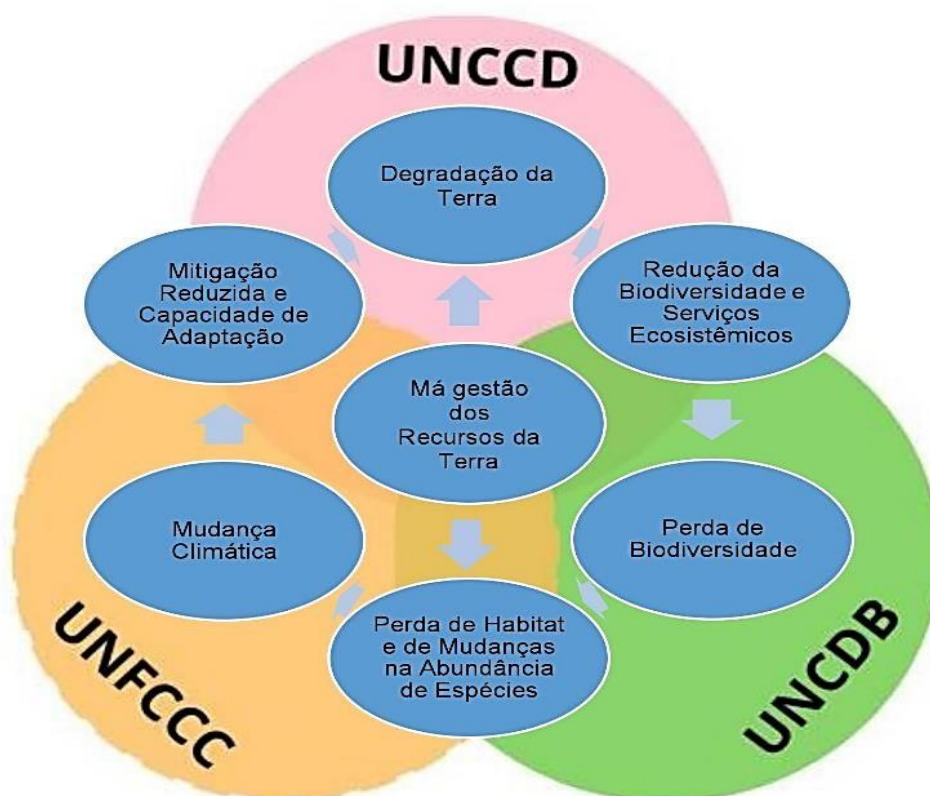
³ O conceito de ZNLD propõe que a extensão global de terras degradadas em áreas áridas, semiridas e sub-úmidas secas diminuirá ou pelo menos permanecerá estável pelos próximos 15 anos. Essa abordagem é baseada em três premissas principais (CHASEK et al., 2015): (i) o objetivo de impedir completamente a degradação adicional é ambicioso demais e o foco deve estar na redução; (ii) a terra global que já está degradada atingiu uma extensão espacial de alerta de quase 20% (MEA, 2005); (iii) a prestação de serviços ecossistêmicos (em particular produtividade biológica) de terras já degradadas pode ser recuperado ou restaurado.

⁴ Os 17 ODS, com suas 169 metas, foram adotados por 193 Estados-Membros das Nações Unidas em 2015 (ONU, 2015). Eles são uma revisão dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM).

sociais, ecológicas e políticas do desenvolvimento (GUPTA e VEGELIN, 2016).

Precipuamente, é importante destacar que os 17 ODS resultam do trabalho coletivo das três convenções do Rio, numa sinergia que envolve temas comuns no caminho para o desenvolvimento sustentável, como melhorias de tecnologia e capacidade, ativos financeiros e conscientização ambiental (VERSTRAETE et al. 2011). A Figura 12 retrata a sinergia entre as convenções da UNCCD, do UNFCCC e da UNCDB.

Figura 12 – Temas comuns na sinergia entre a UNCCD, UNCDB e UNFCCC



Fonte: Adaptado de UNCCD 2015b.

Reconhecendo que a degradação da terra tem impactos diretos nas mudanças climáticas, na perda da biodiversidade (LAL et al. 2012) e podem influenciar a capacidade das nações de atingir as metas estabelecidas pela UNFCCC e pela UNCDB, a UNCCD incluiu a neutralidade da degradação da terra como uma das metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (UNCCD, 2012; AYNEKULU et al., 2017).

A UNCCD considerou que o problema da lenta adoção da ZNLD em escala mundial poderia ser resolvido por meio da inclusão da LDN como meta de desenvolvimento sustentável (LAL et al., 2012). Desse modo, a comunidade internacional adotou em setembro de 2015 a

"Agenda de Desenvolvimento Sustentável 2030", definindo um conjunto de 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), propondo-se a inserção da LDN no Objetivo 15, "Vida Terrestre": "Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade" (ONU, 2015; KUST, ANDREEVA e COWIE, 2017; WUNDER et al., 2018). A implementação da LDN sustenta e catalisa a conquista de outros ODS e seus alvos relacionados (ONU, 2015; AKHTAR-SCHUSTER et al., 2016).

De modo mais específico, o objetivo 15.3 declara como meta internacional: "Até 2030, combater a desertificação, restaurar a terra e o solo degradado, incluindo terrenos afetados pela desertificação, secas e inundações, e lutar para alcançar um mundo neutro em termos de degradação do solo" (ONU, 2015; KUST, ANDREEVA e COWIE, 2017). Com efeito, a definição usada no contexto da implementação do ODS 15 no nível internacional faz clara referência à decisão da 12ª COP da UNCCD, que ocorreu em Ankara, na Turquia, em 2015 (UNCCD, 2015a). Esta decisão foi fornecida pelo Grupo de Trabalho Intergovernamental da UNCCD (IWG) e representa o consenso político geral e científico sobre o termo "degradação neutra da terra" (WUNDER et al., 2018).

Conforme mencionado anteriormente, nota-se na Figura 12 a sinergia entre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, pois reconhecem que a ação em uma área afetará os resultados em outras e que o desenvolvimento deve equilibrar a sustentabilidade social, econômica e ambiental (AKHTAR-SCHUSTER et al., 2016). Por certo, alcançar os ODS relacionados à pobreza, alimentação, água, energia, clima e conservação dos ecossistemas diminuirá a pressão sobre a terra, evitando assim a sua maior degradação. E isso é um grande desafio.

Para além da integração da iniciativa LDN com outros ODS, a meta 15.3 dos ODS é importante não somente para a UNCCD, mas também para as outras convenções do Rio: a Convenção das Nações Unidas sobre Diversidade Biológica e a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (AYNEKULU et al., 2017; AKHTAR-SCHUSTER et al., 2017). Isso porque a degradação da terra tem efeitos diretos sobre os serviços ecossistêmicos, como a perda ou a redução da biodiversidade, a perda de habitats naturais, além de interferir nas mudanças climáticas, com a redução da massa vegetal e do sequestro de carbono, e, consequentemente, interfere na segurança alimentar e no bem-estar humano.

Como forma de ilustrar essa interconexão, a Figura 13 sintetiza visualmente como a meta 15.3 dialoga com os demais objetivos da Agenda 2030.

Figura 13 – Sinergia entre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável para alcançar um mundo neutro em degradação da terra



Fonte: Elaboração própria (2019). Adaptado da UNCCD, 2015b.

A Figura 13 demonstra que o êxito da LDN depende de ações integradas em múltiplas dimensões — ambiental, econômica e social —, evidenciando que o combate à degradação da terra está intrinsecamente ligado ao avanço em áreas como a erradicação da pobreza, a segurança alimentar, a gestão da água, a energia limpa, a mitigação das mudanças climáticas e a conservação dos ecossistemas. Essa representação reforça, portanto, a natureza transversal da LDN como eixo articulador da sustentabilidade global.

3.2.2 Conceito de LDN e indicadores de avaliação da terra

A neutralidade da degradação da terra (LDN) é definida pela Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD) como um estado pelo qual a quantidade e a qualidade dos recursos da terra necessários para apoiar as funções e serviços do ecossistema e melhorar a segurança alimentar permanecem estáveis ou aumentam dentro de escalas temporais e espaciais e ecossistemas específicos (AKHTAR-SCHUSTER et al., 2016; COWIE et al., 2017). Tal conceito expressa o desejo de evitar maior degradação da terra e implica manter o equilíbrio entre as terras "já degradadas" e "ainda não degradadas" (KUST, ANDREEVA e COWIE, 2017). É importante aqui ressaltar que, embora o escopo da UNCCD seja limitado às áreas secas, a estrutura conceitual da LDN é aplicável a todos os tipos e usos da terra e a serviços ecossistêmicos (COWIE et al., 2017).

A definição de LDN proposta pela UNCCD traz uma parte central e inovadora, ao afirmar que para "permanecer estável ou aumentar" são necessários esforços para a restauração, reabilitação e gestão sustentável da terra, caso os processos de degradação não puderem ser evitados (WUNDER, 2018). Ou seja, de acordo com a UNCCD, a neutralização da degradação da terra só pode acontecer a partir de uma mudança global na administração da terra, de modo que o surgimento de novas áreas degradadas deve ser evitado, e quando isso não for possível, deve-se compensar a degradação inevitável pela restauração de uma quantidade igual de terra já degradada (GNACADJA e WIESE, 2016.; UNCCD, 2015; SAFRIEL, 2017).

Numa análise mais ampla, a iniciativa de LDN propõe que, em vez de um equilíbrio global, a neutralidade global da Terra deve ser considerada com base na soma das neutralidades alcançadas pelas comunidades locais e pelas nações em todo o mundo (KUST, ANDREEVA e COWIE, 2016).

Apesar do conceito de LDN parecer simples, é importante discutir os vários aspectos operacionais que aparecem nesta definição, em termos de sua presença e ausência (AKHTAR-

SCHUSTER et al., 2016). Por exemplo, AKHTAR-SCHUSTER et al. (2016) destacaram que o uso das palavras “quantidade e qualidade” sugere que medidas qualitativas e quantitativas e indicadores se prestariam a avaliar o progresso para LDN. Segundo esses autores, o uso dos termos “funções e serviços ecossistêmicos”, comuns na arena da UNCDB e da UNFCCC, é expressão bastante complexa para aplicação pelos usuários da terra operando no nível de ações para prevenir, reduzir e reverter a degradação. Ao incluir a “segurança alimentar” na definição da LDN, o relatório da UNCCD enfatiza que as pessoas estão no centro da agenda. Na perspectiva de serviço do ecossistema, isso prioriza serviços de provisionamento e de regulação de serviços (AKHTAR-SCHUSTER et al., 2016).

Outra questão a ser discutida é que para alcançar a meta da LDN, a quantidade e a qualidade dos recursos da terra devem “permanecer estáveis ou aumentar”, mas, para isso, seria necessário definir as “escalas espaciais e temporais” de análise das terras degradadas ou em processo de degradação. Nesse sentido, somam-se duas lacunas na definição da UNCCD: primeiro, é necessária uma linha de base para avaliar e monitorar a direção (“*permanecer estável ou aumentar*”) de qualquer alteração da terra (AKHTAR-SCHUSTER et al., 2016; WUNDER et al, 2018; KUST et al., 2018)); segundo, não foram definidas escalas espaciais e temporais para medição das terras degradadas, a fim de monitorar se o objetivo de LDN foi alcançado (AKHTAR-SCHUSTER et al., 2016; WUNDER et al, 2018). Tal indefinição permite aos países formularem suas metas de LDN de acordo com suas prioridades e desenvolvimento, a partir dos interesses de grupos sociais, políticos ou econômicos específicos (AKHTAR-SCHUSTER et al., 2016).

Numa revisão recente, CASPARI, LYNDENE e BAI (2005) destacam as deficiências nas estimativas globais de terras degradadas e argumentam que esse fato pode ser resultado da variedade de sistemas componentes do foco de avaliação e também dos diferentes indicadores e métodos utilizados: *Global Assessment of HumanInduced Soil Degradation* (GLASOD) *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA) *Global Assessment of Land Degradation and Improvement* (GLADA) e *Global Land Degradation Information System* (GLADIS) (CASPARI, LYNDENE e BAI, 2005).

Ainda no que se refere à medição das terras degradadas, SAFRIEL (2017), ao discutir o conceito de LDN, argumenta que um aspecto importante a ser considerado é a distinção entre duas fases alternativas de degradação do solo: a terra pode estar em processo de degradação por meio de práticas de uso que reduzem a produtividade com o decorrer do tempo, ou estar em um estado de terra já degradada, abandonada ou ainda usada, mas com uma produtividade persistentemente baixa em relação ao potencial da terra. Segundo o autor, as estatísticas de

degradação da terra são tradicionalmente apresentadas sem distinguir as duas fases, uma distinção crítica para a implementação da LDN (SAFRIEL, 2017). Com efeito, a meta da LDN é que sua conquista seja, eventualmente, expressa em ambas as áreas, atingindo um estado de uso persistente, sustentável e não degradante.

Por certo, ao considerar as questões suscitadas na discussão sobre a base conceitual da LDN, torna-se fundamental que o conceito receba mais esclarecimentos, a fim de evitar sua interpretação errônea (DALLIMER e STRINGER, 2018), a exemplo do que ocorreu em relação ao termo desertificação (JUNTTI e WILSON, 2005, apud DALLIMER e STRINGER, 2018).

Diante das preocupações quanto ao alcance do ODS 15.3, a UNCCD reconheceu a necessidade de fornecer uma base científica sólida para a compreensão e implementação do LDN, além de informar o desenvolvimento de orientações práticas para a prossecução e monitorar o progresso em direção à meta LDN (UNCCD, 2015; COWIE et al., 2017; SAFRIEL, 2017).

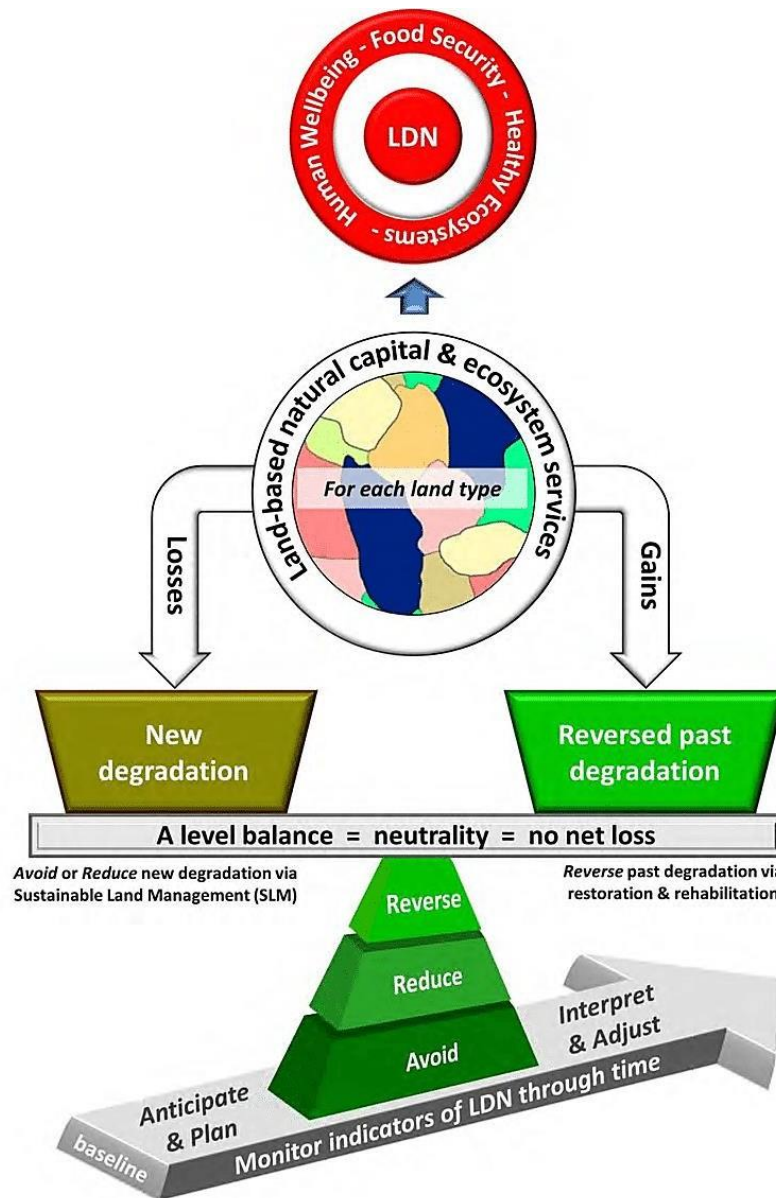
O modelo de neutralidade da degradação da terra, apresentado na Figura 14, ilustra as inter-relações entre os principais elementos da estrutura conceitual científica da LDN. Conforme verificado, a meta no topo expressa a visão do LDN, consiste em manter o recurso mundial de terras saudáveis e produtivas. O objetivo aspiracional da LDN é "sustentar e melhorar os estoques de capital natural terrestre e os fluxos associados de serviços ecossistêmicos, a fim de apoiar a prosperidade e a segurança alimentar futuras da humanidade" (declaração do Secretário Executivo da UNCCD, M. Barbut, 2015; UNCCD: 2015).

Em consonância com essa visão, a LDN se apoia em três objetivos a seguir: (1) manter ou melhorar a prestação sustentável de serviços ecossistêmicos: (i) manter ou melhorar a produtividade, a fim de aumentar a segurança alimentar; (ii) aumentar a resiliência da terra e das populações dependentes da terra)2) buscar sinergias com outros objetivos sociais, econômicos e ambientais; e 3) reforçar a governança responsável e inclusiva da terra (UNCCD, 2015).

Complementarmente, a Figura 14 evidencia como a estrutura conceitual da LDN se apoia em uma lógica integrada que conecta objetivos, metas e instrumentos de monitoramento. Nela, observa-se que o equilíbrio entre as funções ecológicas, sociais e econômicas da terra é sustentado por indicadores de produtividade, cobertura e carbono orgânico do solo, que constituem a base científica para mensurar o progresso rumo à neutralidade. Essa representação demonstra que a LDN não é apenas um conceito normativo, mas também um modelo operacional que busca articular ciência, política e gestão territorial, traduzindo a meta global de neutralidade em ações locais e mensuráveis voltadas à manutenção do capital natural e à

promoção de um desenvolvimento verdadeiramente sustentável.

Figura 14 – Os elementos-chave da estrutura conceitual científica para LDN e suas inter-relações



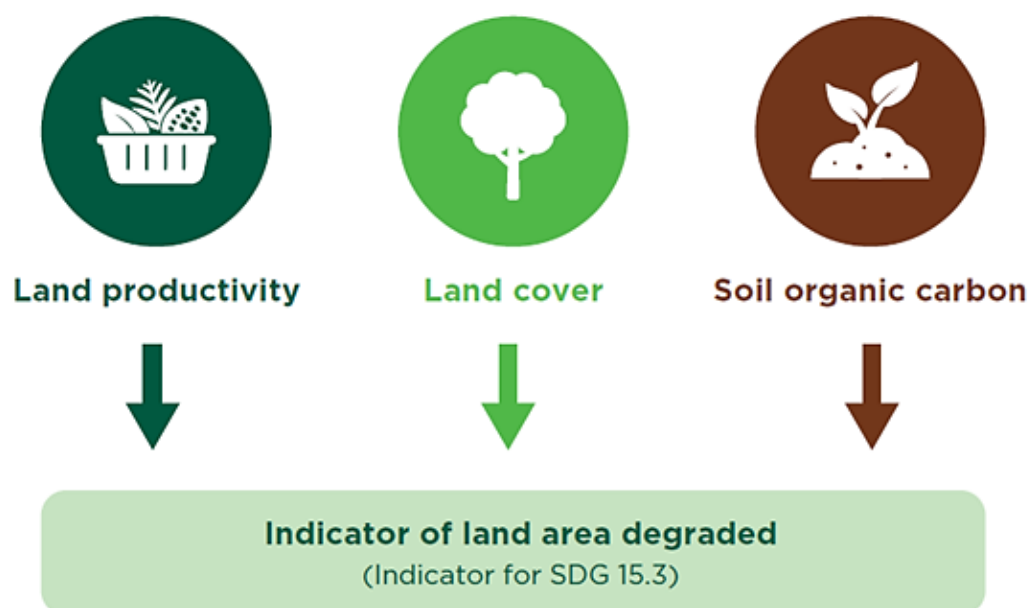
Fonte: Elaboração própria (2019).

A escala de equilíbrio no centro da Figura 14 mostra o mecanismo para alcançar a neutralidade: contrabalançar a degradação (perdas) futuras da terra com ações positivas planejadas em outros lugares (ganhos) dentro do mesmo tipo de terra. O ponto principal da escala representa a hierarquia de respostas: evitar a degradação é a prioridade mais alta, seguido pela redução da degradação e, finalmente, revertendo a degradação passada (UNCCD, 2015; COWIE et al., 2017).

Na parte inferior do diagrama, a seta ilustra que a neutralidade é avaliada pelo monitoramento dos indicadores LDN, em relação a uma linha de base fixa. Ela também mostra que a neutralidade precisa ser mantida ao longo do tempo, por meio do planejamento do uso da terra que antecipa perdas e planeja ganhos e aplica o aprendizado adaptativo, rastreando os impactos para permitir ajustes no meio do curso e garantir que a neutralidade seja mantida no futuro (UNCCD, 2015).

Com o propósito de acompanhar o progresso rumo à LDN, a UNCCD propôs um conjunto de três indicadores biofísicos para monitorar e avaliar o progresso da implementação da Convenção, bem como o avanço rumo à meta 15.3.1 dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (UNCCD, 2013; UNCCD, 2016a; GLII, 2015; MAPBIOMAS, 2018). A Figura 15 apresenta a estrutura com os indicadores biofísicos para o monitoramento e avaliação da LDN:

Figura 15 – Indicadores da UNCCD para avaliar tendências na degradação do solo e alcançar o ODS da LDN



Fonte: UNCCD, 2015.

De acordo com a Figura 15, o conjunto mínimo de indicadores biofísicos para o monitoramento e geração de relatórios sobre o ODS 15.3 e assim avaliar a LDN em relação a uma linha de base são (UNCCD, 2016a; GICHENJE e GODINHO, 2018):

- Cobertura da terra;
- Produtividade da terra (métrica: produtividade primária líquida - npp);
- Estoques de carbono acima e abaixo do solo (métrica: carbono orgânico do solo -

SOC).

Os indicadores mínimos da LDN foram definidos em sinergia com a UNCCD, UNCCD e UNCCCF e são considerados adequados para capturar uma seleção mínima de características da terra que são globalmente comparáveis (KUST, ANDREEVA e COWIE, 2016). Com efeito, a consolidação de tendências negativas no conjunto desses indicadores evidencia o grau de degradação da terra em determinada região. (MAPBIOMAS, 2018).

A cobertura da terra e as mudanças na cobertura da terra fornecem uma primeira indicação da qualidade do solo, a partir de uma redução ou aumento da vegetação, fragmentação de habitat, perda ou degradação e restauração da terra (KUST, ANDREEVA e COWIE, 2016; Mecanismo Global da UNCCD 2016a; EASDALE et al., 2019). Além disso, também servem como indicadores de produtividade (CUNHA et al., 2013; LAMCHIN et al., 2015; BAJOCCHO et al., 2012) e estoque e carbono no solo (ROSS et al., 20015; YANG et al., 2018; SOLEIMANI et al., 2019). Em linhas gerais, a cobertura da terra é um indicativo da dinâmica socioecológica da gestão da terra, logo, é capaz de identificar transições vulneráveis entre classes de cobertura da terra administradas por humanos.

A produtividade da terra aborda a produtividade primária líquida da vegetação (NPP), definida como a diferença entre a fotossíntese da vegetação natural e a respiração autotrófica por unidade de tempo e espaço (LIETH, 1975; BAO et al., 2016). O acúmulo de carbono na vegetação é responsável pela troca de energia e de matéria entre a superfície e a atmosfera na maioria dos ecossistemas terrestres (DALMAGO et al., 2008). Todavia, a transformação da vegetação nativa em áreas cultivadas implica mudanças nas estruturas e funcionalidades dos ecossistemas. Por exemplo, mudanças no uso da terra podem acelerar a erosão e a perda do solo, alterar a microbiota do solo, interferir na dinâmica da matéria orgânica do solo e afetar o fluxo de energia, água e carbono entre a atmosfera e a superfície da terra (CUNHA et al., 2013). Nesse contexto, a NPP é capaz de integrar esses e outros fatores climáticos, ecológicos, geoquímicos e antropogênicos e suas influências no planeta (BAZAME et al., 2019), bem como é diretamente afetada pelo manejo e pela degradação da terra.

Como parâmetro importante do funcionamento do ecossistema e do ciclo do carbono, a NPP é principalmente influenciada por fatores naturais e antropogênicos (YANG, SHAOJIE e LI, 2014). Desse modo, a NPP é creditada como um dos principais indicadores utilizados na investigação e avaliação dos impactos e pressão sobre o ambiente natural de um dado ecossistema (WESSELS et al., 2006; DALMAGO et al., 2008; YANG, SHAOJIE e LI, 2014;

BAZAME et al., 2019). Contudo, BAI et al. (2008) afirmam que uma tendência negativa na NPP não indica necessariamente a degradação da terra, nem uma tendência positiva indica

necessariamente a melhoria da terra. Isso porque a biomassa depende de vários fatores, incluindo o clima, principalmente variações nas chuvas, na insolação e na duração da estação de crescimento; uso da terra; distúrbios do ecossistema em larga escala, como incêndios; e o aumento global da deposição de nitratos e do dióxido de carbono atmosférico (BAI et al., 2008).

O estoque de carbono orgânico do solo (SOC), por sua vez, pode ser um indicador relevante para estimar a qualidade geral do solo (UNCCD, 2015d; UNCCD 2016a; NIJBROEK et al., 2018; CHAPPELL et al., 2019). Esse recurso é importante porque, além de indicativo para monitorar as mudanças na degradação da terra, o SOC também sustenta muitos serviços ecossistêmicos fundamentais para o cumprimento de alguns dos ODS no nível nacional, especialmente aqueles com referência a alimentos, saúde, água, clima e gestão da terra (UNCCD, 2016a).

Ao considerar as escalas sazonais e decadais, os estoques de carbono de sistemas naturais podem sofrer variações rápidas, explicadas em grande parte por mudanças na biomassa da planta. Porém, em escalas temporais mais longas, os estoques de SOC têm variação mais lenta, por isso, tornam-se um indicador mais relevante do funcionamento do sistema, de sua capacidade adaptativa e resiliência a perturbações, como secas e inundações, e, portanto, sua capacidade de fornecer serviços ecossistêmicos de maneira sustentável a longo prazo (UNCCD, 2016a).

Diversos fatores foram propostos para explicar o esgotamento do SOC decorrente da degradação da terra, como, por exemplo, as propriedades do solo, as alterações no microclima do solo, o crescimento, a perturbação ou a remoção da biomassa e a interação entre solo e planta (BALDOCK e SKJEMSTAD, 2000; PODWOJEWSKI et al., 2011; BIANCALANI et al., 2012; MCHUNU e CHAPLOT, 2012).

É importante sublinhar que, atualmente, não há evidência quantitativa entre o estoque do SOC e o nível de serviços ecossistêmicos atribuíveis a ele (UNCCD, 2015). Além disso, dados básicos do solo e dos sistemas de monitoramento, incluindo os do estoque de SOC e suas mudanças, não estão disponíveis para muitas regiões e nações. Portanto, essa incerteza afeta a adequação do uso do estoque do SOC como indicador absoluto para monitorar as mudanças na degradação da terra e, particularmente, em relação à estrutura de monitoramento dos ODS (JONES e FALLOON, 2009; BIANCALANI et al., 2012; UNCCD, 2016a).

Os indicadores biofísicos propostos pela UNCCD para avaliar a LDN podem servir como plataforma operacional para harmonizar o sistema de indicadores em diferentes países e podem ser aprimorados e complementados por outros indicadores nacionais (ou subnacionais) relevantes, a fim de obter uma imagem ainda mais precisa do status atual e do progresso

alcançado (Mecanismo Global da UNCCD 2016a; IAEG-SDGs 2016). Isso porque os fatores determinantes da degradação do solo são processos socioecológicos altamente complexos, que ocorrem em múltiplas escalas, tanto no espaço como no tempo.

Nesse sentido, há um debate na literatura científica acerca da adequação dos indicadores propostos para o monitoramento da LDM. Por exemplo, SOMMER et al. (2011) e WANTZEN e MOL (2013) ressaltam que um único conjunto de escalas não pode ser eficiente e preciso para a avaliação da degradação da terra em diferentes locais do planeta. Consequentemente, dada a complexidade da degradação da terra e a variedade de capacidades dos países, o *Land Degradation Neutrality Target Setting Programme* (Programa de Definição de Metas de Neutralidade da Degradação da Terra - LDN TSP) permite adaptações locais desses indicadores e incentiva o uso de indicadores adicionais que sejam relevantes no contexto (SOMMER et al. 2011, LDN-MN 2015).

Ademais, o Guia Técnico da UNCCD (2016) também recomenda diferentes conjuntos de dados em camadas para o desenvolvimento de linhas de base para o monitoramento da LDN: (i) o nível 1, que inclui dados globais e regionais (ou seja, sistemas de observação da Terra); (ii) o nível 2, que se refere a dados de estatísticas nacionais ou sistemas nacionais de observação da terra; e (iii) o nível 3, são dados primários de pesquisas de campo e medições no solo (UNCCD, 2016).

Como exposto, para alcançar o ODS 15.3 e garantir a LDN em sinergia com os serviços ecossistêmicos e outros Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, é necessário clareza na definição de indicadores biofísicos para acompanhar o monitoramento da qualidade do solo e degradação da terra, considerando a complexidade de escalas (espaciais e temporais) e a multiplicidade de processos socioecológicos que atuam no sistema terrestre.

3.2.3 Incertezas e desafios na implementação da LDN

A iniciativa LDN ainda é recente e, mesmo com a adesão de grande número de países ao programa da UNCCD, com o objetivo de combater a desertificação e restaurar a terra e o solo degradados, a implementação dessa medida suscita muitas discussões diante das lacunas nos conhecimentos existentes.

Com base na revisão da literatura sobre a implementação da meta de LDN em diversas regiões do planeta, a Tabela 14 a seguir apresenta as principais incertezas e desafios identificados nos artigos de referência.

Tabela 14 – As principais incertezas e desafios identificados nos artigos sobre LDN (1997-2019)

Incerteza/Desafios	Autor(es)/Ano
Necessidade de metodologia adaptada às realidades regionais para definir a linha de base da LDN (diferentes causas e tendências de degradação das terras, características naturais e socioeconômicas do território);	UNCCD (2012, 2014a); CASPARI et al. (2015); CHASEK et al. (2015); GRAINGER (2015); STAVI & LAL (2015); KUST et al. (2018)
Consideração das particularidades ambientais, econômicas, sociais, políticas e culturais, além da diversidade de fatores determinantes e processos de degradação das terras, entre os países, que precisam ser consideradas na formulação das metas da LDN;	O'CONNELL et al. (2013); FAO (2011); NKONYA et al. (2015); KUST et al. (2018)
Integração equilibrada entre prevenção e reversão da degradação (abordagem ecossistêmica): (i) tratar a degradação das terras atuais e futuras evitando/prevenindo/minimizando os processos de degradação da terra; e (ii) reverter a degradação passada da terra;	ARONSON & ALEXANDER (2013); GIROT et al. (2013); UNCCD (2014b, 2014c); CHASEK et al. (2015); COWIE et al. (2018)
Limites na mensuração da degradação quanto à quantidade e qualidade das terras disponíveis: severidade da degradação e área da terra envolvida;	UNCCD (2012, 2014 ^a); CCI da CE (2014); SOLOMUN et al. (2018)
Falta de consenso sobre as escalas ideais de aplicação e monitoramento do status e tendências da LDN;	NKONYA et al. (2015); CROSSLAND et al. (2018); SOLOMUN et al. (2018)
Dificuldade na medição de grandes áreas devido a necessidade de assistência técnica e pesquisa científica, especialmente em países mais pobres;	GRAINGER (2015); COWIE et al. (2018)
Definição e padronização dos indicadores nacionais da LDN;	KUST et al. (2018); DALLIMER & STRINGER (2018)
Necessidade de indicadores simples, comparáveis e fundamentados em princípios comuns;	O'CONNELL et al. (2013); CASPARI et al. (2015); CHASEK et al. (2015); GRAINGER, 2015; TAL (2015); STAVI e LAL (2015);
Integração da LDN com biodiversidade, clima (mudanças climáticas), pobreza e segurança alimentar	KUST Et al. (2018); ARONSON E ALEXANDER, 2013; LIU et al., 2013; IPCC, 2014; REID, 2015); OKPARA et al., 2108;
Gestão de <i>trade-offs</i> e sinergias entre diferentes usos da terra para múltiplos benefícios;	LIU et al. (2013); EC JRC (2014)
Aplicação da abordagem socioecológica (SES) na implementação: seres humanos como parte da natureza na busca da LDN;	OKPARA et al. (2108);
Criação de políticas nacionais e parcerias entre Estado (governança nacional e local) e comunidade científica;	KUST et al. (2018); CROSSLAND et al. (2018)
Envolvimento e comprometimento efetivo de todas as partes interessadas;	UNCCD (2012, 2014 ^a); GRAINGER, 2015; GICHENJE, MUÑOZ-ROJAS & PINTO-CORREIA (2019)

Custos elevados de implementação, avaliação e monitoramento da LDN.	DALLIMER & STRINGER (2018); DARADUR et al. (2018); CHASEK et al. (2019) CHASEK et al. (2019); GICHENJE, MUÑOZ-ROJAS e PINTO-CORREIA, (2019)
---	--

Fonte: o Autor (2019).

Nota-se que o primeiro desafio operacional e técnico relevante para a implementação da LDN é a necessidade de uma linha base para avaliar e monitorar a direção de qualquer mudança no estado de degradação da terra (AKHTAR-SCHUSTER et al., 2017; GRAINGER, 2014; CASPARI et al., 2015; KUST et al., 2018). Segundo COWIE et al., (2018), a linha de base refere-se ao valor inicial de cada um dos indicadores usados para monitorar o LDN, no início da implementação da política, cujos valores deverão ser comparados com os valores medidos na data prevista para determinar a mudança no capital natural terrestre (como exemplo o período 2015-2030, segundo a Agenda 2030) (ORR et al., 2017; GICHENJE e GODINHO, 2018; KUST et al., 2018).

Neste sentido, a linha de base, no contexto da LDN, representa o quadro de referência sobre o qual a neutralidade deve ser avaliada em dimensões temporais e espaciais (OKPARA et al., 2018). Em consideração a esse desafio, GRAINGER (2015) destaca que a primeira prioridade, para cada país participante de um esquema de LDN, deve ser o estabelecimento de uma linha de base nacional robusta para a extensão atual das terras degradadas e sua taxa de mudança. Para além disso, cada país precisará identificar quanto de sua linha de base será possível restaurar.

Inúmeros desafios podem ser apontados quanto à definição da linha de base em nível nacional. Para KUST et al. (2017), ao pesquisar sobre a implementação da LDN na Rússia, estabelecer uma linha de base LDN envolve incertezas na definição de um período de tempo combinado e extensão espacial. Os autores apontam a diversidade de condições naturais e socioeconômicas, assim como a diversidade de fatores determinantes e processos de degradação do solo, como as principais dificuldades para implementar a LDN no território russo. Nesse sentido, outros autores também destacam que as particularidades ambientais, sociais, econômicas, políticas e culturais de cada país devem ser consideradas na consecução dos objetivos LDN (GRAINGER, 2015; NKONYA et al., 2015; KUST et al., 2018).

De certo, avaliar a condição da terra constitui o primeiro passo para promover o progresso rumo à LDN (SOLOMUN et al., 2018). Conforme já mencionado, tal conceito expressa o claro desejo de reduzir a degradação da terra e aumentar a taxa de restauração de

terras degradadas, mantendo assim o equilíbrio entre as terras ainda não degradadas e as terras já degradadas (GRAINGER, 2015; KUST, ANDREEVA e COWIE, 2017). A essência da LDN é, portanto, a necessidade de garantir que a taxa de restauração e reabilitação de terras degradadas deve corresponder, pelo menos e idealmente, não exceder a taxa de degradação contínua da terra sob uso degradante (AKHTAR-SCHUSTER et al., 2017).

A implementação de medidas específicas para o alcance da LDN requer uma abordagem baseada no ecossistema terrestre com duas vias de ação: (i) tratar a degradação das terras atuais e futuras, no sentido de evitar/prevenir/minimizar os processos de degradação desse recurso; (ii) reparar as terras que sofreram degradação no passado (ARONSON E ALEXANDER, 2013; KUST E ANDREVA, 2014; UNCCD, 2014b, 2014c; REID, 2015).

Com relação às terras em processo ou risco de degradação futura, torna-se necessária a incorporação de práticas sustentáveis de gestão da terra e o uso de medidas proativas, como regulação e planejamento, a fim de evitar o contínuo processo de degradação; em terras já degradadas são necessárias intervenções para reverter a degradação por meio de restauração ou reabilitação, que auxiliam ativamente na recuperação das funções do ecossistema (CHASEK et al., 2015; COWIE et al., 2018). Com efeito, esse sequenciamento de ações é definido como a hierarquia de resposta LDN (COWIE et al., 2018).

A degradação da terra não é um estado estático, mas sim um *continuum*, logo, é necessário o monitoramento das taxas, causas e efeitos da degradação, com atualizações sequenciais feitas continuamente (STAVI e LAL, 2015). A LDN, nesse contexto, requer capacidade conceitual e técnica para distinguir entre terras já degradadas, mas estáveis, e terras em atividade, com trajetória de degradação (AKHTAR-SCHUSTER et al., 2017). Este aspecto é particularmente importante porque moldará as prioridades necessárias para ações concretas rumo ao progresso em direção a esse objetivo (AKHTAR-SCHUSTER et al., 2017).

A avaliação da LDN deve considerar ainda duas diferenças nas mensurações: mudanças na quantidade e qualidade da terra disponível, isto é, a severidade da degradação, bem como a extensão da área da terra envolvida (UNCCD, 2012, 2014a; CCI da CE, 2014). Nesse sentido, a escolha das escalas espaciais de operação nas quais aplicar a meta da LDN e depois monitorar e avaliar o status e as tendências da degradação nessas escalas constitui um grande desafio (NKONYA et al., 2015; CROSSLAND et al., 2018; SOLOMUN et al., 2018). O monitoramento e a avaliação adequados da degradação da terra são fundamentais não somente para avaliar as perdas atribuíveis a essa degradação, mas também para desenvolver práticas e políticas destinadas ao planejamento e monitoramento de esforços para alcançar a LDN (AKHTAR-SCHUSTER et al., 2017).

Atualmente, existem dificuldades que tornam imprecisas as medições de grandes áreas terrestres, o que compromete diversos indicadores e modelos de avaliação global da degradação da terra (CASPARI et al., 2015). Para alcançar resultados mais precisos, os indicadores de avaliação e monitoramento das terras degradadas, em cada um de seus atributos, devem ser mensurados regularmente em grandes áreas do planeta (GRAINGER, 2015).

Surge, nesse aspecto, outro desafio indicado pelo autor, que se refere à necessidade de assistência técnica, vinculada à pesquisa científica de última geração para monitorar as mudanças nas taxas de extensão da desertificação e de restauração da terra, usando um conjunto coerente de indicadores (o sensoriamento remoto é ideal para medir fenômenos em grandes áreas). Como a maioria dos países atualmente possui capacidade limitada para monitorar mudanças em seus recursos de terras secas, construir essa capacidade do zero será outro desafio (GRAINGER, 2015).

Embora seja dada ênfase ao conjunto de indicadores biofísicos globais para monitorar a LDN, a UNCCD incentiva o uso de indicadores complementares para contextos específicos de cada país em nível nacional ou regional (DALLIMER e STRINGER, 2018; KUST et al., 2018). Isso porque ao considerar apenas os indicadores principais da LDN, muitos processos e áreas de degradação da terra podem ser completamente perdidos ou subestimados (KUST et al., 2018). A seleção e uso do conjunto de indicadores nacionais a serem medidos devem considerar sua capacidade de avaliar o estado atual da terra e a tendência de alcançar o objetivo em questão (CASPARI et al., 2015; KUST et al., 2018). Nesse contexto, os indicadores da LDN precisam ser facilmente monitorados (CASPARI et al., 2015; CHASEK et al., 2015; GRAINGER, 2015; TAL, 2015; STAVI e LAL, 2015) e fundamentados em princípios articulados (O'CONNELL et al., 2013).

Para alcançar a neutralidade da degradação da terra é necessário considerar os vínculos estabelecidos da degradação da terra com a biodiversidade e as mudanças climáticas, além das questões relacionadas com a segurança alimentar e erradicação da pobreza (MEA, 2005; ARONSON e ALEXANDER, 2013; LIU et al., 2013; HERRICK, SALA e KARL, 2013; LI et al., 2014; REID, 2015; WEEB et al., 2017; IPCC, 2019; GUPTA, 2019; GICHENJE e SERGIO, 2019). Isso porque a degradação da terra envolve dois sistemas complexos interligados: o ecossistema natural e o sistema social. Ambas as mudanças no ecossistema natural biofísico, como as mudanças climáticas, e nas condições socioeconômicas afetarão os processos de degradação da terra (MEA, 2005; LI et al., 2015; IPCC, 2019). Do mesmo modo, a degradação da terra tem impactos adversos no meio ambiente, como a perda da biodiversidade e interferência nas mudanças climáticas, e na sociedade, ao levar ao declínio temporário ou

permanente da produtividade da terra (GUPTA et al, 2019), comprometendo assim a produção de alimentos e a segurança alimentar, sobretudo da população mais pobre e dependente dos recursos terrestres. Em suma, os efeitos combinados da degradação da terra, mudanças climáticas, escassez de água e perdas de terras agrícolas podem causar escassez de alimentos na faixa de 5% a 25% até 2050 (BARILLA CENTER FOR FOOD NUTRITION, 2009).

Até o momento, as perspectivas sobre a LDN foram desenvolvidas principalmente sob a ótica da UNCCD, que tem se mostrado ineficiente para articular claramente as variáveis dos sistemas terrestres e sistemas da natureza humana (SAFRIEL, 2017). Por outro lado, estudos recentes mostraram também que a implementação da LDN reconhece os diferentes usos da terra e considera várias abordagens e metodologias para atingir essa meta (KUST et al., 2016; CHASEK et al., 2018; OKPARA et al., 2108; DALLIMER e STRINGER, 2018; COWIE et al., 2019; GICHENJE e GODINH, 2019), no sentido de negociar *trade-offs* e tirar proveito de sinergias na gestão desses recursos para múltiplos benefícios (LIU et al., 2013; EC JRC, 2014).

Considerando essa necessidade de abordagens integradas, OKPARA et al. (2108) sugerem um novo tipo de abordagem para alcançar a neutralidade da degradação da terra baseada na perspectiva dos sistemas socioecológicos (SES) (OKPARA et al., 2108). Um sistema socioecológico (também conhecido como sistema humano-ambiente associado) pode ser entendido como um sistema adaptativo complexo no qual as sociedades dependem dos recursos e serviços fornecidos pelos ecossistemas, e a dinâmica dos ecossistemas é influenciada, em graus variados, pelas atividades humanas (CHAPIN et al., 2009).

Assim, no contexto da LDN, a abordagem de sistemas socioecológicos propicia o entendimento de que a gestão sustentável das terras (SLM) reside na condição e operação integrada de sistemas humanos e sistemas ecológicos, incluindo as capacidades de resposta e *feedbacks* (sociais e ecológicos em escala variável e em diferentes escalas de tempo) do sistema de restauração e intervenções de reabilitação (VERBURG et al., 2015).

A abordagem SES integrada ao contexto da LDN caracteriza-se por quatro perspectivas inter-relacionadas: (i) visão sistêmica do mundo, que incorpora diversas visões, sistemas de valores e fontes de conhecimento (experimental ou científico) em mutiescalas de redes nos contextos socioeconômicos e políticos abrangentes e nos ecossistemas relacionados (BERKES et al., 2003); (ii) abordagem transdisciplinar, no sentido de buscar sinergias e integrar as múltiplas visões da ciência e da sociedade para apoiar os mecanismos da LDN (OKPARA et al., 2108); (iii) sistema de governança adaptativa, que busca equilibrar a dinâmica de poder entre os agentes sociais interconectados de gestão da terra (FOLKE et al., 2005, apud OKPARA et al., 2108), no sentido de projetar etapas proativas para impedir a degradação da terra

(OLSSON et al., 2004, apud OKPARA et al., 2108); e (iv) conceber os seres humanos como parte da natureza na busca da LDN (OKPARA et al., 2108).

De acordo com OKPARA et al. (2018), a abordagem LDN baseada no sistema socioecológico tem como aspecto relevante colocar as “pessoas como parte da natureza” e, assim, romper com a visão tradicional de “pessoas e natureza”. Essa mudança de perspectiva reconhece que a existência dos seres humanos depende da natureza e essa natureza é uma mercadoria na qual os seres humanos são partes interessadas (FOLKE, 2006 apud OKPARA et al., 2018).

No entanto, os autores avaliam que, atualmente, os defensores da LDN em diferentes níveis de governança não consideram rotineiramente “os seres humanos como parte da natureza”, o que dificulta o progresso das ações voltadas ao alcance desse objetivo. Ao tratar “os seres humanos como parte da natureza”, a abordagem LDN baseada no SES reconhece que o planejamento ou gerenciamento do uso da terra resulta de vários processos de decisão e escolhas humanas, e que os caminhos socioecológicos e *feedbacks* são moldados por cognições ambientais humanas, através de percepções, interpretação e avaliação de sinais ambientais e a constatação de que os recursos da terra são finitos. (MEYFROIDT, 2013, apud OKPARA et al., 2108). Assim, com foco nas pessoas, pode haver uma mudança em seus valores ou crenças, o que pode modificar o comportamento humano e a percepção sobre os sistemas terrestres.

Além das questões já discutidas, outro grande desafio que dificulta a implementação da LDN em muitos países refere-se à atuação dos agentes de governança pública em âmbito nacional (AYNEKULU et al., 2017; KUST et al., 2018; CHASEK et al., 2019). A LDN é um alvo bastante flexível, que pode ser executado em escalas nacionais, regionais ou locais (KUST et al., 2018), mas sua implementação provém de uma base política legal e de procedimentos políticos sólidos, papel atribuído à liderança governamental (CHASEK et al., 2019).

Nesse sentido, alguns estudos avaliaram se as leis e políticas existentes em nível nacional, em diversos países, são adequadas para a implementação da LDN. A partir daí puderam ser identificadas as incertezas e os desafios que dificultam o progresso em direção a essa meta nos países pesquisados. KUST et al. (2018) apontam como principal desafio para implementar a LDN na Rússia a inconsistência entre as abordagens da legislação nacional e a base legal da UNCCD, aliada ao pouco conhecimento da maioria dos políticos e até da comunidade científica sobre esse conceito.

Especificamente sobre as barreiras legais e conceituais na Rússia, os autores identificam a inexistência dos termos "serviços ecossistêmicos" e "recursos naturais" na legislação do país, além da baixa compatibilidade entre os termos "terra" e "degradação da terra" no quadro político

nacional com o referencial da UNCCD. Como resultado, os autores avaliam que essa inconsistência na base legal dos termos que fundamentam a LDN incide sobre a avaliação de seus indicadores globais, que não podem ser usados diretamente no país devido à falta de validação dos dados nacionais e à capacidade limitada do sistema nacional de monitoramento da terra. Todavia, os indicadores globais da LDN podem ser adicionados ao sistema nacional de monitoramento da terra e incluídas nas estatísticas nacionais (KUST et al., 2018).

SOLOMUN et al. (2018) destacam que a escassez de dados nacionais sobre o estado da terra e o desinteresse político do governo em tratar a LDN como prioridade dificulta o processo de definição de metas para alcançar esse objetivo na República de Srpska, Bósnia e Herzegovina. Os autores avaliam que a inconsistência na implementação de obrigações legais no país em relação ao recurso terrestre é a barreira mais importante para a operacionalização da LDN do que a ausência de leis de proteção da terra.

No Quênia, os estudos de GICHENJE, MUÑOZ-ROJAS e PINTO-CORREIA (2019) mostraram que existe uma plataforma legal sólida para abordar a LDN, nos níveis institucional e de governança, o que inclui medidas legais e planos de ação específicos para alcançar esse objetivo até 2030. Todavia, a principal falha é a abordagem desarticulada sobre a gestão e proteção da terra, que se encontra espalhada pelas instituições e áreas políticas do país (GICHENJE, MUÑOZ-ROJAS e PINTO-CORREIA, 2019).

SHAKER et al. (2018) avaliaram que o engajamento da liderança governamental e das partes interessadas é o principal desafio para alavancar a LDN na Moldávia. Os autores destacam que foi assegurada a participação do governo no estabelecimento da agenda nacional de LDN e na criação do Grupo Nacional de Trabalho para LDN (GT LDN) no país; entretanto, a colaboração no nível institucional (nacional e local) permanece fraca. Existe a necessidade de criar uma estrutura colaborativa e sinérgica entre as instituições envolvidas ou responsáveis pela troca de informações LDN no país, com acesso e troca de dados entre elas.

SPERANZA, ADENLE e BOILLAT (2019) afirmam que, na Nigéria, as leis e políticas nacionais propícias à implementação da LDN são vagas, fragmentadas e apresentam muitas lacunas. Isso ocorre devido à falta de dados e de conhecimentos adequados para o monitoramento da terra, além da ausência de uma coordenação nacional, o que resulta na falta de linhas de base nacionais para a LDN. Para os autores, o poder limitado da agência ambiental nacional e a falta de políticas para mudar essa situação compõem os maiores desafios para o alcance dessa meta no país.

Diversos outros desafios relacionados ao papel da governança pública na operacionalização da LDN ainda podem ser citados. Como exemplo, temos as mudanças

frequentes na legislação e nas estruturas institucionais em nível nacional, ou os atrasos na elaboração de legislação específica para combater a degradação da terra (CHASEK et al., 2019).

De acordo com CHASEK et al. (2015), para implementar efetivamente a LDN é necessária uma maior colaboração e cooperação governamental sob a responsabilidade de diferentes agências governamentais, a fim de: (i) reunir a base de conhecimento fragmentada em diversas áreas das ciências (solo, hidrologia, meteorologia, agricultura, manejo de pastagens, dentre outros) e do senso comum (conhecimento indígena e da população local); (ii) incorporar a contribuição de todas as partes relevantes interessadas; (iii) integrar ações entre ciência e política; e (iv) implementar atividades coordenadas em nível nacional em interação com a comunidade local e os níveis internacionais. Para o autor, a LDN não pode ser efetivamente implementada em países que não possuem uma agência principal em nível nacional que coordena o planejamento do uso integrado da terra.

Em consideração ao exposto, torna-se evidente a relevância da governança pública na definição de políticas destinadas a promover o uso sustentável da terra e combater seus processos de degradação. Os governos nacionais devem considerar a LDN como prioridade e, assim, acomodar permanentemente esse objetivo na definição da agenda nacional, criando um ambiente político favorável à sua efetivação (AYNEKULU et al., 2017; KUST et al., 2018; SHAKER et al., 2018; CHASEK et al., 2019).

Embora os governos nacionais tenham um papel relevante na formulação de leis, princípios e mecanismos para implementar a LDN (KUST et al., 2018; SHAKER et al., 2018; CHASEK et al., 2019), bem como monitorar e avaliar o processo para alcançar tal objetivo, o envolvimento de uma ampla gama de partes interessadas será essencial para o sucesso dessa iniciativa. Isso porque a LDN requer um ambiente favorável para sua implementação no qual todas as partes interessadas devem participar e aceitar responsabilidades e compromissos voluntários, incluindo mudanças na legislação (UNCCD, 2012, 2014a; GRAINGER, 2015).

Os fatores comuns de degradação da terra são a população e o crescimento da economia (SOLOMUN et al., 2018), por isso, as medidas para alcançar a LDN devem ser integradas aos processos de planejamento e tomada de decisão sobre o uso da terra e implementadas no domínio administrativo (COWIE et al., 2018; SOLOMUN et al., 2018). Assim, a implementação da LDN em âmbito nacional ou local deve incluir não apenas representantes da governança nacional e cientistas, mas também autoridades locais, proprietários e usuários da terra e outras partes interessadas nos processos de planejamento (UNCCD 2014-2015; KUST et al., 2018; GICHENJE, MUÑOZ-ROJAS e PINTO-CORREIA, 2019).

A neutralidade da degradação da terra implica custos de implementação, avaliação e

monitoramento de sua eficácia (DALLIMER e STRINGER, 2018). Trabalhos recentes (DALLIMER e STRINGER, 2018; SHAKER et al., 2018; GICHENJE, MUÑOZ-ROJAS e PINTO-CORREIA, 2019; CHASEK et al., 2019) discutiram os custos relacionados à implementação da LDN em diversos países. Um dos desafios que se impõem à abordagem eficaz da LDN refere-se à falta ou à limitação de recursos financeiros (DARADUR et al., 2018). Mesmo havendo financiamentos disponíveis, os recursos financeiros podem não ser suficientes para que as políticas da LDN sejam efetivamente implementadas nos países que se comprometeram com essa meta (CHASEK et al., 2019).

Segundo CHASEK et al. (2019), os mecanismos financeiros da UNCCD (*Global Mechanism e Global Environment Facility*) não mobilizaram recursos suficientes para implementar a meta, o que obriga os países a buscar estratégias para atrair fontes inovadoras de financiamento, como doações, impostos ou incentivos público-privados, entre outras. O autor destaca ainda, como uma dessas fontes, o Fundo LDN (*Land Degradation Neutrality Fund*), que reúne capital de fontes públicas e privadas para apoiar a LDN. Muitos governos nacionais também não se comprometeram totalmente com a iniciativa LDN, não destinando financiamento necessário nos orçamentos nacionais para que a meta seja alcançada no prazo estabelecido pela UNCCD (GICHENJE, MUÑOZ-ROJAS e PINTO-CORREIA, 2019). Nesse cenário de recursos financeiros internos limitados, o progresso rumo à restauração e reabilitação das terras degradadas torna-se dependente de instituições públicas nacionais e internacionais e das prioridades dos doadores estrangeiros (CHASEK et al., 2019). Para a implementação efetiva da estrutura conceitual da LDN, os esforços de planejamento devem ser adequadamente integrados no processo orçamentário nacional (CHASEK et al., 2019).

3.2.4 Indicadores institucionais de monitoramento da LDD

A consolidação dos indicadores de monitoramento da LDN representa um dos avanços mais expressivos das políticas ambientais globais nas últimas décadas. No âmbito das Nações Unidas, a UNCCD definiu três indicadores biofísicos centrais para mensurar o progresso da meta 15.3 dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS): (i) mudança na cobertura vegetal, com base em índices espectrais como o NDVI; (ii) estoque de carbono orgânico do solo (SOC); e (iii) mudança no uso e cobertura da terra (*LULC – Land Use and Land Cover*). Esses indicadores são considerados parâmetros universais, capazes de refletir as tendências de degradação e de recuperação das terras em escala global (UNCCD, 2015).

Desde o início da década de 1990, instituições internacionais têm buscado aperfeiçoar

as métricas de avaliação da degradação. O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP, 1992) e a *World Meteorological Organization* (WMO, 2005) foram pioneiros na aplicação do Índice de Aridez (P/ETP), que relaciona a precipitação anual com a evapotranspiração potencial. Esse indicador tornou-se um dos principais referenciais climáticos para delimitar regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas — as áreas mais vulneráveis à desertificação.

Complementarmente, a Agência Espacial Europeia (ESA, 2018) consolidou o uso combinado de índices biofísicos e modelos de sensibilidade ambiental, como o MEDALUS e o ESAI, desenvolvidos por KOSMAS et al. (1999) e aperfeiçoados por SALVATI et al. (2014). Esses modelos avaliam a interação entre quatro componentes: clima, solo, vegetação e pressão antrópica, permitindo classificar áreas segundo diferentes níveis de vulnerabilidade à degradação. O enfoque metodológico da ESA se tornou uma referência mundial, por oferecer uma base comparativa robusta para estudos regionais, especialmente em países mediterrâneos e africanos.

A partir dessas referências globais, vários países vêm adaptando os indicadores às suas realidades ambientais e institucionais. No caso do Brasil, observa-se uma adoção gradual dos parâmetros definidos pela UNCCD, com destaque para iniciativas conduzidas por órgãos governamentais e redes de pesquisa. O Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE, 2016), em cooperação com o Ministério do Meio Ambiente (MMA), publicou o Relatório Nacional sobre Degradação da Terra, que introduziu metodologias baseadas em indicadores de vegetação (NDVI), balanço hídrico e cobertura do solo. O MAPBIOMAS (2019), por sua vez, ampliou o monitoramento temporal da cobertura e uso da terra por meio de sensoriamento remoto, tornando-se uma das bases mais detalhadas sobre as dinâmicas de conversão de paisagens no território nacional.

Outro destaque é o papel da EMBRAPA, que vem integrando o NDVI e o balanço hídrico-climatológico na análise de vulnerabilidade do semiárido, utilizando métodos derivados do modelo THORNTHWAITE (1955). Esses esforços nacionais representam tentativas consistentes de convergência metodológica entre os sistemas nacionais de monitoramento e as plataformas globais da UNCCD e da FAO-LADA (2018), reforçando o princípio de comparabilidade internacional.

Apesar desses avanços, ainda persistem desafios relacionados à padronização e interoperabilidade dos dados. As diferentes escalas espaciais e temporais, bem como a diversidade de fontes de informação, dificultam a construção de séries históricas contínuas. Como observa REED et al. (2011), a efetividade dos indicadores depende de sua integração

com contextos locais e de mecanismos institucionais de governança que assegurem o uso consistente dos dados.

Em síntese, a análise dos resultados evidencia que a LDN evolui como um conceito científico e político de natureza multidimensional, que articula indicadores biofísicos e metodologias institucionais em escala global e nacional (Tabela 15). A triangulação entre os resultados bibliométricos e a revisão teórica revelou lacunas significativas na integração entre ciência e políticas públicas, especialmente na América Latina. No entanto, o fortalecimento de iniciativas nacionais, como as conduzidas pelo MMA e pelo MapBiomias, indica avanços promissores em direção a um sistema de monitoramento mais coerente e territorialmente adaptado. Assim, a LDN consolida-se não apenas como uma meta ambiental, mas também como uma estratégia de governança que une produção científica, gestão pública e compromisso internacional com a sustentabilidade das terras

Tabela 15 – Lacunas e desafios identificados na implementação da LDN

Dimensão	Lacunas identificadas	Desafios para superação
Conceitual	Ambiguidade entre LDD e LDN; indefinição de escalas espaciais e temporais.	Harmonizar conceitos e padronizar definições operacionais.
Metodológica	Falta de integração entre indicadores biofísicos e socioeconômicos.	Desenvolver metodologias híbridas e multiescalares (NDVI, SOC, LULC, P/ETP).
Institucional	Fragmentação de dados nacionais e ausência de sistemas unificados.	Fortalecer redes de monitoramento (UNCCD, FAO, MMA, MapBiomias).
Política e Regional	Débil articulação entre ciência e políticas públicas.	Ampliar sinergias entre acordos internacionais e planos nacionais (PNE, PNPD).

Fonte: Elaboração própria (2019).

A integração entre esses desafios e os resultados científicos reforça a necessidade de alinhar a produção acadêmica aos marcos institucionais e às políticas de governança global. Tal alinhamento é fundamental para aprimorar o monitoramento da degradação da terra e avançar na implementação efetiva da meta 15.3 dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

3.2.5 Situação do Brasil na implementação da LDN

No contexto latino-americano, o Brasil ocupa uma posição singular na agenda de combate à degradação da terra e à desertificação. Embora o país tenha aderido formalmente à

Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação, em 1997, a implementação efetiva das políticas e metas associadas à Neutralidade da Degradação da Terra (LDN) ocorreu de forma mais lenta e fragmentada em comparação a outras nações signatárias.

Os principais órgãos governamentais envolvidos na temática incluem o Ministério do Meio Ambiente (MMA), a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) e a plataforma MAPBIOMAS, que vêm desenvolvendo iniciativas de monitoramento ambiental com foco em áreas suscetíveis à desertificação (ASD). Entre os projetos institucionais de destaque, figuram o Projeto de Mapeamento da Degradação da Terra no Semiárido Brasileiro (MMA/CGEE, 2016) e o Relatório Nacional Voluntário de Neutralidade da Degradação da Terra – Brasil (2018), ambos alinhados à meta 15.3 dos ODS.

Esses programas incorporam indicadores biofísicos validados internacionalmente, como o NDVI, o SOC e o Índice de Aridez (P/ETP), além de metodologias adaptadas às especificidades climáticas e territoriais do Semiárido Nordeste. O MAPBIOMAS (2019), em parceria com o INPE e o CGEE, destaca-se por empregar séries temporais de sensoriamento remoto para avaliar mudanças de uso e cobertura da terra, subsidiando diagnósticos espaciais sobre degradação e desertificação.

Entretanto, a literatura especializada aponta entraves estruturais e institucionais que dificultam a plena implementação da LDN no país. De acordo com SÁ et al. (2000), SOARES (2016) e COSTA (2019), as principais limitações residem na ausência de uma linha de base nacional consolidada, na fragmentação dos bancos de dados geoespaciais e na escassez de integração interinstitucional entre políticas setoriais de meio ambiente, agricultura e recursos hídricos. Além disso, a falta de uniformidade metodológica entre os estados e regiões dificulta a mensuração comparativa da degradação, restringindo a capacidade de acompanhamento dos progressos rumo à neutralidade.

Apesar desses desafios, observa-se um movimento gradual de integração entre as dimensões científica e política do monitoramento da degradação de terras. A atuação conjunta de órgãos técnicos (CGEE, EMBRAPA, INPE) e agências governamentais (MMA, ANA) vem promovendo avanços na regionalização dos indicadores globais, adaptando-os à realidade climática do Nordeste e ao mosaico de biomas brasileiros. Tais esforços estão em consonância com as diretrizes da FAO (2018), da UNCCD (2015) e dos programas internacionais LADA e WOCAT, que recomendam o uso combinado de indicadores biofísicos, socioeconômicos e de governança na avaliação da LDD.

Em síntese, o Brasil avança de maneira gradual e ainda desigual na implementação da

meta 15.3, com resultados mais expressivos nas regiões onde há maior densidade de pesquisas e de instituições atuantes, especialmente no Semiárido Nordeste. A consolidação de um sistema nacional de monitoramento da LDN requer o fortalecimento da governança ambiental, a ampliação das bases de dados integradas e a adoção de metodologias compatíveis com os padrões internacionais, garantindo comparabilidade e transparência nos relatórios submetidos à UNCCD.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Neutralidade da Degradação da Terra (LDN) surge como um novo paradigma de gestão sustentável do uso e ocupação das terras, voltado para combater a degradação e a desertificação, refletindo diretamente as aspirações do conjunto dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), definidos na Agenda 2030 da ONU. Essa iniciativa constitui um marco global de enfrentamento dos processos de degradação, ao propor o equilíbrio entre o uso produtivo da terra e a conservação dos ecossistemas, em consonância com a meta 15.3, que busca “combater a desertificação, restaurar a terra e o solo degradado e lutar para alcançar um mundo neutro em termos de degradação do solo até 2030”.

Entretanto, a implementação efetiva da LDN nas áreas secas de muitos países, bem como o monitoramento de sua eficácia, esbarra em lacunas conceituais, incertezas metodológicas e desafios institucionais que ainda precisam ser urgentemente superados para que a meta possa ser alcançada de modo concreto e mensurável. A definição de LDN estabelecida pela UNCCD, embora ofereça bases conceituais e instrumentos operacionais, revelou-se incompleta e de difícil uniformização, o que exige da comunidade científica o esforço de descompactar e clarificar os conceitos e indicadores associados à iniciativa. Essa imprecisão, embora problemática, também pode abrir espaço para flexibilidade adaptativa, permitindo que cada país negocie escalas espaciais e temporais de implementação adequadas às suas realidades socioambientais, institucionais e econômicas.

Apesar dessa incompletude conceitual, a abordagem da LDN proposta pela UNCCD oferece oportunidades para a construção de sinergias entre políticas ambientais e climáticas sob as três Convenções do Rio (UNCCD, UNCBD e UNFCCC), sobretudo no que diz respeito às inter-relações entre terra, mudanças climáticas e biodiversidade. Essa integração pode estimular ações convergentes de restauração e reabilitação ambiental, favorecendo a segurança alimentar, o fortalecimento dos serviços ecossistêmicos e a melhoria dos meios de subsistência das populações vulneráveis.

No tocante à operacionalização da LDN, observa-se que muitos países já iniciaram processos de planejamento e implementação, mas ainda estão cercados de desafios de financiamento, integração institucional e padronização de indicadores, que comprometem a efetividade do monitoramento e a comparabilidade global dos resultados. Diante desse quadro, torna-se evidente que os governos nacionais devem incorporar a meta da LDN em suas agendas de governança ambiental, destinando recursos adequados e instituindo estruturas organizacionais integradas, participativas e transparentes, com o envolvimento de todas as partes interessadas na recuperação, restauração e reabilitação das terras degradadas.

Do ponto de vista científico, cabe à comunidade acadêmica e técnica aprofundar o debate sobre a base conceitual e os indicadores biofísicos da LDN, promovendo refinamentos metodológicos e epistemológicos que viabilizem uma implementação mais precisa e contextualizada em escala nacional, regional e local. A consolidação de um referencial teórico-operacional robusto permitirá que a LDN avance de um ideal normativo para uma prática efetiva de gestão sustentável dos recursos terrestres, integrada às políticas de mitigação climática, segurança hídrica e conservação da biodiversidade.

Em suma, LDN deve ser compreendida como uma ponte essencial entre o conhecimento científico e a governança socioambiental global, capaz de transformar evidências em políticas concretas e de unir ciência, sociedade e poder público na construção de um futuro ambientalmente equilibrado e socialmente justo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABAHUSSAIN, A. A. et al. Desertification in the Arab region: analysis of current status and trends. **Journal of Arid Environments**, v. 51, p. 521-545, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1006/jare.2001.0975>. Acesso em: 02 dez. 2019.
- ADEEL, Z.; SAFRIEL, U. Achieving ecosystem sustainability through integrated management of land, water and biological resources. **AMBIO**, v. 34, n. 3, p. 168-173, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1579/0044-7447-34.3.168>. Acesso em: 17 jan. 2019.
- AKHTAR-SCHUSTER, M. et al. Land degradation and the Sustainable Development Goals: threat and opportunity. **Environmental Science & Policy**, v. 63, p. 250-254, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.09.008>. Acesso em: 14 set. 2019.
- ALMEIDA, F. de. Economia verde: desafios e oportunidades. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 3-15, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.24857/rgsa.v6i3.569>. Acesso em: 03 mai. 2019.
- AYNEKULU, E. et al. Operationalizing the concept of Land Degradation Neutrality (LDN) within the UNCCD. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 189, n. 7, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6020-4>. Acesso em: 29 nov. 2019.
- BAI, Z. G. et al. **Global assessment of land degradation and improvement: identification by remote sensing**. Wageningen: ISRIC – World Soil Information, 2008. Disponível em: <https://www.isric.org/documents/document-type/report>. Acesso em: 22 abr. 2019.
- BASHAGALUKE, J. B. et al. Soil nutrient loss and degradation in Ghanaian farmlands. **Catena**, v. 166, p. 78-87, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.03.019>. Acesso em: 09 fev. 2020.
- BLUM, W. E. H. Functions of soil for society and the environment. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, v. 4, p. 75-79, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11157-005-2236-x>. Acesso em: 07 ago. 2019.
- BORRELLI, P. et al. Mapping the role of agriculture in global soil erosion. **Science of the Total Environment**, v. 407, p. 3380-3386, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.02.050>. Acesso em: 18 abr. 2019.
- BOTELHO, L. L. R.; CUNHA, C. C. A.; MACEDO, M. O método da revisão integrativa nos estudos organizacionais. **Revista Eletrônica Gestão e Sociedade**, v. 5, n. 11, p. 121-136, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.21171/ges.v5i11.1220>. Acesso em: 16 out. 2019.
- BOWYER, C. et al. **Policy options for reducing land degradation**. Brussels: Institute for European Environmental Policy (IEEP), 2009. Disponível em: <https://ieep.eu/uploads/articles/attachments/bowyer2009.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2019.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca – PAN-Brasil**. Brasília: MMA, 2004. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br>. Acesso em: 21 jan. 2020.

CASPARI, T.; LYNDENE, C.; BAI, Z. Deficiencies in global estimates of land degradation. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 111, p. 81-91, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10661-005-8260-5>. Acesso em: 05 set. 2019.

CAVALCANTI, A. N.; COUTINHO, A. P. Degradação ambiental e desafios do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 2, p. 32-45, 2009. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>. Acesso em: 10 mar. 2019.

CHASEK, P. et al. Operationalizing Land Degradation Neutrality: financing and governance perspectives. **Environmental Science & Policy**, v. 100, p. 123-135, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.06.007>. Acesso em: 25 nov. 2019.

CHERLET, M. et al. **World Atlas of Desertification**. 3. ed. Luxembourg: European Commission, 2018. Disponível em: <https://wad.jrc.ec.europa.eu>. Acesso em: 13 fev. 2019.

CHOWDHURY, M. A. et al. Land degradation impacts on ecosystem services. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 191, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7842-0>. Acesso em: 04 jul. 2019.

CNU – United Nations Conference on Desertification. **Report of the Conference – Nairobi, 1977**. Nairobi: United Nations, 1977. Disponível em: <https://digitallibrary.un.org/record/736338>. Acesso em: 17 fev. 2020.

COELHO, C. A. S. et al. Impactos da degradação do solo na qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 2, p. 180-189, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000200010>. Acesso em: 08 abr. 2019.

COWIE, A. L. et al. Land Degradation Neutrality: concept development, practical applications and assessment. **Environmental Science & Policy**, v. 79, p. 25-35, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.10.011>. Acesso em: 09 ago. 2019.

D'ODORICO, P. et al. Anthropogenic and climatic controls on dryland vegetation dynamics. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 38, p. 125–150, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-020411-130611>. Acesso em: 07 mar. 2019.

DALLIMER, M.; STRINGER, L. C. Ecological and social conceptualizations of Land Degradation Neutrality: new perspectives for policy and practice. **Land Use Policy**, v. 79, p. 930–941, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.03.002>. Acesso em: 23 nov. 2019.

DARADUR, V. et al. Barriers to financing Land Degradation Neutrality implementation in transition economies. **Sustainability**, v. 10, n. 12, p. 4584, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su10124584>. Acesso em: 05 mai. 2019.

DELANG, C. O. The direct and indirect impacts of soil degradation in China. **Land Degradation & Development**, v. 29, n. 1, p. 193–201, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ldr.2871>. Acesso em: 30 set. 2019.

EC – European Commission. **The economics of desertification, land degradation, and drought**. Brussels: European Union, 2009. Disponível em: <https://ec.europa.eu/>. Acesso em:

14 fev. 2020.

EEA – European Environment Agency. **Desertification and land degradation in Europe**. Copenhagen: EEA, 2018. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/>. Acesso em: 21 jun. 2019.

ELD INITIATIVE. **The value of land: prosperity, security and resilience**. Bonn: ELD, 2015. Disponível em: <https://www.eld-initiative.org/>. Acesso em: 02 set. 2019.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Monitoramento de áreas suscetíveis à desertificação no semiárido brasileiro**. Brasília: EMBRAPA Solos, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos>. Acesso em: 11 abr. 2019.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture (SOLAW)**. Rome: FAO, 2011. Disponível em: <https://www.fao.org/3/i1688e/i1688e.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2019.

FAO. **World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision**. Rome: FAO, 2012. Disponível em: <https://www.fao.org/>. Acesso em: 07 nov. 2019.

FAO; UNCCD. **Global Soil Partnership: Land Degradation Assessment (LADA) methodology**. Rome: FAO, 2018. Disponível em: <https://www.fao.org/global-soil-partnership>. Acesso em: 15 abr. 2019.

FERNÁNDEZ, R. J. et al. Cascade effects of vegetation loss in arid ecosystems. **Journal of Arid Environments**, v. 50, p. 117–128, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1006/jare.2001.0969>. Acesso em: 24 out. 2019.

FISCHER, G. et al. Food security and sustainable land productivity. **Agricultural Systems**, v. 70, p. 225–241, 2001. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(01\)00009-3](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(01)00009-3). Acesso em: 18 fev. 2020.

FRIEDRICH, J.; KROPACZ, M. Monitoring desertification: satellite data and methodological advances. **Remote Sensing of Environment**, v. 205, p. 255–268, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.11.004>. Acesso em: 22 mai. 2019.

GEF – Global Environment Facility. **Land degradation: GEF strategy**. Washington, DC: GEF, 2009. Disponível em: <https://www.thegef.org/>. Acesso em: 27 jan. 2020.

GEIST, H. J.; LAMBIN, E. F. Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. **BioScience**, v. 52, n. 2, p. 143–150, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0143:PCAUDF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0143:PCAUDF]2.0.CO;2). Acesso em: 19 set. 2019.

GICHENJE, H.; MUÑOZ-ROJAS, M.; PINTO-CORREIA, T. Governance and policy frameworks for achieving Land Degradation Neutrality in Kenya. **Land Degradation & Development**, v. 30, p. 1333–1342, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ldr.3310>. Acesso em: 04 abr. 2019.

GIBBS, H. K.; SALMON, J. M. Mapping the world's degraded lands. **Applied Geography**, v.

57, p. 12–21, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.11.024>. Acesso em: 28 ago. 2019.

GLOVER, E.; LUUKKANEN, A. Wind erosion in Sudan: evidence from field observations. **Land Degradation & Development**, v. 17, p. 589–603, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ldr.730>. Acesso em: 02 jul. 2019.

GONZALEZ, P. Species composition changes in the western Sahel under climate pressure. **Journal of Arid Environments**, v. 48, p. 321–331, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1006/jare.2000.0726>. Acesso em: 15 nov. 2019.

GRAINGER, A. The threatening desertification narrative: a critical assessment. **Global Environmental Change**, v. 24, n. 1, p. 66–77, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.10.001>. Acesso em: 03 fev. 2020.

GRANDI, A. M. et al. Global soil degradation: processes and implications. **Soil and Tillage Research**, v. 165, p. 55–67, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.07.011>. Acesso em: 12 jul. 2019.

GUPTA, J.; VEGELIN, C. Sustainable development goals and inclusive development. **International Environmental Agreements**, v. 16, p. 433–448, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10784-016-9323-z>. Acesso em: 20 out. 2019.

HERRICK, J. E.; SALA, O. E.; KARL, J. W. Land degradation and climate change: linked processes and policy responses. **Environmental Research Letters**, v. 8, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/1/015016>. Acesso em: 09 jun. 2019.

HIGGINBOTTOM, T. P.; SYMEONAKIS, E. Assessing land degradation and desertification using remote sensing: approaches and trends. **Earth-Science Reviews**, v. 180, p. 152–175, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.03.014>. Acesso em: 25 fev. 2020.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change and Land**. Geneva: IPCC, 2019. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/srccl/>. Acesso em: 04 out. 2019.

IUCN – International Union for Conservation of Nature. **Drylands and land degradation**. Gland: IUCN, 2015. Disponível em: <https://www.iucn.org/>. Acesso em: 13 mai. 2019.

JAFARI, R.; BAKHSHANDEH, A. Desertification processes and mapping in Iran. **Catena**, v. 84, p. 22–30, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2010.02.003>. Acesso em: 06 set. 2019.

JUNTTI, M.; WILSON, E. Defining desertification: policy and scientific perspectives. **Journal of Environmental Management**, v. 75, n. 2, p. 104–113, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2004.11.003>. Acesso em: 01 abr. 2019.

KARLEN, D. L. et al. Defining soil quality for a sustainable environment. **Soil Science Society of America Special Publication**, n. 35, 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub35.c1>. Acesso em: 19 ago. 2019.

KAIRIS, O. et al. Evaluation and mapping of desertification risk: the DISMED project. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 184, p. 6087–6100, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10661-011-2413-4>. Acesso em: 05 fev. 2020.

KAPOS, V.; CAMPBELL, A.; RICKETTS, T. Ecosystem services and biodiversity conservation. **Environment and Development Economics**, v. 13, p. 483–499, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S1355770X08004311>. Acesso em: 22 ago. 2019.

KOSMAS, C.; KIRKBY, M.; GEESON, N. **The MEDALUS Project: Mediterranean Desertification and Land Use**. London: European Commission, 1999. Disponível em: <https://wad.jrc.ec.europa.eu/medalus>. Acesso em: 12 mar. 2019.

KUST, G.; ANDREEVA, O.; AKHTAR-SCHUSTER, M. Reflections on the concept of Land Degradation Neutrality and its practical implementation. **Environmental Science & Policy**, v. 79, p. 57–66, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.09.014>. Acesso em: 14 dez. 2019.

LAL, R. Soil degradation as a reason for inadequate human nutrition. **Food Security**, v. 1, p. 45–57, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12571-009-0009-z>. Acesso em: 26 abr. 2019.

LAL, R. Managing soils for feeding a global population of 10 billion. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 73, p. 85A–90A, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.2489/jswc.73.5.85A>. Acesso em: 17 set. 2019.

LAMBIN, E. F. et al. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. **Global Environmental Change**, v. 11, p. 261–269, 2001. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(01\)00007-3](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(01)00007-3). Acesso em: 02 fev. 2020.

LE BISSONNAIS, Y. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. **European Journal of Soil Science**, v. 47, p. 425–437, 1996. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1996.tb01843.x>. Acesso em: 10 jun. 2019.

LEPOLARD, A. et al. Soil organic carbon trends in degraded areas under restoration. **Catena**, v. 175, p. 312–321, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.12.031>. Acesso em: 08 nov. 2019.

LINIGER, H. P.; CRITCHLEY, W. **Where the land is greener: case studies and analysis of soil and water conservation initiatives worldwide**. Rome: WOCAT/FAO, 2007. Disponível em: <https://www.wocat.net/en/where-the-land-is-greener>. Acesso em: 28 abr. 2019.

LIU, J.; DIETZ, T.; CARPENTER, S. R. Coupled human and natural systems. **Ambio**, v. 36, p. 639–649, 2007. Disponível em: [https://doi.org/10.1579/0044-7447\(2007\)36\[639:CHANS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1579/0044-7447(2007)36[639:CHANS]2.0.CO;2). Acesso em: 19 jan. 2020.

MA, L. et al. Quantifying land degradation and restoration using remote sensing indicators. **Remote Sensing of Environment**, v. 220, p. 174–188, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.10.038>. Acesso em: 06 jul. 2019.

MAESTRI, E.; SANTOS, R. S. P. Uso da terra e degradação ambiental: uma análise geográfica.

Revista Brasileira de Geografia Física, v. 4, p. 78–93, 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>. Acesso em: 13 set. 2019.

MAHMOOD, K.; BAIG, S. Combating desertification through sustainable soil management in Pakistan. **Environmental Earth Sciences**, v. 75, n. 6, p. 236, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5382-y>. Acesso em: 07 fev. 2020.

MAPBIOMAS. **Coleção 4 – Desmatamento e uso do solo no Brasil (1985–2019)**. São Paulo: Instituto de Energia e Meio Ambiente, 2019. Disponível em: <https://mapbiomas.org>. Acesso em: 11 nov. 2019.

MARIN, C.; SERRANO, J.; BAZÁN, A. Land degradation and resilience indicators for drylands. **Sustainability**, v. 10, n. 12, p. 4412, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su10124412>. Acesso em: 14 ago. 2019.

MCDONNELL, R.; SCHERL, L. M. Governance challenges in implementing the Land Degradation Neutrality framework. **Environmental Policy and Governance**, v. 29, n. 2, p. 78–90, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/eet.1842>. Acesso em: 23 fev. 2019.

MELO, J. A. P.; OLIVEIRA, T. C. Risco ambiental e vulnerabilidade no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 3, p. 142–158, 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>. Acesso em: 09 dez. 2019.

MINAYO, M. C. de S. **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. 7. ed. Petrópolis: Vozes, 1997. Disponível em: <http://www.mobilizadores.org.br/wp-content/uploads/2015/03/MINAYO-M.-Cec%C3%ADlia-org.-Pesquisa-social-teoria-m%C3%A9todo-e-criatividade.pdf>. Acesso em: 17 jan. 2019.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (MCTI). **Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção do Clima**. Brasília: MCTI, 2016. Disponível em: <https://antigo.mcti.gov.br/>. Acesso em: 02 ago. 2019.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Atlas das áreas suscetíveis à desertificação do Brasil**. Brasília: MMA, 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/mma>. Acesso em: 26 out. 2019.

MOLDEN, D. **Water for food, water for life: a comprehensive assessment of water management in agriculture**. London: Earthscan, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.4324/9781849773799>. Acesso em: 30 jul. 2019.

MONTANARELLA, L. The role of policy in achieving land degradation neutrality. **Environmental Science & Policy**, v. 79, p. 82–91, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.10.001>. Acesso em: 03 jun. 2019.

MONTANARELLA, L.; SCHULENBURG, L. Soil and land degradation in Europe. **Soil Use and Management**, v. 28, p. 127–138, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2011.00391.x>. Acesso em: 10 jan. 2020.

MUGHAL, M. A. Sustainable land management practices in arid environments. **Environmental Earth Sciences**, v. 77, n. 6, p. 236, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7391-2>. Acesso em: 15 mar. 2019.

MUNSON, S. M.; BELNAP, J. Responses of arid vegetation to climate change. **Nature Climate Change**, v. 4, p. 366–371, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nclimate2139>. Acesso em: 19 out. 2019.

OLDEMAN, L. R. **The Global Assessment of Soil Degradation (GLASOD)**. Wageningen: ISRIC, 1991. Disponível em: <https://www.isric.org/projects/glasod>. Acesso em: 05 mai. 2019.

ONU – Organização das Nações Unidas. **Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Nova York: ONU, 2015. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/>. Acesso em: 08 dez. 2019.

ONU/UNCCD. **Global Land Outlook**. Bonn: UNCCD, 2017. Disponível em: <https://www.unccd.int/publications/global-land-outlook>. Acesso em: 02 abr. 2019.

ONU/UNEP. **Status of desertification and implementation of the United Nations Plan of Action to Combat Desertification**. Nairobi: UNEP, 1991. Disponível em: <https://wedocs.unep.org/>. Acesso em: 13 jul. 2019.

PALMER, A. R.; AINSWORTH, J. Land degradation trends in southern Africa: status and implications. **African Journal of Ecology**, v. 45, n. 3, p. 317–324, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2028.2006.00700.x>. Acesso em: 21 jan. 2020.

PARDO, M.; GÓMEZ, D.; SERRANO, R. Socioeconomic impacts of land degradation and desertification. **Environmental Development**, v. 8, p. 1–13, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2013.05.002>. Acesso em: 16 abr. 2019.

PIMENTEL, D.; BURGESS, M. Soil erosion threatens food production. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 175, p. 40–49, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.03.009>. Acesso em: 09 set. 2019.

PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. **GEO-6: Global Environment Outlook**. Nairobi: UNEP, 2019. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/global-environment-outlook-6>. Acesso em: 03 mar. 2019.

PNUMA; UNCCD; FAO. **Land restoration for achieving the SDGs**. Nairobi: United Nations, 2018. Disponível em: <https://wedocs.unep.org/>. Acesso em: 24 ago. 2019.

POESEN, J.; VALENTIN, C.; YOUNG, R. Water erosion processes in semi-arid environments. **Catena**, v. 86, p. 1–6, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.05.001>. Acesso em: 27 jan. 2020.

REED, M. S. et al. Land Degradation Neutrality: policy coherence and institutional integration. **Sustainability Science**, v. 14, n. 1, p. 1–15, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11625-018-0625-7>. Acesso em: 07 nov. 2019.

REYNOLDS, J. F. et al. Global desertification: building a science for dryland development. **Science**, v. 316, p. 847–851, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.1131634>. Acesso em: 15 fev. 2020.

REYNOLDS, J. F.; STAFFORD SMITH, D. M. Do humans cause deserts? An old problem

revisited. **Science of the Total Environment**, v. 326, p. 1–9, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2003.12.001>. Acesso em: 30 out. 2019.

RODRIGUES, M. G.; BARBOSA, H. A.; SILVA, M. R. Avaliação do índice NDVI e sua relação com a pluviosidade no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 2, p. 356–370, 2013. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>. Acesso em: 11 jul. 2019.

SAFRIEL, U. Land Degradation Neutrality (LDN) in drylands: the best way to safeguard life on Earth. **Environmental Science & Policy**, v. 79, p. 88–94, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.10.011>. Acesso em: 22 dez. 2019.

SALAH, M.; BENKHELIFA, M.; BOUCHELACHEM, F. Desertification trends in the Maghreb: challenges and responses. **Journal of Arid Environments**, v. 138, p. 24–37, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jare.2016.11.011>. Acesso em: 06 abr. 2019.

SALT, J.; RODRIGUEZ, L.; NAGY, M. Integrated management of drylands. **Land Degradation & Development**, v. 18, p. 333–347, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ldr.785>. Acesso em: 29 ago. 2019.

SÁNCHEZ, F.; FONSECA, R. Gestão territorial e sustentabilidade ambiental. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 5, p. 161–178, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>. Acesso em: 17 jan. 2019.

SCHERR, S. J. A downward spiral? Research evidence on the relationship between poverty and natural resource degradation. **Food Policy**, v. 25, p. 479–498, 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0306-9192\(00\)00022-1](https://doi.org/10.1016/S0306-9192(00)00022-1). Acesso em: 03 out. 2019.

SECCO, L. **A ONU e os desafios ambientais do século XXI**. Brasília: IPEA, 2015. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/>. Acesso em: 05 mai. 2019.

SHI, P. et al. Quantitative assessment of land degradation in China. **Catena**, v. 69, n. 1, p. 133–141, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2006.04.011>. Acesso em: 11 dez. 2019.

SILVA, R. M.; LIMA, J. A. Mudanças climáticas e impactos ambientais no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, p. 57–72, 2015. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>. Acesso em: 18 ago. 2019.

STEFFEN, W.; RICHARDSON, K.; ROCKSTRÖM, J. Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet. **Science**, v. 347, n. 6223, p. 1259855, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.1259855>. Acesso em: 26 jan. 2020.

STRINGER, L. C.; REED, M. S. Land degradation assessment and sustainable land management. **Land Degradation & Development**, v. 18, p. 99–107, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ldr.761>. Acesso em: 02 mar. 2019.

THORNES, J.B. **Environmental change in the Mediterranean: past, present and future**. London: Arnold, 1999. Disponível em: <https://wad.jrc.ec.europa.eu>. Acesso em: 19 jul. 2019.
UNCCD – United Nations Convention to Combat Desertification. **The science-policy**

interface: operational guidance for LDN. Bonn: UNCCD, 2016. Disponível em: <https://www.unccd.int/>. Acesso em: 14 fev. 2019.

_____. **The Land in Numbers – Livelihoods at a Tipping Point.** Bonn: UNCCD, 2017. Disponível em: <https://www.unccd.int/publications>. Acesso em: 11 set. 2019.

_____. **The Global Mechanism Report: Financing Land Degradation Neutrality.** Bonn: UNCCD, 2018. Disponível em: <https://www.unccd.int/publications>. Acesso em: 04 dez. 2019.

UNCCD; GEF; UNEP. **Land Degradation Neutrality Target Setting Programme.** Bonn: UNCCD, 2016. Disponível em: <https://www.unccd.int/>. Acesso em: 08 jun. 2019.

UNITED NATIONS. **Report of the World Summit on Sustainable Development (Johannesburg, 2002).** New York: United Nations, 2002. Disponível em: <https://digitallibrary.un.org/>. Acesso em: 09 mai. 2019.

_____. **The Future We Want: Rio+20 Outcome Document.** New York: United Nations, 2012. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org>. Acesso em: 01 ago. 2019.

_____. **Sustainable Development Goals Report.** New York: United Nations, 2019. Disponível em: <https://unstats.un.org/sdgs/report/2019/>. Acesso em: 22 nov. 2019.

VARGAS, R. et al. Land degradation and ecosystem services. **Environmental Research Letters**, v. 13, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aabc26>. Acesso em: 03 abr. 2019.

VELDKAMP, T.; LAMBIN, E. F. Predicting land-use change. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 85, p. 1–6, 2001. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00199-2](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00199-2). Acesso em: 07 out. 2019.

VOGEL, C.; VAN NIEKERK, D. Coping with drought: linking disaster risk reduction and climate adaptation in southern Africa. **Climatic Change**, v. 118, p. 149–162, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0652-9>. Acesso em: 17 jan. 2020.

WMO – World Meteorological Organization. **Global Climate Statement 2018.** Geneva: WMO, 2019. Disponível em: <https://public.wmo.int/en/resources/library>. Acesso em: 11 mar. 2019.

WORLD BANK. **Sustainable Land Management Sourcebook.** Washington, DC: World Bank, 2008. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/>. Acesso em: 30 set. 2019.

WUEPPER, D.; BÜCHS, M.; STEIN, C. Do agricultural subsidies encourage or discourage soil conservation? **Land Use Policy**, v. 87, p. 104–112, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.05.003>. Acesso em: 12 jun. 2019.

YAO, W.; LI, X. Spatial distribution of land degradation in China. **Environmental Earth Sciences**, v. 75, p. 345–359, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12665-015-5109-0>. Acesso em: 18 dez. 2019.

ZHANG, Y.; WANG, X.; ZHOU, J. Restoration of degraded ecosystems in northern China. **Ecological Engineering**, v. 57, p. 192–204, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.04.012>. Acesso em: 09 ago. 2019.

ZHENG, H.; ZHAO, X.; ZHANG, Y. Sustainability of large-scale land restoration programs in China. **Nature Sustainability**, v. 2, p. 575–579, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0297-3>. Acesso em: 15 fev. 2020.

ZINN, Y. L.; SILVA, G. R. Soil degradation and sustainable management in tropical regions. **Soil & Tillage Research**, v. 203, p. 104–121, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104634>. Acesso em: 05 abr. 2019.

ZUCCA, C.; HILL, J.; HUSSAIN, H. Land degradation assessment in arid environments. **Catena**, v. 82, p. 1–14, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2010.05.001>. Acesso em: 27 jul. 2019.

ZUMBA, R. F.; FERREIRA, R. G.; SANTOS, M. C. A neutralidade da degradação da terra e os desafios de monitoramento ambiental no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 6, p. 2050–2068, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>. Acesso em: 20 jan. 2020.

CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados nesta pesquisa permitem afirmar que a degradação da terra e a desertificação configuram não apenas um desafio ambiental, mas um entrave estrutural ao desenvolvimento sustentável em escala global. Ao analisar os indicadores biofísicos e as metodologias de avaliação empregados nas pesquisas internacionais entre 1997 e 2019 (Capítulo 2), constatou-se que a produção científica sobre LDD avançou de forma significativa, sobretudo no campo das geotecnologias, com a consolidação do NDVI, da análise de uso e cobertura da terra (LULC) e dos estoques de carbono do solo (SOC) como indicadores centrais. O sensoriamento remoto emergiu como ferramenta indispensável, tanto pela sua capacidade de captar mudanças espaço-temporais, quanto por sua versatilidade em regiões áridas e semiáridas, onde o acesso a dados de campo é mais limitado.

Apesar desses avanços, a análise bibliométrica revelou uma forte predominância de abordagens essencialmente biofísicas, ainda pouco integradas a dimensões socioeconômicas e institucionais. Tal tendência reforça uma das lacunas fundamentais identificadas neste estudo: a ausência de metodologias verdadeiramente interdisciplinares capazes de capturar a complexidade dos processos de degradação da terra. Essa constatação dialoga diretamente com os desafios discutidos no Capítulo 3, em que a Neutralidade da Degradação da Terra (LDN) aparece como uma meta ambiciosa, porém ainda distante de ser plenamente operacionalizada. A UNCCD avançou ao propor uma estrutura conceitual baseada em três indicadores globais — produtividade, cobertura da terra e carbono do solo —, mas persistem incertezas metodológicas, insuficiências de dados, divergências conceituais e limitações institucionais que dificultam a mensuração e o monitoramento do progresso rumo à neutralidade.

De modo geral, observou-se que os principais indicadores e metodologias de avaliação da LDD se inter-relacionam de modo complementar, mas ainda fragmentado. A literatura evidencia que nenhum indicador isolado é capaz de representar adequadamente a complexidade dos processos de degradação, reforçando a necessidade de abordagens combinadas, contextualizadas e sensíveis às especificidades ambientais e socioeconômicas de cada região. De igual modo, tornou-se evidente que o avanço da LDN depende menos da criação de novos indicadores e mais da consolidação de bases conceituais mais robustas, de metodologias comparáveis e de sistemas de monitoramento contínuo e confiável.

No tocante aos desafios globais da LDN, este estudo identificou entraves recorrentes: ausência de padronização internacional, dificuldades de adaptação das metodologias às realidades locais, fragilidades institucionais, escassez de recursos financeiros e técnicos, além

de inconsistências conceituais que afetam a comparabilidade dos dados. Regiões vulneráveis, como o semiárido brasileiro, evidenciam de forma emblemática essas limitações, ao mesmo tempo em que revelam o potencial de aplicação de modelos integrados de avaliação para subsidiar políticas públicas mais eficazes.

Diante desse panorama, conclui-se que a implementação da LDN exige um compromisso político contínuo, investimentos em capacitação técnica, fortalecimento institucional e maior integração entre ciência, governança e sociedade. Os resultados aqui apresentados contribuem para ampliar o debate sobre as estratégias globais de enfrentamento da degradação da terra, fornecendo subsídios científicos para aprimorar políticas públicas, orientar agendas de pesquisa e fortalecer iniciativas de monitoramento ambiental em escala global, nacional e regional.

Assim, esta pesquisa cumpriu seu objetivo ao oferecer uma análise abrangente e crítica dos indicadores biofísicos, das metodologias de avaliação e dos desafios conceituais e institucionais que permeiam a Neutralidade da Degradação da Terra. Também evidencia que alcançar um mundo neutro em degradação não é apenas uma meta técnica, mas sobretudo um compromisso civilizatório que demanda integração, cooperação e responsabilidade compartilhada diante da urgência ambiental do século XXI.

Todavia, apesar das contribuições alcançadas, este estudo apresenta limitações inerentes ao recorte temporal adotado (1997–2019) e às próprias características da base *Scopus*, que, embora ampla, não abrange a totalidade da produção científica global sobre LDD e LDN. Além disso, parte das metodologias e indicadores identificados evoluiu significativamente após 2019, sobretudo com o avanço das diretrizes da UNCCD, da integração de novos sensores de sensoriamento remoto e da crescente incorporação de dimensões socioeconômicas nos modelos de avaliação. Assim, torna-se fundamental ampliar futuras investigações para períodos posteriores, incorporando dados mais recentes, novas abordagens interdisciplinares e análises comparativas que permitam acompanhar a consolidação conceitual e metodológica da LDN no cenário internacional.