

Estudo bibliométrico sobre o uso de geotecnologias na análise da vulnerabilidade ambiental: perspectivas para a gestão ambiental

Bibliometric study of geotechnologies on the analysis of environmental vulnerability: perspectives for environmental management

Estudio bibliométrico sobre el uso de geotecnologías en el análisis de vulnerabilidad ambiental: perspectivas para la gestión ambiental

Recebido: 05/07/2022 | Revisado: 16/07/2022 | Aceito: 18/07/2022 | Publicado: 26/07/2022

Diane Luiza Biesdorf

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4178-9293>
Universidade Federal de Rondonópolis, Brasil
E-mail: dianebiesdorf@gmail.com

Camila Leonardo Mioto

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6951-9527>
Universidade Federal de Rondonópolis, Brasil
E-mail: ea.mioto@gmail.com

Domingos Sávio Barbosa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6793-0956>
Universidade Federal de Rondonópolis, Brasil
E-mail: domingos@ufr.edu.br

Antonio Conceição Paranhos Filho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9838-5337>
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil
E-mail: antonio.paranhos@ufms.br

Normandes Matos da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4631-9725>
Universidade Federal de Rondonópolis, Brasil
E-mail: normandes@ufr.edu.br

Resumo

O crescimento populacional e, conseqüentemente, a forma desordenada de crescimento dos municípios, o aumento da demanda por recursos naturais, a disposição e destinação inadequada dos resíduos são fatores que contribuem, significativamente, para a degradação ambiental. Nesse contexto, um meio sofre mudanças de acordo com o seu grau de suscetibilidade, tal característica é considerada como a sensibilidade que ele possui em resistir a um determinado estresse, sendo denominado assim de vulnerabilidade. Em análise de vulnerabilidade, fatores naturais (elevação, vegetação, tipo de solo, etc.) e antrópicos (uso do solo, densidade populacional, etc.) são considerados. Com o objetivo de avaliar quais são os principais métodos e os fatores mais utilizados em trabalhos científicos que tratam sobre vulnerabilidade ambiental, fez-se um levantamento bibliográfico utilizando-se da cientometria e abordagem bibliométrica. A base para pesquisa foi a SciVerse Scopus e as palavras de busca foram "Environmental Vulnerability" AND GIS* OR "Remote Sensing". A partir disso, obteve-se 154 publicações entre 1999 e 2021, apontando como metodologia mais utilizada a junção do Sensoriamento Remoto (SR) com Sistemas de Informação Geográfica (SIG) aliados a métodos matemáticos de análise estatísticas a fim de reduzir a dimensão dos dados e gerar resultados mais confiáveis. O estudo mostrou também que, independentemente do método utilizado, análises de vulnerabilidade ambiental têm princípios básicos semelhantes, mesmo existindo variação do tipo e quantidade de fatores de acordo com a região estudada, não existindo, assim, uma regra geral para selecionar a quantidade de variáveis necessárias para tal análise.

Palavras-chave: Produção científica; Riscos Ecológicos; SIG.

Abstract

Population growth and, consequently, the uncontrolled growth of municipalities, increased demand for natural resources, inadequate disposal, and waste didisposalre factors significantly contribute to environmental degradation. In this context, an environment changes according to its degree of susceptibility, and this characteristic consists of the sensitivity it has to resist particular stress, thus being called vulnerability. In vulnerability analysis, natural (elevation, vegetation, soil type, etc.) and anthropic factors (land use, population density, etc.) are considered. To evaluate the factors most used in scientific works that deal with environmental vulnerability, a bibliographic survey was carried out using scientometrics and a bibliometric approach. The research base was SciVerse Scopus, and the search words

were "Environmental Vulnerability" AND GIS* OR "Remote Sensing.". Remote Control (SR) with Geographic Information Systems (GIS) combined with mathematical, and statistical analysis methods reduce the data size and generate more reliable results. The study also showed that, regardless of the technique used, environmental vulnerability analyzes have the same principle and variables, even though there is variation in the type and quantity of factors according to the region studied. Thus, there is no general rule for selecting the number of variables necessary for such an analysis.

Keywords: Scientific production; Ecological Risk; GIS.

Resumen

El crecimiento poblacional y, en consecuencia, el crecimiento desordenado de los municipios, la mayor demanda de recursos naturales, la inadecuada disposición y disposición final de los desechos son factores que contribuyen significativamente a la degradación ambiental. En este contexto, un ambiente sufre cambios de acuerdo con su grado de susceptibilidad, esta característica se considera como la sensibilidad que tiene para resistir un determinado estrés, denominándose así vulnerabilidad. En el análisis de vulnerabilidad se consideran factores naturales (elevación, vegetación, tipo de suelo, etc.) y antrópicos (uso del suelo, densidad de población, etc.). Con el fin de evaluar cuáles son los principales métodos y factores más utilizados en los trabajos científicos que abordan la vulnerabilidad ambiental, se realizó un levantamiento bibliográfico utilizando la ciencia métrica y un enfoque bibliométrico. La base de investigación fue SciVerse Scopus y las palabras de búsqueda fueron "Environmental Vulnerability" AND GIS* OR "Remote Sensing". Control Remoto (SR) con Sistemas de Información Geográfica (GIS) combinado con métodos matemáticos de análisis estadístico para reducir el tamaño de los datos y generar resultados más confiables. El estudio también mostró que, independientemente del método utilizado, los análisis de vulnerabilidad ambiental tienen principios variables básicas similares, aunque hay variación en el tipo y cantidad de factores según la región estudiada, por lo tanto, hay No existe una regla general para seleccionar la cantidad de variables necesarias para tal análisis.

Palabras clave: Producción científica; Riesgos Ecológicos; SIG.

1. Introdução

O crescimento populacional e, conseqüentemente, a forma desordenada de crescimento dos municípios, o aumento da demanda por recursos naturais, a falha nos métodos de gestão de tais recursos, a disposição e destinação inadequada dos resíduos por parte de empresas e da população, são fatores que contribuem significativamente para a degradação ambiental. Si-Yuan *et al.* (2008) apontam que os principais fatores que causam mudanças ambientais são o crescimento populacional, a degradação da vegetação e políticas públicas inadequadas para proteção ambiental.

O Brasil é o maior produtor de soja no mundo, apresentando na última safra (2020/2021) uma área plantada de 38,502 milhões de hectares (CONAB, 2021). No âmbito nacional, o Estado de Mato Grosso está no topo do ranking dos maiores produtores do grão com área plantada de 10,294 milhões de hectares (CONAB, 2021). Juntamente com as grandes áreas plantadas está a mudança do uso do solo, contribuindo, assim, para a alteração da paisagem, diminuindo a vegetação natural e potencializando as chances de erosão (Grecchi *et al.*, 2014).

Um meio sofre mudanças de acordo com o seu grau de suscetibilidade, considerado como a sensibilidade que ele possui em resistir a um determinado estresse, o Ministério do Meio Ambiente define esse grau de suscetibilidade como vulnerabilidade (Brasil, 2007). Da mesma forma, a normativa ISO 14091/2021 define vulnerabilidade como a propensão ou predisposição do meio a ser afetado de maneira adversa, incluindo a sensibilidade ou suscetibilidade a danos e a capacidade de lidar e se adaptar. Na literatura, é possível encontrar vários conceitos sobre vulnerabilidade, fazendo com que, ao se trabalhar com esse tema, exista a necessidade de esclarecer o conceito utilizado, com isso o trabalho se baseia na definição dado pela ISO 14091/2021.

Tagliani (2003) adota vulnerabilidade ambiental como a maior ou menor susceptibilidade de um ambiente a um impacto potencial provocado por um uso antrópico qualquer, a qual ele avalia segundo três critérios: fragilidade estrutural intrínseca, que é o meio físico como a declividade e a capacidade de uso dos solos; sensibilidade, onde o autor analisa a proximidade de recursos hídricos e a proximidade de comunidades vegetais sob proteção legal; e o grau de maturidade dos ecossistemas, condicionada pelo tempo de evolução, uma das características que determinam a fragilidade relativa dos

ecossistemas frente a perturbações antrópicas. Baseado no autor, o trabalho aborda a vulnerabilidade ambiental em um contexto restrito à fragilidade do meio e sua susceptibilidade a alterações rápidas em função de agravos ambientais.

Em análises de vulnerabilidade é importante que fatores naturais (elevação, declive, temperatura, umidade relativa do ar, vegetação, tipo de solo) e fatores de atividades antrópicas (uso do solo, densidade populacional) sejam considerados (Li *et al.*, 2006). Dessa maneira, o uso de geotecnologias como Sensoriamento Remoto (SR) e o Sistema de Informação Geográfica (SIG) se caracterizam como ferramentas imprescindíveis para o monitoramento desses fatores e suas mudanças.

A utilização do sensoriamento remoto possibilita o monitoramento ambiental de uma área, podendo acompanhar com maior eficiência a evolução de cada processo existente, seja ele de caráter antrópico ou natural, em análises multitemporais. Grigio (2003) enfatiza que o uso desta ferramenta, utilizando a análise de imagens de sensores orbitais, é um dos meios auxiliares para acelerar e reduzir custos dos mapeamentos ambientais, bem como para detectar e quantificar mudanças ocorridas nesse meio.

Lorena (2001) afirma em seu trabalho que a utilização de imagens de sensoriamento remoto, juntamente à análise digital, foi eficiente para a estratificação temática e o acompanhamento de possíveis mudanças de uso e cobertura do solo. Da mesma maneira, Milanezi e Pereira (2016) abordam o sensoriamento remoto juntamente à análise digital, ter permitido a caracterização da estrutura de uso e ocupação do solo dentro da precisão e detalhamento requeridos para análise de microbacias.

Muitos são os métodos utilizados para identificação e monitoramento de áreas utilizando as geotecnologias. Dessa forma, para existir um conhecimento do que já foi estudado e produzido de um determinado assunto, através de trabalhos científicos, é possível a utilização de estudos cientométricos. Assim, a cienciometria é definida como o campo do conhecimento preocupado com os métodos e ferramentas que auxiliam no processo de mensuração e análise das atividades de pesquisa científica (Ruas & Pereira, 2014). Machado Jr. *et al* (2016) apresenta a cienciometria como um instrumento útil para projetar o crescimento de determinado ramo do conhecimento, por meio de indicadores quantitativos aplicados na análise de publicações.

O progresso científico e tecnológico é fator determinante no desenvolvimento socioeconômico de um país, pois os documentos científicos podem servir como instrumento de avaliação da ciência por meio de estudos bibliométricos que mapeiam e caracterizam a produção científica, tanto no contexto nacional, quanto no internacional (Menezes & Caregnato, 2018). Mueller (2013) identificou na bibliometria quatro objetivos relevantes na análise, sendo eles: análise e mapeamento de autorias e coautorias, colaboração e redes; avaliação e descrição da literatura, impacto e indicadores; produção e produtividade, visibilidade de autores e instituições; estudos de citação e cocitação.

Nesse sentido, esta pesquisa tem como objetivo realizar um estudo quantitativo e qualitativo das principais técnicas empregadas para a obtenção de mapas de vulnerabilidade ambiental, buscando avaliar o desempenho das publicações sobre o tema por meio de bases de dados bibliográficos, auxiliando, desse modo, no entendimento de quais são as formas mais utilizadas para realizar tal mapeamento.

2. Metodologia

A pesquisa foi dividida em duas etapas, a primeira, trata-se de um estudo bibliométrico o qual é definido por Machado Jr. *et al* (2016) como um estudo quantitativo com o objetivo de identificar características comuns entre os artigos científicos, sendo inseridos também, os objetivos apresentados e já citados de Mueller (2013). A partir dos resultados dessa etapa, a segunda parte da pesquisa se volta a uma análise qualitativa com o objetivo de analisar especificamente os métodos utilizados para a obtenção de mapas de vulnerabilidade ambiental.

2.1 Análise Quantitativa

Para a busca das publicações, definiu-se o uso pela base SciVerse Scopus (<https://www-Scopus.ez52.periodicos.capes.gov.br/search/form.uri?display=basic#basic>). O acesso total foi feito por meio do Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES/MEC, através da Comunidade Acadêmica Federada – CAFE para acesso remoto, disponibilizado em parceria entre a CAPES e a Universidade Federal de Rondonópolis-UFR.

Foram empregadas diversas palavras-chave e, de acordo com os resultados obtidos, foram selecionadas palavras específicas de modo a obter maior compatibilidade com o assunto de interesse. Assim, em língua portuguesa os termos foram: “vulnerabilidade ambiental” e “geotecnologias”, porém, tem-se maior abrangência quando utilizados os termos para busca em língua inglesa, definindo as palavras-chave da busca final como: “*Environmental Vulnerability*” AND GIS* OR “*Remote Sensing*”. Em seguida, procedeu-se à busca na base de dados, não utilizando filtros para limite de datas, idioma e tipo, observando assim, todas as publicações como resultado até junho de 2021, mês da pesquisa.

Os dados foram exportados em CSV (*Character-separated values*), requerendo para download todas as informações referentes às publicações (citações, bibliografia, resumo e palavras-chave, financiamentos, entre outras informações). O formato CSV é compatível ao VOSviewer, versão 1.6.15 de 2020 (software utilizado para elaboração das redes) (Van Eck & Waltman, 2014), não necessitando nenhuma conversão dos dados.

Uma rede bibliométrica consiste em nós e linhas, na qual os nós podem ser publicações, periódicos, pesquisadores ou palavras-chave; já as linhas indicam relações entre pares de nós, sendo que a distância entre os nós reflete a afinidade entre eles, logo, uma distância menor geralmente indica uma relação mais forte, a largura da linha entre dois nós refere-se à frequência colaborativa do relacionamento e o tamanho de um círculo (nó) representa o número total de publicações ou colaborações de uma pessoa ou grupo (Van Eck & Waltman, 2014).

Fez-se também a exportação de dados em formato compatível com o software Mendeley (*The Mendeley Support Team*, 2017), sendo, dessa forma, possível a obtenção de todos os títulos, autores, ano de publicação e periódico de publicação. A partir disso foi possível organizar todos os dados em uma pasta exclusiva, organizando-os em ordem alfabética, visualizando, desse modo, a existência ou não de publicações duplicadas. Com essa análise, não foram encontrados artigos repetidos.

Com os dados organizados e não havendo duplicidade, seguiu-se para a análise quantitativa por meio da bibliometria, feita utilizando os softwares Microsoft Excel (2020) para elaboração de tabelas e gráficos e do VOSviewer, versão 1.6.15 (2020) para a elaboração do mapeamento de rede.

2.2 Análise Qualitativa

Após a análise bibliométrica, fez-se a análise qualitativa, evidenciando os métodos utilizados nas publicações com a temática vulnerabilidade ambiental, nessa fase do trabalho refinou-se a busca em apenas publicações do tipo artigo, publicadas em inglês ou português.

Com o resultado dos artigos, inicialmente, fez-se a leitura dos resumos, identificando assim a metodologia utilizada em cada artigo e excluindo aqueles que estavam fora do interesse da pesquisa, esses, foram definidos por terem como objeto de estudo áreas com características diferentes da área de interesse da pesquisa. Em seguida, para análise detalhada dos métodos e discussão, foram selecionados os 10 artigos mais citados.

3. Resultados e Discussão

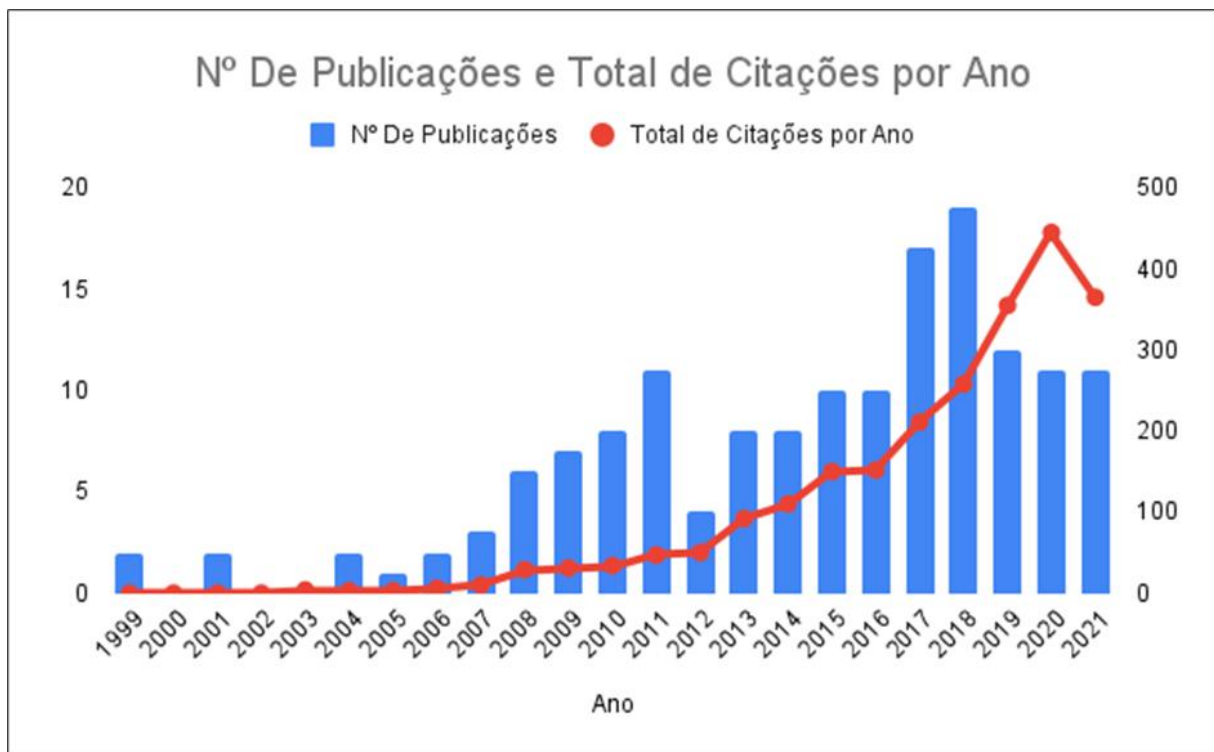
Obteve-se como resultado 154 publicações que apresentam em seu título, resumo ou palavras-chave os termos

"Environmental Vulnerability" AND GIS* OR "Remote Sensing". Desse total, 108 são artigos, 5 são capítulos de livro e 41 se referem a revisões e trabalhos de conferências. Quanto ao idioma das publicações, o inglês é o idioma predominante, representando 79,2% dos trabalhos, seguido pelo chinês 11,7%, português 7,8% e o francês e o espanhol representando 0,65% cada um.

3.1 Desempenho das Publicações

Em relação ao ano da publicação, não foram utilizados filtros, contemplando assim, todos os anos em que houve publicações (Figura 1). Com isso, foi possível encontrar publicações sobre vulnerabilidade ambiental e geotecnologias a partir do ano de 1999 até 2021. Destes, o ano com o maior número de publicações foi 2018, com 19 publicações; quanto à citação das publicações analisadas é possível observar na Figura 1 um crescimento no número de citações começando no ano de 2006 e com queda em 2021 devido a busca não abranger o ano completo.

Figura 1 - Gráfico da relação entre número de publicações e citações por ano.



Fonte: Autores.

Observa-se na Figura 1 que houve um aumento progressivo no número de produções entre 1999 e 2011. Em 2012 pode ser observada uma ruptura da tendência com retomada até 2018. Entre 2019 e 2021 houve uma tendência de redução no número de produções. Esta primeira oscilação (ano de 2012) pode ser explicada pelo aumento expressivo da operação de satélite de observação da terra para uso civil, como descrito em Belward e Skoien (2015). A segunda ruptura pode ser explicada pela queda global das produções científicas em razão da pandemia de COVID-19.

Entre os países que mais publicam, a China é o país com o maior número de publicações, sendo 54 publicações, seguida pelo Brasil com 27 publicações e os Estados Unidos com 22 publicações, onde juntos representam 67% do total das publicações da busca realizada.

3.2 Desempenho dos Autores

Com resultados da busca, entre autores e coautores, foi possível identificar 159 autores. Desses, cerca de 74,5% (119 autores) tiveram apenas uma publicação, enquanto 19,5% (31 autores) tiveram pelo menos duas publicações e 6% (9 autores) entre três e cinco publicações. A Tabela 1 apresenta os 9 autores mais produtivos da amostra. O autor com mais publicações é Shao H., com 5 publicações, sendo 4 como autor principal e uma como coautor. O autor é filiado ao *Institute of Scientific and Technological Information of Tibet Autonomous Region* na China.

Tabela 1. Autores com maior produção.

Autor	Nº Artigos	Afiliação	País*
Shao, H.	5	<i>Institute of Scientific and Technological Information of Tibet Autonomous Region</i>	China
Boori, M.S.	4	<i>Samara National Research University</i>	Rússia
Choudhary, K.	4	<i>Hong Kong Polytechnic University</i>	China
Liou, Y.A.	4	<i>National Central University Taiwan</i>	Taiwan
Cirenluobu	3	<i>Institute of Scientific and Technological Information of Tibet Autonomous Region</i>	China
Kupriyanov, A.	3	<i>Samara National Research University</i>	Rússia
Sun, X.	3	<i>Southwest Jiaotong University</i>	China
Xian, W.	3	<i>Chengdu University of Information Technology</i>	China
Xiang, Z.	3	<i>Zhejiang University</i>	China

*País da instituição de afiliação. Fonte: Autores

3.3 Periódicos com Mais Publicações

As 154 publicações obtidas na pesquisa são distribuídas em 105 periódicos. Para melhor análise, os periódicos foram separados em três grupos de acordo com a quantidade de publicações em cada, tal divisão se fez para auxiliar na visualização dos dados. O primeiro grupo considera os periódicos com 3 ou mais publicações, o segundo grupo com 2 publicações cada e o grupo 3 (três), periódicos com apenas uma publicação. Na Tabela 2 é possível observar os periódicos com o maior número de publicações encontradas.

Quanto às fontes das publicações, verifica-se que 30% das publicações (46 publicações) encontram-se no grupo 1 com destaque ao periódico *Iop Conference Series Earth And Environmental Science*. Em análise aos trabalhos dessa fonte, nota-se que as publicações são entre os anos de 2017 e 2020, evidenciando que se trata de estudos recentes. O grupo 2 contém 18% (28 publicações) das publicações, enquanto o grupo 3 apresenta 52% (80 publicações) dos trabalhos publicados.

Tabela 2. Principais Periódicos de Publicação.

Periódicos	Nº de publicações
Grupo 1 – 11 Periódicos	46
Iop Conference Series Earth And Environmental Science	8
Ecological Indicators	7
Proceedings Of SPIE The International Society For Optical Engineering	6
Shengtai Xuebao Acta Ecologica Sinica	4
Applied Geography	3
Natural Hazards	3
Zhongguo Huanjing Kexue China Environmental Science	3
Anuário Do Instituto De Geociências	3
Environmental Monitoring And Assessment	3
Geociências	3
Ra E GA O Espaço Geográfico Em Análise	3
Grupo 2 – 14 Periódicos	28
Grupo 3 – 80 Periódicos	80
Total – 105	154

Fonte: Autores.

3.4 Obras com Maior Relevância

Foram consideradas as publicações mais relevantes de acordo com o número de citações recebidas por outros trabalhos listados pela *Scopus*. As 10 publicações mais citadas foram listadas na Tabela 3 somando um total de 959 citações, até a data da pesquisa.

A publicação “*Eco-environmental vulnerability evaluation in mountainous region using remote sensing and GIS - A case study in the upper reaches of Minjiang River, China*”, publicada no *Ecological Modelling*, recebeu 178 citações, ocorridas entre 2006, ano de publicação, até 2021, evidenciando sua relevância em 15 anos desde sua publicação.

No trabalho supracitado, Li. *et al.* (2006) abordam o tema vulnerabilidade ambiental no do vale do Rio *Minjiang*, localizado na borda oriental da planície de Qinghai-Tibet, o qual em seu curso superior é caracterizado pela distribuição complexa de colinas e vales. A análise da vulnerabilidade ambiental contou com o auxílio de tecnologias de sensoriamento remoto (SR), sistemas de informação geográfica (SIG) e um modelo numérico ambiental utilizando o método de análise de componentes principais (SPCA) em um espaço de tempo de 28 anos.

Tabela 3. Publicações com maior número de citações.

Autor (es)	Título	Periódico	Ano	Nº de Citações
Li, A., Wang, A., Liang, S., Zhou, W.	<i>Eco-environmental vulnerability evaluation in mountainous region using remote sensing and GIS - A case study in the upper reaches of Minjiang River, China</i>	<i>Ecological Modelling</i>	2006	178
Johnson, D.P., Stanforth, A., Lulla, V., Luber, G.	<i>Developing an applied extreme heat vulnerability index utilizing socioeconomic and environmental data</i>	<i>Applied Geography</i>	2012	135
Wang, X.D., Zhong, X.H., Liu, S.Z., (...), Wang, Z.Y., Li, M.H.	<i>Regional assessment of environmental vulnerability in the Tibetan Plateau: Development and application of a new method</i>	<i>Journal of Arid Environments</i>	2008	110
Li, L., Shi, Z.-H., Yin, W., (...), Cai, C.-F., Lei, A.-L.	<i>A fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) approach to eco-environmental vulnerability assessment for the danjiangkou reservoir area, China</i>	<i>Ecological Modelling</i>	2009	104
Van Westen, C.J.	<i>Remote Sensing and GIS for Natural Hazards Assessment and Disaster Risk Management</i>	<i>Treatise on Geomorphology</i>	2013	90
Nguyen, A.K., Liou, Y.-A., Li, M.-H., Tran, T.A.	<i>Zoning eco-environmental vulnerability for environmental management and protection</i>	<i>Ecological Indicators</i>	2016	79
Zhao, J., Ji, G., Tian, Y., Chen, Y., Wang, Z.	<i>Environmental vulnerability assessment for mainland China based on entropy method</i>	<i>Ecological Indicators</i>	2018	72
Grecchi, R.C., Gwyn, Q.H.J., Bénié, G.B., Formaggio, A.R., Fahl, F.C.	<i>Land use and land cover changes in the Brazilian Cerrado: A multidisciplinary approach to assess the impacts of agricultural expansion</i>	<i>Applied Geography</i>	2014	70
Sahoo, S., Dhar, A., Kar, A.	<i>Environmental vulnerability assessment using Grey Analytic Hierarchy Process based model</i>	<i>Environmental Impact</i>	2016	65
WANG, S.-Y., LIU, J.-S., YANG, C.-J.	<i>Eco-Environmental Vulnerability Evaluation in the Yellow River Basin,</i>	<i>Pedosphere</i>	2008	56
Total				959

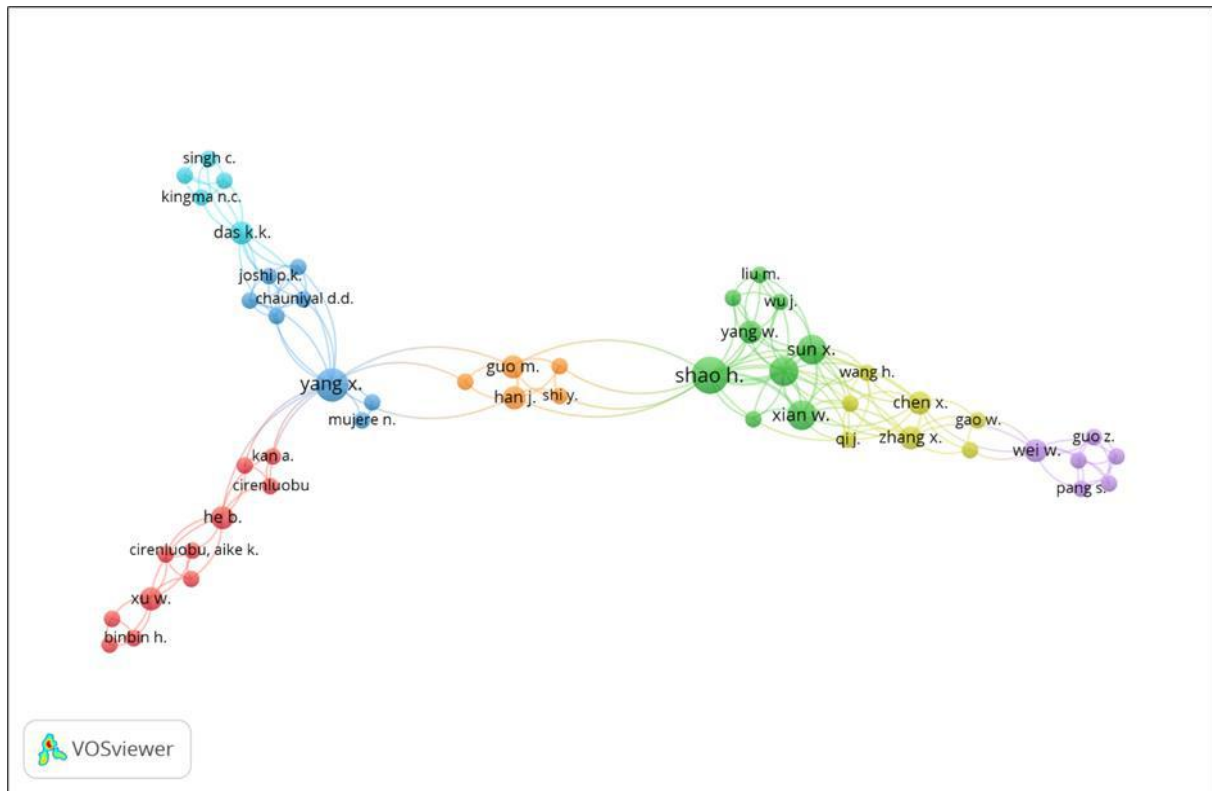
Fonte: Autores.

3.5 Redes de Coautoria

A coautoria é uma forma de colaboração que implica numa relação temporal e científica, onde autores compartilham ideias e recursos, diferenciando das citações, podendo ocorrer sem que os autores se conheçam ou tenham se comunicado, e se estendem ao longo do tempo (Andrade, 2016).

Utilizam-se das redes de coautorias com o objetivo de identificar a interação e a colaboração entre autores em torno da temática investigada. Desta forma, mapearam-se as redes de coautoria a partir de autores com pelo menos uma publicação, gerando uma rede com 51 autores dispostos em 7 *clusters* (Grupos), conforme Figura 2.

Figura 2. Rede de Coautoria.



Fonte: Autores.

Observou-se que, n primeiro cluster (vermelho) reuniram-se 11 autores, destacando He B., Kan A. e Xu W. O cluster dois (verde), é composto por 9 autores e apresenta o maior número de linhas, evidenciando a alta relação entre os autores, sendo eles: Shao H., Xiang Z., Xian W., Sun X., Yang W., Wu J., Liu M., Shao Q. e Tao S. Já o terceiro cluster (azul escuro) é formado por 8 autores, Yang X., Eslamian S., Mujere N., Xu J., Chauniyal D. D., Melhick D.R., Joshi P. K e Yu H.

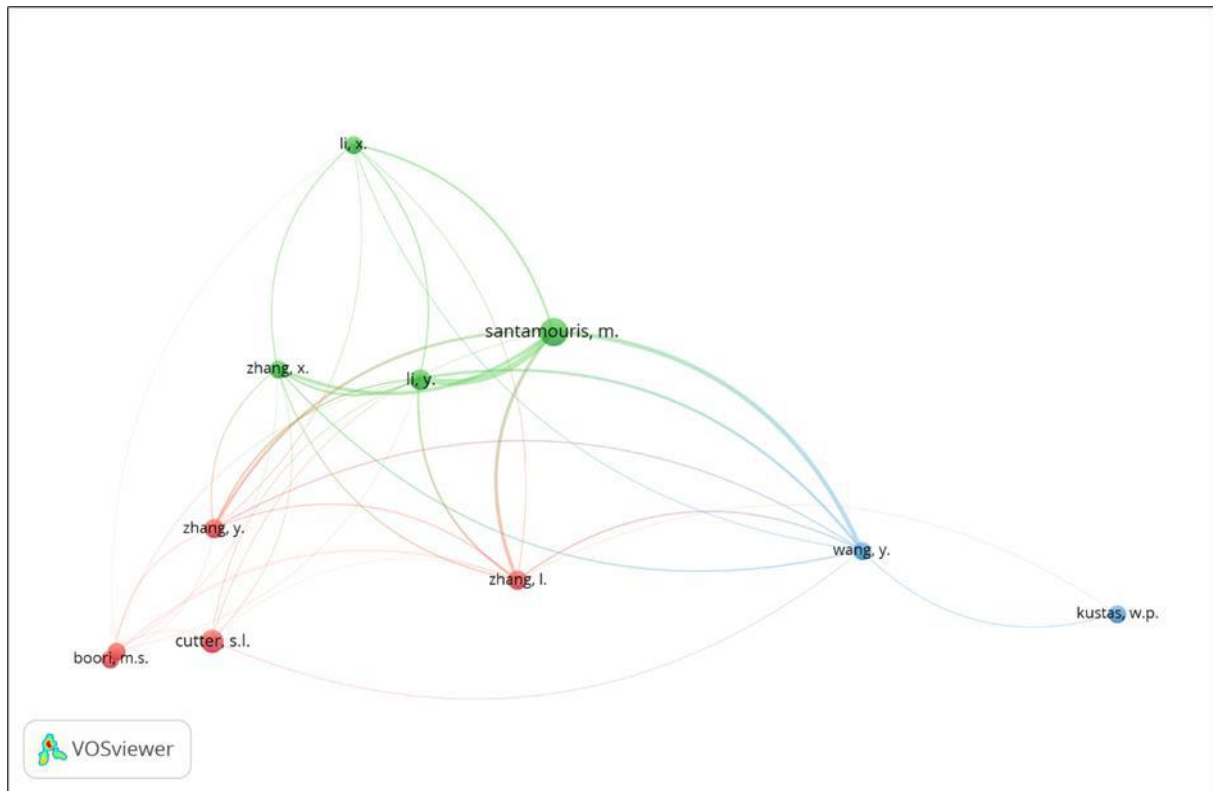
O quarto cluster (amarelo) é constituído por 7 autores, Zhang X., Jiang M., Gao W., Chen X., Wang H., Tan R., e Qi J., enquanto o quinto cluster (lilás) é constituído por 6 autores, Xie B., Guo Z., Li Z., Zhou J., Pang S. e Wei W. Por fim, o sexto (azul claro) e sétimo (laranja) clusters são compostos por 5 autores cada, sendo eles respectivamente; Guo M. Han J., Ran H., Shi Y., Yang Q., Das K.K., Kingma N.C., Kushwaha S.P.S., Nandy S. e Singh C.

3.6 Rede de Cocitações

Van Eck e Waltman (2014) descrevem que quanto maior o número de publicações, nas quais duas publicações são citadas juntas, mais forte é a relação de cocitação entres elas. Visto que, para Grácio (2016), a proximidade e a interlocução de dois documentos não são determinadas pelos seus autores, mas pela comunidade científica que se apropria desse conteúdo e estabelece conexões a fim de gerar novos conhecimentos.

Para a análise de cocitações, considerou-se como parâmetro o autor com no mínimo 20 citações, resultando em uma rede de 11 autores distribuídos em 3 *clusters*, Figura 3.

Figura 3. Rede de cocitações.



Fonte: Autores.

O mapa de rede de cocitações é interpretado pelo tamanho dos círculos indicando o volume de citações que cada pesquisador recebeu e a espessura das linhas representa a intensidade dos laços de cocitações (Souza & Fontenele, 2019).

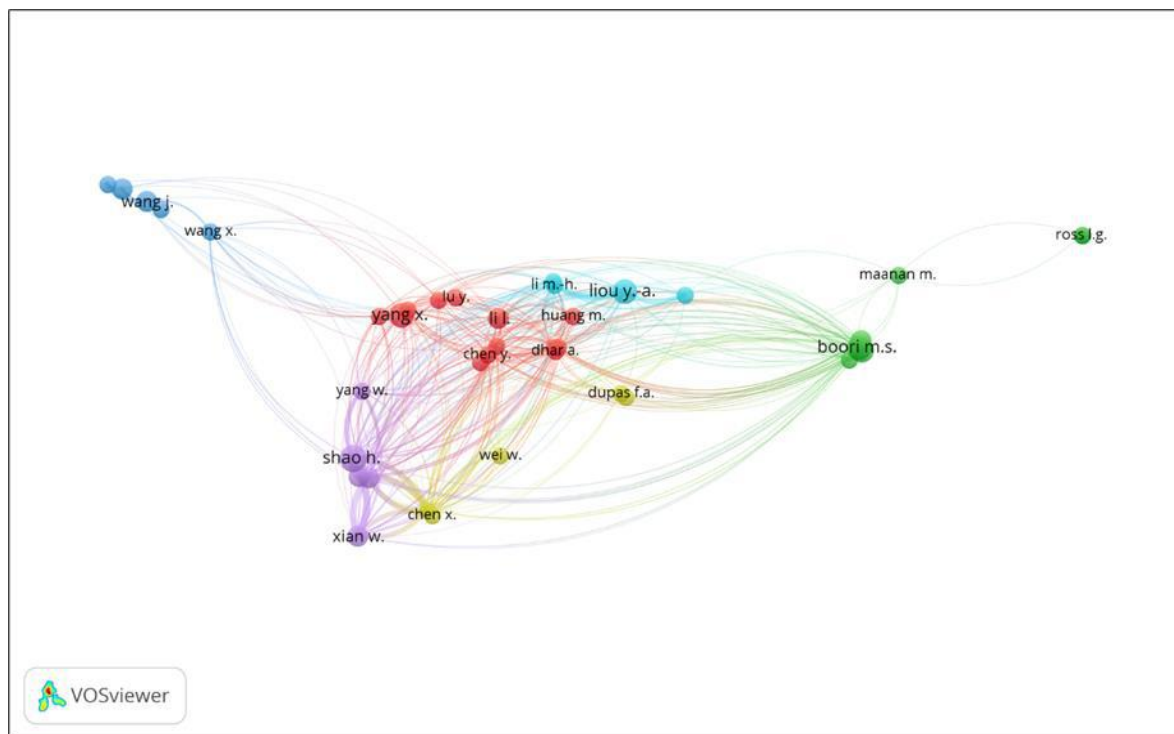
O primeiro *cluster* (vermelho), reuniu 5 autores, o segundo *cluster* (verde) 4 autores e o terceiro (azul) *cluster* 2 autores. Recebendo destaque no *cluster* 1 os autores, Cutter, S.L., Zhang, I., Zhang, Y. e Boori, M. S., no *cluster* 2, Li, Y., Li, X., Zhang, X. e Santamouris, M., por fim, no *cluster* 3 Wang, Y. e Kustas, W. P.

3.7 Rede de Acoplamento Bibliográfico

O acoplamento bibliográfico refere-se à sobreposição nas listas de referências das publicações, no qual, quanto maior o número de referências que duas publicações têm em comum, maior é a relação de acoplamento bibliográfico entre elas (Van Eck & Waltman, 2014). Desse modo, o acoplamento bibliográfico estabelece uma conexão entre dois artigos ao utilizarem as mesmas referências (Grácio, 2016).

Participaram da rede autores com pelo menos dois documentos listados na base de dados e com no mínimo duas citações, gerando uma relação entre 39 autores agrupados em 6 *clusters* (Figura 4). Cada pesquisador integrante de um *cluster* tende a citar os mesmos autores que os demais participantes do mesmo *cluster*.

Figura 4. Acoplamento bibliográfico entre autores.



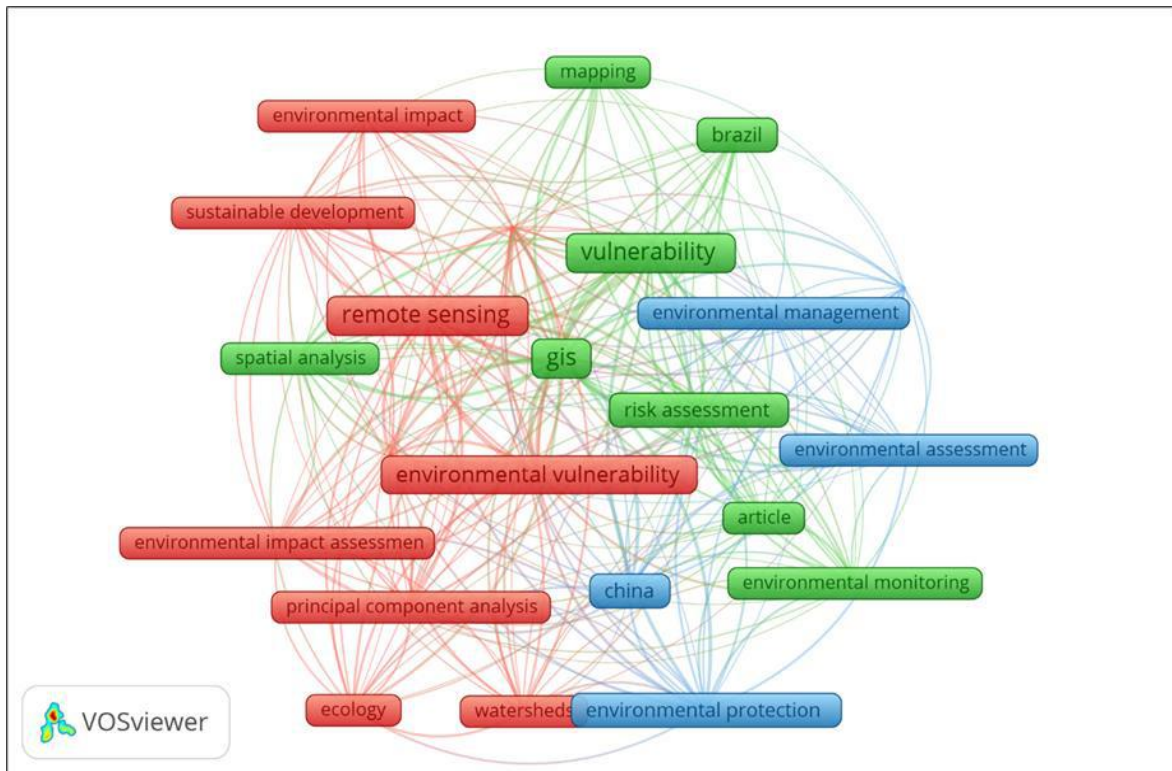
Fonte: Autores.

Os autores em destaque na rede, majoritariamente, são autores que também têm o maior volume de publicações (Tabela 1), indicando, assim, uma proximidade de assunto entre os cocitados, seja por similaridade ou contraposição de ideias, por complementaridade teórica - metodológica ou compartilhamento metodológico, além disso, quanto maior a frequência de cocitação, mais consolidado está a correlação do conhecimento estabelecido pelos citantes (Grácio, 2016).

3.8 Rede de Palavras-Chave

Os termos que representam o conteúdo de um documento são geralmente denominados como palavra-chave. Quando se analisa dois termos em um mesmo documento, entende-se que existe uma relação entre eles. Dessa maneira, quanto maior a frequência da coocorrência, maior será a conexão entre eles, entendendo que quanto mais documentos abordarem dois assuntos simultaneamente, maior será relação entre eles (Criado, *et al.*, 2018). O número de coocorrências de duas palavras-chave é o número de publicações em que ambas as palavras-chave ocorrem juntas no título, resumo ou lista de palavras-chave (Van Eck & Waltman, 2014). Para analisar a rede de palavras-chave, foram consideradas apenas palavras com no mínimo 10 ocorrências, resultando em 23 palavras-chave separadas em 3 *clusters* (Figura 5).

Figura 5. Rede de Palavras-Chave.



Fonte: Autores.

No primeiro *cluster* (vermelho) reuniram-se 10 palavras-chave, as que apresentaram maior frequência foram: *Remote Sensing*, *Environmental Vulnerability* e *Environmental Impact Assessment*, observando nesse *cluster* as palavras-chave utilizadas na busca no início da pesquisa, sugerindo a forte relação entre elas. No segundo *cluster* (verde) encontram-se 8 palavras-chave, com destaque para *Vulnerability*, *GIS* e *Risk Assessment*. O terceiro *cluster* (azul) apresenta 5 palavras-chave, sendo a palavra com maior ocorrência (22 ocorrências), China, a qual se deve por ser o país com o maior número de publicações. Diante disso, infere-se que as palavras-chave apresentadas na Figura 5 são as que apresentam maior frequência nas publicações analisadas, indicando a temática central dos documentos.

3.9 Análise dos Métodos Mais Empregados

Após a análise bibliométrica, fez-se a análise qualitativa evidenciando os métodos utilizados, nessa fase do trabalho refinou-se a busca em apenas publicações do tipo artigo, publicadas em inglês ou português (*TITLE-ABS-KEY ("environmental vulnerability") AND TITLE-ABS-KEY (gis* OR "Remote Sensing") AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE, "Portuguese")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar"))*). No processo, foram obtidos 91 artigos, observando que a metodologia mais utilizada foi, o sensoriamento remoto (SR) juntamente com os sistemas de informação geográfica (SIG). Foram identificados 16 artigos fora do objetivo da pesquisa, denominados, desse modo, por terem como objeto de estudo áreas com características diferentes da área de interesse da pesquisa, como por exemplo regiões costeiras. Para análise detalhada dos métodos e discussão, foram selecionados os 10 artigos mais citados, tais artigos, acabaram sendo os mesmos resultantes da busca anterior apresentados na Tabela 3. Na Tabela 4 é possível visualizar os métodos utilizados nos trabalhos e a quantidade de vezes que foram utilizados.

Tabela 4. Métodos utilizados pelos artigos e a quantidade de vezes que ele se repete entre os trabalhos.

Métodos Utilizados	Quantidade
SR + SIG	17
Fora do Objetivo da Pesquisa	16
SR + SIG + Hierarquia Analítica (AHP)	10
SR + SIG + Análise de Componentes Principais	8
Análise de Multicritério + SIG	6
SIG + Classificação modelagem-fuzzy	6
SIG – Sobreposição de mapas	3
SR + SIG + Algoritmo SAFER (Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving) + modelo de eficiência de uso de radiação (RUE)	2
Hierarquia Analítica + Lógica Fuzzy + SIG	2
SR + Pressão Estado Resposta	1
Método de Entropia	1
SIG + Equação de Perda de Solo Universal (modelo USLE)	1
SIG e o modelo de simulação de cultura CropSyst + Cartografia Pedológica	1
SIG + Métodos de Thieler e Hammar-Klose (2000) e Pendleton et al. (2005), adaptado	1
Modelo de Projeção + SIG + Sensoriamento Remoto	1
Avaliação de Risco Regional (RRA)	1
SR + SIG + PHYTOPIXAL	1
SR + Métricas hexagonais	1
Projection Pursuit Model (PPM) + SIG	1
SR + SIG + Modelo de regressão linear multivariada (MLR)	1
SIG + Método MEDALUS (Mediterranean Desertification and Land Use)	1
SR + SIG + Índice de Vulnerabilidade	1
SIG + Análise Multirisco	1
SR + SIG + Abordagens conservacionista e erosiva	1
SR + SIG + Modelagem Espacial	1
Comunidade Multiescala Sistema de Modelagem da Qualidade do Ar (CMAQ) + SIG	1
SR + SIG + Interpolação	1
Sensoriamento Remoto + Equação Diferencial	1
SIG + Métrica de Paisagem	1
<i>Índice Pesticide Water Contamination Risk Assessment (ARCA)</i>	1

Fonte: Autores.

O uso de SR em conjunto com SIG é o mais citado nos trabalhos, porém, a maioria deles aliam ao método o uso de análises estatísticas, com o objetivo de reduzir a dimensão dos dados. Um exemplo prático é o apresentado por Wang et al. (2008), que em seu trabalho, por meio da estatística, obtiveram fatores independentes para avaliar a vulnerabilidade ambiental, sendo eles separados em três grupos: impactos naturais (topografia, clima, solo e cobertura vegetal), impactos ambientais (erosão do solo, degradação da vegetação, deslizamento de montanha e desertificação da terra) e impactos humanos (densidade populacional, construção de estradas, pastagem e cultivo).

Semelhantemente, Nguyen *et al.* (2016) afirmam que o uso do sensoriamento remoto (SR), sistemas de informação geográfica (SIG) e processo hierárquico analítico (AHP) para avaliar a vulnerabilidade ambiental é útil para a proteção ambiental e o planejamento adequado do uso da terra e construção no futuro.

Juntamente com outros métodos, Sahoo *et al.* (2016) utilizam o Índice de Vulnerabilidade Ambiental (EVI), o qual usa fatores naturais, ambientais e humanos relacionados ao impacto, entre eles estão: solo, geologia, elevação, declive, precipitação, temperatura, velocidade do vento, índice de vegetação de diferença normalizada (NDVI), densidade de drenagem, intensidade da cultura, agricultura, densidade populacional e densidade rodoviária. A partir disso, mapas de vulnerabilidade ambiental são gerados, classificando as regiões vulneráveis em baixo, moderado, alto e extrema.

Fugindo do padrão até então citado e trazendo com intuito de selecionar e organizar indicadores para tomadas de decisões, Grecchi *et al.* (2014) utilizam a estrutura PSR (Pressão-Estado-Resposta), responsável por destacar a causa e o efeito nas relações entre mudanças antrópicas e mudanças natural no ambiente. O autor conclui que a estrutura PSR pode ser aplicada em diferentes fins (gestão da biodiversidade; avaliação da degradação ambiental), em contextos diferentes (geográficos, políticos) e em diferentes escalas.

No entanto, independentemente dos métodos usados, todas as estimativas de vulnerabilidade regional têm princípios básicos semelhantes, embora a estrutura de avaliação, a seleção de fatores e seus pesos possam variar de região para região, devido à variação das condições locais, não existindo assim uma regra geral para selecionar quantas variáveis são necessárias para avaliar vulnerabilidade ambiental (Wang *et al.* 2008 & Nguyen *et al.* 2016).

A avaliação da vulnerabilidade ambiental em grandes áreas se torna um processo difícil e complexo por depender de muitas variáveis, porém, uma avaliação ambiental tem grande importância para dar suporte de tomadas de decisões e na formulação de políticas de proteção ambiental (Zhao J *et al.*, 2018 & Wang *et al.*, 2008).

4 Considerações Finais

Constata-se a importância de realizar um estudo bibliométrico naquilo que diz respeito à delimitação de trabalhos específicos para garantir completa abrangência de produções científicas no tema, como no caso desse estudo que tratou sobre as técnicas utilizadas para análise da vulnerabilidade ambiental com o uso de Geotecnologias.

Com base nos critérios adotados neste estudo, a China é o país com o maior número de publicações, seguida pelo Brasil e os Estados Unidos. Há um número elevado de autores, contudo cerca de 74,5 % com apenas uma publicação. No entanto, é inegável o peso da importância da participação chinesa no desenvolvimento científico nesse campo. A técnica que pode ser classificada como referência, adotada a mais tempo é a sobreposição de mapas, ainda encontrada, de forma aprimorada, nos trabalhos atuais sobre vulnerabilidade ambiental.

Com base nos dados apresentados de publicações por ano, nota-se um aumento da produção científica nessa área, indicando, assim, maior preocupação sobre os cuidados e a análise do meio ambiente nos últimos anos. O mapeamento de redes em publicações científicas leva a observar a forte relação entre alguns autores, evidenciando uma proximidade de assunto entre eles, seja por similaridade, contraposição de ideias ou metodologia.

Para a temática de vulnerabilidade ambiental, notam-se que as técnicas mais utilizadas se referem às técnicas utilizando SR e SIG em conjunto com métodos estatísticos, a inclusão desses métodos tem a finalidade de redimensionar os dados, a exemplo se dá, a análise multicritério a qual inclui a AHP e a Análise de Componentes.

O uso de estudos bibliométricos auxiliam em análise preliminar o desenvolvimento de trabalhos científicos, proporcionando ao autor a orientação na utilização de trabalhos e metodologias relevantes, produzindo, dessa maneira, trabalhos com base teórica mais confiável.

Visto isso, sugere-se que trabalhos futuros, independente do tema, utilizem como base um estudo bibliométrico. Já na temática apresentada, fica a sugestão em abranger a pesquisa feita nesse trabalho, a fim de encontrar novos métodos para mapeamento ambiental, não somente a vulnerabilidade, mas incluindo, por exemplo, riscos de degradação ambiental e fragilidade ambiental.

Referências

Andrade, R. L. (2016). *A influência das redes de coautoria na performance dos bolsistas de produtividade e nos programas de pós-graduação em engenharia de produção*. [Dissertação de Mestrado]. Universidade Federal de Pernambuco, Recife. <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/17264>.

- Belward, A. S.; Skoien, J. O. (2015). "Who Launched What, When and Why; Trends in Global Land-Cover Observation Capacity from Civilian Earth Observation Satellites." *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing: Official Publication of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing* 103 (May): 115–28.
- CONAB. (2020). *Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos. Primeiro levantamento*, Brasília. https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/35523_38fae3bc88d9b5f875d991b8be1490da.
- Criado, M. O. U., Sánchez, J. J. N. & Valentín, E. M. M. (2018). A research agenda on open innovation and entrepreneurship: a co-word analysis. *Administrative Sciences*, 8(34), 1-17.
- Grácio, M. C. C. (2016). Acoplamento bibliográfico e análise de cocitação: revisão teórico-conceitual. *Encontros Bibli: revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação*, 21(47), 82-99.
- Grecchi R. C., Gwyn, Q. H., Bénié, G. B., Formaggio, A. R. & Fahl, F. C. (2014). Land use and land cover changes in the Brazilian Cerrado: A multidisciplinary approach to assess the impacts of agricultural expansion. *Applied Geography*, 55, 300-312.
- Grigio, A.M. (2003). *Aplicação do sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica na determinação da vulnerabilidade natural e ambiental do Município de Guaramé (RN): simulação de risco às atividades da indústria petrolífera*. o [Dissertação de mestrado]. Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. <https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/18766/1/AlfredoMG.pdf>.
- ISO 14091:2021. (2021). *Adaptation to climate change: Guidelines on vulnerability, impacts and risk assessment*. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14091:ed-1:v1:en>.
- Li, A., Wang, A., Liang, S. & Zhou, W. (2006) Eco-environmental vulnerability evaluation in mountainous region using remote sensing and GIS – a case study in the upper reaches of Minjiang River, China. *Ecological Modelling*, 192, 175–187.
- Lorena, R.B., Santos, J.R., Shimabukuro, Y.E., Sant'anna, H.M., Sant'anna, H.S.S. & Menezes, R.S. (2001). Dados multitemporais de sensoriamento remoto para análise da dinâmica do solo e da cobertura da terra na região do Peixoto (AC). In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, FOZ DO IGUAÇU. Anais X SBSR*, 1653-1656.
- Machado Junior, C., Souza, M. T. S., Parisotto, I. R. D. S., & Palmisano, A. (2016). As Leis da Bibliometria em Diferentes Bases de Dados Científicos. *Revista de Ciências da Administração*, 18(44), 111-123.
- Menezes, S. D. & Caregnato, S. E. (2018). Produção científica brasileira em química entre 2004 e 2013: análise dos artigos indexados na Web of Science. *Encontros Bibli: Revista Eletrônica de Biblioteconomia e Ciência da Informação*, 23(53), 25-38.
- Microsoft Excel. (2020) *Microsoft 365: Excel*. <https://www.microsoft.com/pt-br/microsoft-365/excel>.
- Milanezi, C. H. da S. & Pereira, J. G. (2016). Caracterização da Vulnerabilidade Ambiental na Microbacia Do Córrego Azul, Ivinhema – MS. *Geografia*, 25(1), 43–63.
- Mueller, S. (2013). Estudos métricos da informação em ciência e tecnologia no Brasil realizados sobre a unidade de análise artigos de periódicos. *Metric studies on science and technology information in Brazil having the scientific article as unit of analysis*. *Liinc em Revista*, 9(1).
- Nguyen, A. K., Liou, Y., Li, M. & Tran, T. A. (2016). Zoning eco-environmental vulnerability for environmental management and protection. *Ecological Indicators*, 69, 100-117.
- Ruas, T. L. & Pereira, L. (2014). Como construir indicadores de Ciência, tecnologia e inovação usando web of science, Derwent World Patent Index, Bibexcel e Pajek? *Perspectivas Em Ciência Da Informação*, 19(3), 52–81.
- Sahoo S., Dhar, A. & Kar, A. (2016). Environmental vulnerability assessment using Grey Analytic Hierarchy Process based model. *Environmental Impact Assessment Review*, 56, 145–154.
- Si-Yuan W., Jing-Shi L. & Cun-Jian Y. (2008). Eco-Environmental Vulnerability Evaluation in the Yellow River Basin, China. *Pedosphere*, 18, 171-182.
- Souza, E. da S. & Fontanele, R.E.S. (2019). Mapeamento da produção científica internacional sobre Valores Humanos Básicos. *Em Questão*, Porto Alegre, 25(3), 214-245.
- Tagliani, C.R.A. (2003). *Técnica para Avaliação da Vulnerabilidade Ambiental de Ambientes Costeiros Utilizando um Sistema Geográfico de Informação*. In: *Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto*, Belo Horizonte. Anais XI SBSR, 11, p. 1657-1664.
- The Mendeley Support Tea. (2017). *Mendeley Reference Manager for Desktop*. Versão 1.17.
- Van Eck, N.J. & Waltman, L. (2014). Visualizing bibliometric networks. In Y. Ding, R. R.; Wolfram, D. *Measuring scholarly impact: Methods and practice*, 285–320.
- Vosviewer. (2020). *Visualizing scientific landscapes*. Versão 1.6.15 de 2020.
- Wang X. D., Zhong, X. H., Liu, S.Z., Liu, J. G., Wang, Z.Y. & Li, M. H. (2008). Regional assessment of environmental vulnerability in the Tibetan Plateau: Development and application of a new method. *Journal of Arid Environments*, 72, 1929-1939.
- Zhao J., Ji, G., Tian, Y., Chen, Y. & Wang, Z. (2018). Environmental vulnerability assessment for mainland China based on entropy method. *Ecological Indicators*, 91, 410–422.