



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

JESSYCA SAMARITHANA FERREIRA AIRES

**TOMADA DE DECISÃO BASEADA NA ABORDAGEM INTEGRADA GIS-MCDA**

Recife

2021

JESSYCA SAMARITHANA FERREIRA AIRES

**TOMADA DE DECISÃO BASEADA NA ABORDAGEM INTEGRADA GIS-MCDA**

Dissertação de Mestrado apresentada à UFPE para a obtenção de grau de Mestre, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

**Área de Concentração:** Gerência da Produção.

**Orientadora:** Profa. Dra. Caroline Maria de Miranda Mota

Recife

2021

Catálogo na fonte  
Bibliotecário Gabriel Luz, CRB-4 / 2222

A298t Aires, Jessyca Samarithana Ferreira  
Tomada de decisão baseada na abordagem integrada GIS-MCDA  
/ Jessyca Samarithana Ferreira Aires – Recife, 2021.  
104 f.: figs., gráfs., quadros.

Orientadora: Profa. Dra. Caroline Maria de Miranda Mota.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco.  
CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção,  
2021.

Inclui referências.

1. Engenharia de Produção. 2. GIS-MCDA. 3. Revisão de  
literatura. 4. Modelo de estruturação. 5. Tomada de decisão. I. Mota,  
Caroline Maria de Miranda (Orientadora). II. Título.

UFPE

658.5 CDD (22. ed.)

BCTG / 2021 - 154

JESSYCA SAMARITHANA FERREIRA AIRES

**TOMADA DE DECISÃO BASEADA NA ABORDAGEM INTEGRADA GIS-MCDA**

Dissertação de Mestrado apresentada à UFPE para a obtenção de grau de Mestre, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

Aprovada em: 24 / 02 / 2021

**BANCA EXAMINADORA**

---

Profa. Dra. Caroline Maria de Miranda Mota (Orientadora)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Cristiano Alexandre Virgínio Cavalcante (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. João Luíz Kowaleski (Examinador Externo)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dedicado à Deus e a minha família, pilares da minha existência.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, Senhor do universo, aquele que é caminho no deserto e luz na escuridão, que me sustentou até aqui.

À minha família, meu pai Carlos Alberto, meus irmãos Wellington e Marta, pelo suporte nas horas difíceis, incentivo e amor incondicional.

À minha orientadora, Caroline Mota, por todo suporte prestado no desenvolvimento da pesquisa. Agradeço por sua paciência, alegria e carisma com os quais me direcionou para buscar o melhor. Sua forma de agir me motiva diariamente e me inspira nesse árduo processo.

Ao meu namorado Stéfano Sousa por todo suporte, paciência e companheirismo dispensados nessa caminhada.

Aos meus amigos, Elton, Augusto, Maria do Livramento, Gabriel, Caroline e Amanda por todo apoio durante essa fase. Em especial, agradeço ao meu fiel amigo Elton, por tudo que compartilhamos ao longo desses dois anos. E a Gabriel por ser esse anjo enviado por Deus pra cuidar de mim nos momentos difíceis.

Agradeço a todos os meus colegas do laboratório PMD, por todas as risadas, companheirismo e troca de conhecimento.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP/UFPE), por todo conhecimento compartilhado, ensinamentos que contribuíram diretamente pra meu crescimento profissional e pessoal.

Aos professores da banca avaliadora pela disponibilidade, paciência e cuidado para avaliação da pesquisa.

A Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pelo suporte financeiro a mim concedido durante o período de mestrado.

Por fim, agradeço a todos os colegas que atuaram indiretamente para desenvolvimento da minha pesquisa.

## RESUMO

A presente pesquisa apresenta a definição de uma sistemática de tomada de decisão baseada em uma combinação de abordagens do Sistema de Informações Geográficas (GIS) e da Análise de Decisão Multicritério (MCDA). Sua motivação é derivada do fato de que tendo em vista as aplicações dos métodos MCDA em diferentes contextos de tomada de decisão, deve-se considerar o uso dessa abordagem em conjunto com o GIS, visto que as capacidades colaborativas de ambas podem obter melhores resultados, bem como, decisões mais acertadas. Nesse sentido, o uso do GIS auxilia visualmente na tomada de decisões em caráter espacial, considerando nesse processo não apenas as relações de preferências do decisor, mas também os aspectos espaciais característicos de uma dada região. Para isto, foi necessária a realização de uma vasta revisão de literatura objetivando o embasamento para definir uma estrutura baseada em GIS-MCDA. Apesar da existência de metodologias que integrem essas ferramentas, percebeu-se uma variabilidade na forma como os problemas são estruturados evidenciando, inclusive, limitações acerca desse processo. Além disso, foi observado que as aplicações suportam decisões nos âmbitos público e privado estando sujeitas à disponibilidade de recursos escassos ocasionando a limitação de medidas. Dessa forma, há uma necessidade de identificar e definir uma sistemática de decisão a partir da integração GIS-MCDA que será útil para construção de novos modelos, além de fornecer, de maneira genérica, apoio para estruturação de problemas em diversos contextos a fim de promover melhorias no processo decisório, destacando inclusive os elementos essenciais para resolução desses problemas. Dentre outras contribuições, o trabalho apresenta, a partir da revisão do estado da arte, uma análise de como os problemas são estruturados em diferentes áreas de domínio, apontando possíveis tendências, entre outros fatores.

Palavras-chave: GIS-MCDA. Revisão de literatura. Modelo de estruturação. Tomada de decisão.

## **ABSTRACT**

This research presents the definition of a decision-making system based on a combination of approaches from the Geographic Information System (GIS) and Multicriteria Decision Analysis (MCDA). Their motivation is derived from the fact that in view of the applications of MCDA methods in different decision-making contexts, one should consider using this approach in conjunction with GIS, since the collaborative capabilities of both can achieve better results, as well as more correct decisions. In this sense, the use of GIS visually helps in making decisions in a spatial character, considering in this process not only the relations of preferences of the decision maker, but also the spatial aspects characteristic of a given region. For this, it was necessary to carry out a vast literature review to provide the basis for defining a structure based on GIS-MCDA. Despite the existence of methodologies that integrate these tools, it was noticed a variability in the way the problems are structured, showing even limitations about this process. In addition, it was observed that the applications support decisions in the public and private spheres, subject to the availability of scarce resources, causing the limitation of measures. Thus, there is a need to identify and define a decision system based on the GIS-MCDA integration that will be useful for building new models, in addition to providing, in a generic way, support for structuring problems in different contexts to promote improvements in the decision-making process, highlighting even the essential elements for solving these problems. Among other contributions, the work presents, from the state of the art review, an analysis of how the problems are structured in different areas of domain, pointing out possible trends, among other factors.

**Keywords:** GIS-MCDA. Literature review. Structuring model. Decision making.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Procedimentos metodológicos da revisão.....	26
Figura 2 - Rede de coautoria.....	29
Figura 3 - Rede de cocitação .....	30
Figura 4 - Rede de coocorrência de palavras chave .....	31
Figura 5 - Etapas para construção da matriz de cruzamento de dados .....	35
Figura 6 - Estrutura de tomada de decisão baseada em GIS-MCDA.....	50
Figura 7 - Espaço estratégico para tomada de decisão .....	55

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Distribuição de publicações .....	32
Gráfico 2 - Categorização de publicações por país de origem .....	34
Gráfico 3 - Porcentagem de trabalhos por tipo de métodos .....	48
Gráfico 4 - Modelo de saída de dados .....	49

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação dos métodos multicritério .....	22
Quadro 2 - Métodos utilizados na abordagem GIS-MCDA.....	36
Quadro 3 - Matriz de cruzamento de dados. ....	38
Quadro 4 - Validação da sistemática.....	59

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA .....	13
1.2	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA .....	14
1.3	OBJETIVOS .....	15
<b>1.3.1</b>	<b>Objetivo geral</b> .....	<b>15</b>
<b>1.3.2</b>	<b>Objetivos específicos</b> .....	<b>15</b>
1.4	METODOLOGIA.....	16
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	17
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>19</b>
2.1	SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (GIS) .....	19
2.2	ANÁLISE DE DECISÃO MULTICRITÉRIO (MCDA).....	20
2.3	GIS-MCDA .....	23
<b>3</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>25</b>
3.1	DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DE COLETA DE TRABALHOS .....	26
3.2	FILTRAGEM E SELEÇÃO DE TRABALHOS .....	27
3.3	ANÁLISE DOS TRABALHOS SELECIONADOS.....	27
<b>3.3.1</b>	<b>Análise bibliométrica</b> .....	<b>28</b>
3.3.1.1	Análise de coautoria.....	28
3.3.1.2	Análise de cocitação .....	29
3.3.1.2	Análise de coocorrência de palavras-chave.....	30
<b>3.3.2</b>	<b>Codificação e classificação</b> .....	<b>31</b>
<b>3.3.3</b>	<b>Criação de um banco de dados</b> .....	<b>34</b>
3.3.3.1	Análise dos resultados.....	36
<b>4</b>	<b>ESTRUTURA DE TOMADA DE DECISÃO GIS-MCDA</b> .....	<b>50</b>
4.1	FORMALIZAÇÃO DA ESTRUTURA DE TOMADA DE DECISÃO BASEADA EM GIS-MCDA .....	50
4.2	DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DA SISTEMÁTICA .....	51
<b>4.2.1</b>	<b>Descrição do problema</b> .....	<b>51</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Preparação GIS</b> .....	<b>52</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Análise GIS</b> .....	<b>53</b>

<b>4.2.4</b>	<b>Modelagem GIS-MCDA.....</b>	<b>54</b>
<b>4.2.5</b>	<b>Procedimentos alternativos.....</b>	<b>56</b>
<b>4.2.6</b>	<b>Análise de sensibilidade .....</b>	<b>57</b>
<b>4.2.7</b>	<b>Implementação.....</b>	<b>57</b>
<b>4.3</b>	<b>VALIDAÇÃO DA SISTEMÁTICA .....</b>	<b>58</b>
<b>5</b>	<b>DISCUSSÕES.....</b>	<b>67</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>70</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>72</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Nesse capítulo o problema é contextualizado envolvendo sua descrição, justificativa, objetivos, metodologia geral, e estruturação do trabalho.

### 1.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

O processo de tomada de decisão é uma tarefa complexa, uma vez que, diferentes elementos do processo de avaliação possuem caráter divergente seja em objetivos ou disponibilidade de informações. Assim, torna-se importante a avaliação das consequências relacionadas a cada decisão (DE ALMEIDA, 2013) por meio do espelhamento da realidade em modelos simplificados (JELOKHANI-NIARAKI; MALCZEWSKI, 2015). A qualidade dessas decisões pode ser afetada pela organização dos diversos elementos, por exemplo, sendo necessário o desenvolvimento de um processo estruturado. Nesse sentido, os campos de desenvolvimento de modelos, métodos e ferramentas que apoiem esses cenários são cada vez mais relevantes.

As técnicas e procedimentos do Sistema de Informações Geográficas (da sigla em inglês *Geographic information system*-GIS) tem um papel importante na análise de questões que envolvem múltiplos critérios, de modo que, oferecem recursos específicos para armazenar, visualizar, manipular e gerenciar dados geoespaciais para tomada de decisão (MALCZEWSKI; RINNER, 2015). Por outro lado, a Análise de Decisão Multicritério (da sigla em inglês *Multicriteria Decision Analysis*-MCDA) é composta por uma variedade de métodos que são capazes de apoiar a complexidade desses processos decisórios. Esses métodos são demandados para lidar com constelações de decisões complexas nas quais diversos aspectos tecnológicos, econômicos, ambientais e sociais devem ser cobertos (OGATO *et al.*, 2020).

Sob essa lógica, os métodos multicritério em conjunto com os sistemas de informação geográfica (GIS-MCDA) vêm se mostrando úteis em diferentes aplicações algumas das quais se pode mencionar o desenvolvimento da metodologia para identificação de locais adequados à captação de água e recarga artificial (SINGH; JHA; CHOWDARY, 2017), apontamento de locais adequados para construção de

usina nuclear (BASKURT; AYDIN, 2018), análise de riscos em sistemas pluviais urbanos (SHARIAT; ROOZBAHANI; EBRAHIMIAN, 2019) e mapeamento do índice de vulnerabilidade de regiões ao aumento do nível do mar (MOHAMED, 2020).

Apesar da existência de metodologias de integração do GIS com MCDA, percebeu-se que os problemas são estruturados de formas variáveis evidenciando algumas limitações na abordagem combinada. Além disso, tendo em vista que as aplicações dos métodos GIS-MCDA suportam decisões a serem tomadas em âmbito público e/ou privado, e que estas medidas são limitadas à disponibilidade de recursos escassos, o presente trabalho tem por objetivo identificar e definir uma estrutura metodológica da integração GIS-MCDA por meio de uma revisão abrangente de trabalhos em diferentes contextos de aplicação.

## 1.2 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

Diante do exposto, é notória a importância do uso da abordagem combinada de GIS-MCDA para beneficiar o gerenciamento de questões visando o aprimoramento das decisões e apoiando planos e avaliações alternativas. As capacidades colaborativas dos procedimentos de GIS e MCDA podem potencialmente melhorar os processos de tomada de decisão espacial e de obtenção de consenso (JELOKHANI-NIARAKI; MALCZEWSKI, 2015).

Dessa forma, é válido destacar, que muitos problemas de decisão espacial dão origem à análise de decisão multicritério baseada em GIS (MALCZEWSKI, 2006). Assim, pesquisadores que trabalham com adequação de espaço, seleção e/ou classificação de áreas adequadas para determinado objetivo, por exemplo, estão cada vez mais interessados com uso dessa abordagem integrada GIS-MCDA (AŞILIOĞLU; MEMLÜK, 2017). Portanto, as características distintas dessas duas ferramentas, podem se beneficiar uma da outra para resolver o problema de dados espaciais e análise de tomada de decisão (KAYA *et al.*, 2020).

A capacidade sinérgica do GIS-MCDA é demonstrada basicamente através de um processo que combina dados geográficos com valores de julgamentos para tomada de decisão (MALCZEWSKI, 2006). Os recursos do MCDA integrados ao GIS tornam o MCDA baseado em GIS um dos métodos mais úteis e robustos para análise

de decisão espacial (FEIZIZADEH; KIENBERGER, 2017). Essa combinação de ambas as abordagens tem o potencial de aumentar sua força analítica (MESSAOUDI *et al.*, 2019).

Mas apesar da existência do uso simultâneo das duas ferramentas, GIS e MCDA, percebe-se que há variação na forma como os problemas são estruturados a partir delas, evidenciando assim algumas limitações. Além disso, esse processo decisório muitas vezes está atrelado ao âmbito público e/ou privado, sujeito inclusive à limitação de recursos disponíveis. Nesse sentido, é de suma importância formalizar uma estrutura genérica de abordagem integrada GIS-MCDA a fim de estruturar os problemas e questões visando não apenas atender as limitações de medidas, mas também a buscar por melhorias nas decisões que são tomadas.

### 1.3 OBJETIVOS

Nesta seção são apresentados os objetivos geral e específicos para desenvolvimento da pesquisa.

#### 1.3.1 Objetivo Geral

Propor uma sistemática para apoiar a modelagem de tomada de decisão baseada na abordagem combinada de GIS-MCDA.

#### 1.3.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral foram estabelecidos como objetivos específicos:

- a) Realizar uma revisão abrangente da literatura acerca de estudos realizados na área GIS-MCDA em diferentes contextos;
- b) Realizar uma análise bibliométrica a fim de delimitar a fronteira do conhecimento;
- c) Analisar como os problemas são estruturados a partir da modelagem GIS-MCDA;

- d) Classificar as aplicações GIS-MCDA através de elementos genéricos como tipo de método utilizado, classe de problema e modelo de saída de dados;
- e) Propor uma sistemática para modelagem GIS-MCDA identificando as ferramentas, métodos e técnicas que são utilizadas em cada etapa.

#### 1.4 METODOLOGIA

Considerando as potencialidades, necessidades e desafios atrelados ao presente estudo, e no que concerne as suas etapas fundamentais, inicialmente realizou-se uma revisão da literatura, a partir de artigos extraídos de periódicos acerca da integração GIS-MCDA. Assim, foi possível obter os conceitos importantes sobre o tema e fazer um levantamento dos principais trabalhos na área.

Foram consideradas aplicações em diferentes contextos para dinamizar o processo e propor algo mais genérico. Esta etapa foi fundamental para desenvolver o embasamento necessário para desenvolvimento da pesquisa. A princípio definiram-se os parâmetros de coleta dos trabalhos, incluindo escolha das bases de dados e definição das palavras chaves. Em seguida, após obtenção dos resultados da coleta, os artigos passaram por um processo de triagem a partir da definição de critérios de inclusão e exclusão. Ato contínuo, os documentos selecionados foram então analisados individualmente. Isto inclui análise bibliométrica, classificação dos trabalhos, criação de um banco de dados e discussões acerca dos resultados encontrados.

Após revisão da literatura, foi proposto uma sistemática para apoiar a modelagem de tomada de decisão baseada na abordagem combinada GIS-MCDA. Nele foram descritas as etapas necessárias para estruturação de um problema, identificando assim suas particularidades, como métodos e ferramentas utilizadas.

Por fim, para verificação da sistemática proposta são usados alguns artigos e demonstrado como cada trabalho pode ser estruturado baseado nessa abordagem.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação está estruturada em seis seções: introdução, referencial teórico, revisão da literatura, estrutura de tomada de decisão GIS-MCDA, discussões e considerações finais.

No primeiro capítulo é apresentada a introdução que detalha a contextualização do tema e a descrição do problema. Assim, é evidenciado a justificativa e relevância da pesquisa, bem como, o objetivo geral e os objetivos específicos que demonstram a finalidade do presente estudo. Outrossim, também é detalhada a metodologia da pesquisa descrevendo minuciosamente as etapas do processo para desenvolvimento do trabalho.

No segundo capítulo é exposto o referencial teórico que discute os principais conceitos chave sobre o tema. Dessa forma, apresentam-se a definição e as finalidades do Sistema de Informações Geográficas (GIS), em seguida destacam-se os conceitos sobre a Análise de Decisão Multicritério (MCDA), e posteriormente a junção de ambas as ferramentas GIS-MCDA, destacando suas potencialidades e sinergia.

No terceiro capítulo é apresentada uma abrangente revisão da literatura, a fim de analisar potencialmente as aplicações que utilizam a abordagem integrada GIS-MCDA e identificar suas limitações para então definir uma sistemática para construção de novos modelos. Além disso, é realizada análise bibliométrica, destacando a evolução, domínio e a fronteira do conhecimento do tema. São realizadas análises individuais de trabalhos fazendo um levantamento minucioso dos tipos de métodos utilizados, frequência, classes dos problemas e as áreas de domínio.

No quarto capítulo, é definida uma sistemática de tomada de decisão baseada na abordagem combinada GIS-MCDA, destacando inclusive como os trabalhos podem ser estruturados, quais as ferramentas são mais comumente utilizadas, entre outras questões.

As discussões acerca dos resultados são atribuídas no capítulo cinco, onde são expostas observações importantes sobre o tema.

No capítulo seis são apresentadas as considerações finais. Nessa seção são discutidas as limitações do trabalho em relação ao atingimento das finalidades e por fim são sugeridos tópicos para realização de trabalhos futuros.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esse capítulo apresenta os conceitos chave que norteiam o presente estudo.

### 2.1 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (GIS)

Convencionalmente, o Sistema de Informações Geográficas (GIS) trata-se de um conjunto de ferramentas para entrada, armazenamento, processamento e saída de dados espaciais (MALCZEWSKI; RINNER, 2015, p. 3). Além disso, é válido destacar que o GIS realiza análises e assim também oferece procedimentos para apoio a decisão (MURRAY, 2019). De acordo com Sharma, Kamble e Gunasekaran (2018), o GIS lida com uso de informações espaciais coletadas com padrões e relacionamentos que podem ser visualizadas através de ferramentas de computador. Os autores destacam ainda, que o GIS inclui os seguintes componentes:

Gerenciamento e integração dos dados espaciais coletados de diversas fontes no sistema GIS:

- Execução de análise de dados para convertê-las em informações úteis;
- Baseado nessas informações é possível desenvolver modelos diversificados;
- Fornecimento de apoio à decisão.

É fundamental a compreensão de como os dados são estruturalmente armazenados em um ambiente GIS em termos da análise de funcionalidades do sistema. Nesse sentido, as abordagens de organização de componentes estruturais mais utilizadas são a estrutura raster e a estrutura vetorial (MALCZEWSKI; RINNER, 2015, p. 5).

Em um modelo raster os dados são armazenados em uma matriz bidimensional de grade de células uniformes (pixels ou rasters), normalmente no formato quadrado. Supostamente, cada célula é homogênea, e sua posição é definida pela linha e pela coluna onde a mesma está localizada na grade (MALCZEWSKI, 2004). Então, um valor é armazenado em cada célula, representando a grandeza do fenômeno que acontece naquela posição.

No caso das entidades de formato vetorial, estas são representadas por sequências de coordenadas, seja um objeto do tipo ponto, linha ou polígono. Assim,

os dados são armazenados no computador com exata coordenada. Cada um desses objetos espaciais pode ter um identificador, que é a chave anexada para um banco de dados contendo os atributos da entidade. Esses objetos tem uma relação espacial definida chamada de topologia. Malczewski, (2004) afirma ainda que a maneira mais comum para estruturar a geografia do mundo real seja em qualquer uma dessas formas de organização citadas acima, é usar uma estrutura de camadas.

São crescentes as pesquisas baseadas em GIS, há uma infinidade de trabalhos que utilizam essa ferramenta em diversos contextos. No gerenciamento de ecossistemas, Ellison, Mosley e Helman (2017) utilizaram GIS para realizar uma análise de mudanças espaciais a fim de avaliar indicadores de condição de resiliência para habitats das margens de lagoas de uma área protegida de atol, nas ilhas do Pacífico. No contexto de desastres, Barker e Macleod (2019) desenvolveram um protótipo de pipeline de mineração de dados do *Twitter* baseado em GIS em escala nacional para melhorar a consciência situacional das partes interessadas durante eventos de inundação na Grã-Bretanha. No gerenciamento de áreas e preservação de espécies, Monteiro *et al.* (2018) aplicaram GIS para desenvolver um plano sistemático de conservação para espécies ameaçadas e identificaram regiões prioritárias para a ação e conservação de diferentes espécies no Brasil. Na gestão de incêndios florestais, Valero *et al.* (2017) usaram GIS para desenvolver uma metodologia dupla a fim de combinar o monitoramento automatizado significativo de incêndios florestais com uma previsão precisa da propagação do incêndio.

É notório que o GIS desempenha um papel fundamental, visto que, os dados geográficos e relacionamentos associados são evidentemente importantes para resolução de problemas de gestão, e questões atuais (MURRAY, 2019). Concomitante, Sumathi, Natesan e Sarkar (2008) afirmam que é importante evidenciar o seu papel essencial para domínio de localizações. Os autores apontam ainda, que uma vantagem de usar uma abordagem baseada em GIS para esse tipo de problema é resultante do fato de que ele fornece um banco de dados digitais capazes de gerenciar o site, e não apenas reduzir seu tempo e/ou custo de seleção.

## 2.2 ANÁLISE DE DECISÃO MULTICRITÉRIO (MCDA)

A análise de decisão multicritério (MCDA) fornece uma abrangente coleção de técnicas e procedimentos para estruturar problemas de decisão, organizar, avaliar e priorizar decisões alternativas (MALCZEWSKI, 2006). Trata-se de um conjunto de técnicas de suporte que permite a comparação e avaliação de alternativas concorrentes envolvendo múltiplos critérios (FEIZIZADEH; KIENBERGER, 2017). Portanto, os principais elementos de qualquer problema de decisão multicritério inclui valores, alternativas, critérios e suas ponderações, e tomadores de decisão (sigla do inglês Decision Makers-DMs) (CAJOT *et al.*, 2017). Em suma, o MCDA fornece ao tomador de decisão algumas ferramentas para selecionar ou ordenar alternativas, levando em consideração perspectivas e critérios diversos (VINCKE, 1992).

No entanto, é importante enfatizar que os métodos MCDA não são projetados para indicar a melhor alternativa em relação a todos os critérios, mas são utilizados para apoiar as decisões (MALCZEWSKI; RINNER, 2015). O fato é que existem múltiplos critérios, e não há uma solução ideal exclusiva, esse conceito de solução ideal é substituído pelo conjunto de soluções não dominadas (MARTINS *et al.*, 2020). Além disso, o conjunto de soluções dominadas pode ser muito grande, e é necessário ter ferramentas que simplifiquem o processo de decisão para o decisor de modo que o mesmo concentre-se nas alternativas preferidas para finalmente decidir. Nesse sentido, o MCDA pode ser uma ferramenta útil para identificar esses critérios e levar a uma tomada de decisão mais ajustada (LI *et al.*, 2018).

Os métodos MCDA são classificados de diferentes formas na literatura existente (GOVINDAN; JEPSEN, 2016). Eles podem ser classificados de acordo com a natureza do conjunto de alternativas seja discreto (tomada de decisão com vários atributos), ou contínuo (tomada de decisão multiobjectivo) (OGRODNIK, 2019). Outra classificação comum encontrada na literatura divide os métodos em três categorias (DE ALMEIDA, 2013):

Métodos de critério único de síntese, em que os critérios podem ser agregados em um único critério de síntese;

Métodos de sobreclassificação (ou *outranking*), baseado em comparações de pares de alternativas em cada critério a fim de determinar a força da evidência de que uma alternativa sobrepõe a outra (GOVINDAN; JEPSEN, 2016);

Métodos interativos, que podem estar associados a problemas discretos ou contínuos, com destaque para a maioria dos métodos de Programação Linear Multiobjectivo (PLMO) (DE ALMEIDA, 2013).

Nesse sentido, é importante destacar que os métodos multicritério fornecem um mecanismo adequado para integrar o valor de todos os critérios e obter uma pontuação global. Existem várias técnicas que podem ser aplicadas a problemas envolvendo multicritérios (GALLEGO *et al.*, 2019). A construção do modelo e o método de escolha estão vinculados ao processo de tomada de decisão. As abordagens mais comuns incluem, (Quadro 1):

Quadro 1 - Classificação dos métodos multicritério

MÉTODOS DE CRITÉRIO ÚNICO DE SÍNTESE	MÉTODOS DE SOBRECLASSIFICAÇÃO	MÉTODOS ITERATIVOS
<i>Analytical Hierarchy Process (AHP); Simple Additive Weighting (SAW); Multi-attribute Utility Theory (MAUT); Weighted Linear Combination (WLC); Ordered Weighted Average (OWA).</i>	<i>Elimination and Choice Expressing the Reality (ELECTRE); Preference Organization Method Ranking for Enrichment Evaluations (PROMETHEE).</i>	<i>Step Method (STEM) Interval Criterion Weights (ICW) Tricriterion Multiobjective Linear Programming (TRIMAP) Programação Linear Multiobjetivo (PLMO)</i>

Fonte: A autora (2021)

Em resumo, o MCDA assume um papel central no processo de avaliação multidimensional. Ele é usado para resolver problemas complexos, avaliando todas as variáveis, individual e coletivamente, e atribuindo importância específica a cada uma (BOGGIA *et al.*, 2018).

### 2.3 GIS-MCDA

Apesar do GIS ser um instrumento capaz de manipular e analisar dados espaciais e fornecer apoio à decisão, a tecnologia não é adequada para julgamentos de valor, preferências, prioridades, entre outras informações críticas para o processo de decisão. Portanto, é necessário combiná-lo com outras abordagens para obtenção de melhores resultados (MUSAKWA; TSHEANE; KANGETHE, 2017). Dessa forma, essa questão pode ser resolvida ao integrar as técnicas de MCDA ao conjunto de procedimentos do GIS.

Há uma sinergia entre GIS e MCDA como conjuntos de ferramentas distintas de apoio à tomada de decisão e por isso surgem pesquisas sobre a integração desses contíguos (MALCZEWSKI; RINNER, 2015, p. 10). Desse modo, evidencia-se que essa integração possibilita a transformação e combinação de dados geográficos (mapas de entrada) e as preferências de um agente decisor em um mapa de saída. As funções do GIS são utilizadas para preparação de informações para as ferramentas de MCDA de maneira adequada, assim tem-se a conversão de informações espaciais em números, caracteres ou fórmulas, a fim de, possibilitar a saída das técnicas MCDA em mapas (ANDRIENKO *et al.*, 2007). Percebe-se que na medida em que o GIS agrega dados de diferentes fontes possibilita com isso aperfeiçoar os recursos do MCDA para explorar locais de decisão e assim aprimorar o processo de aprendizado e descoberta.

Assim como o GIS, as ferramentas de MCDA evoluíram bastante para ajudar na análise de decisão que envolve múltiplos atributos. Esses métodos foram desenvolvidos para classificar um conjunto de alternativas conhecidas ou fazer uma escolha entre elas para resolução de um determinado problema considerando seus critérios conflitantes. Nesse sentido, a combinação dessas duas abordagens permite a integração e combinação de dados espaciais para tomada de decisão (SUMATHI; NATESAN; SARKAR, 2008). Isso envolve a utilização de informações geográficas, as preferências do decisor e, por conseguinte a manipulação desses elementos para obter valores unidimensionais das alternativas. Corroborando com isso, Dell'Ovo, Capolongo e Oppio (2018) demonstram que essas duas ferramentas podem se

beneficiar uma da outra para gerenciar e analisar problemas espaciais e avaliar e classificar essas diferentes alternativas.

De acordo com Gigović *et al.* (2016) é válido destacar que MCDA combinado com GIS trata-se de uma abordagem influente, uma vez que, permite analisar sistematicamente o problema de maneira holística. Além disso, a integração de ambas as técnicas reduz a complexidade das questões que envolvem um processo decisório (MUSAKWA; TSHESANE; KANGETHE, 2017).

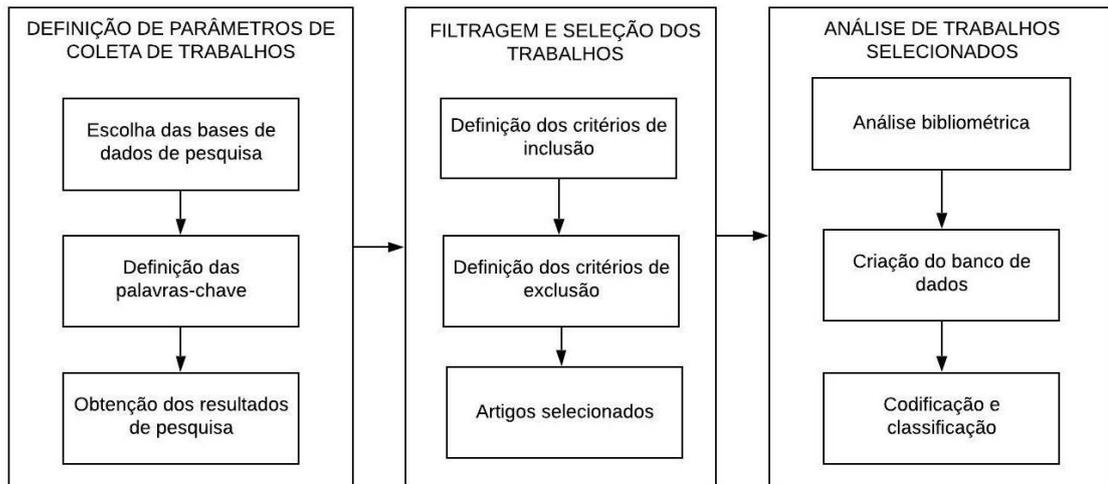
### 3 REVISÃO DA LITERATURA

Essa seção apresenta os resultados da revisão de literatura que serviram de base para definir a sistemática para apoio a modelagem de tomada de decisão baseada em GIS-MCDA.

É imperioso destacar que a presente revisão trata-se de instrumento fundamental para proposição de uma sistemática de tomada de decisão baseada em GIS-MCDA, uma vez que, a partir dela são identificados elementos essenciais para resolução de um problema que envolve GIS-MCDA, no sentido de que são levantados principais métodos, ferramentas e técnicas necessárias para sua aplicação. Além disso, é possível observar como ocorre a estruturação das questões e como elas podem ser solucionadas. De fato, percebeu-se que apesar de já existirem trabalhos que combinam essas metodologias, os problemas são estruturados de formas bastante variáveis e apontam-se algumas deficiências nessa integração. Outrossim, são verificadas quais as tendências e apontamentos de melhorias para trabalhos futuros.

Dessa forma, a revisão é baseada em metodologias intermediadas por (CHENG; CHEN; CHEN, 2020); (HU *et al.*, 2019) e (XUE *et al.*, 2020), conforme verificado na Figura 1, a metodologia se fundamenta em dois eixos principais e um eixo intermediário: (i) definição dos parâmetros de coleta do trabalho, (ii) filtragem e seleção dos trabalhos, e (iii) análise dos trabalhos selecionados:

Figura 1 - Procedimentos metodológicos da revisão



Fonte: A autora (2021)

### 3.1 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DE COLETA DE TRABALHOS

Nessa primeira etapa, é apresentado como ocorreu a coleta dos dados. Nessa fase são caracterizadas três subetapas: (i) escolha das bases de dados de pesquisa, (ii) definição das palavras-chaves e (iii) obtenção de resultados da pesquisa.

Assim, esse processo é iniciado com a definição dos bancos de dados no qual o presente trabalho desenvolvido conta com a revisão de artigos extraídos das bases bibliográficas Web of Science, SpringerLink e Scopus. A seleção em favor dessas bases se deu em função de serem bases consolidadas. Sendo assim, é possível garantir credibilidade e qualidade na pesquisa.

Em seguida, no que diz respeito à seleção de palavras-chave, termos que se relacionam ao assunto GIS-MCDA foram buscados. A escolha desses termos se deu através da busca por questões relacionadas aos problemas associados a estas ferramentas (GIS-MCDA). Dessa forma, a partir dos primeiros artigos levantados identificaram-se as palavras-chave mais utilizadas, tais quais eram remetidas à decisões estratégicas, modelos de decisão, análise de risco, planejamento de uso de terra, entre outros. Assim, o resultado da busca por artigos é resultante da combinação dos termos, utilizando operadores booleanos (AND e OR): “GIS AND MCDA”, “Geographic information system” AND MCDM”, “multicriteria AND GIS” “decision making” OR “decision model”, “land use planning” OR “management” AND “risk”. É

válido salientar, que esses termos foram utilizados a fim de capturar o máximo de artigos relacionados ao assunto.

Após aplicação das palavras-chave, um conjunto de 448 artigos pode ser extraído das bases para uma posterior análise que consistiu na filtragem e seleção dos textos.

### 3.2 FILTRAGEM E SELEÇÃO DE TRABALHOS

Após obtenção inicial dos resultados, os artigos passaram por uma segunda triagem que consiste nos ciclos de reavaliação das palavras-chave, bem como análise do título, avaliação do resumo e leitura do texto, respectivamente, para a verificação da confluência de conteúdo com o objetivo do trabalho. Dessa forma, essa etapa é caracterizada pelo refinamento dos artigos obtidos.

A princípio são definidos os critérios de inclusão dos trabalhos, assim foram admitidos:

- a) Artigos publicados em revistas/eventos internacionais;
- b) Artigos publicados somente na língua inglesa;
- c) Publicados entre janeiro de 2015 e abril de 2020, a fim de garantir o máximo de artigos possíveis e também artigos recentes que forneçam uma visão mais atual sobre aplicações GIS-MCDM/A;
- d) Trabalho teórico ou aplicado referente à integração GIS-MCDA ou qualquer sistema baseado em computador que integre essas metodologias.

Em seguida, são definidos também os critérios de exclusão:

- e) Foram descartados os trabalhos que na análise individual foi observado à ausência da integração GIS-MCDA.

Deste modo, tem-se que os textos dos artigos aprovados na triagem ressaltam a importância do processo que os autores utilizaram na estruturação integrada da abordagem GIS-MCDA.

### 3.3 ANÁLISE DOS TRABALHOS SELECIONADOS

Aqui, os artigos foram estudados individualmente a fim de extrair informações relevantes para pesquisa. A análise inclui: (i) análise bibliométrica, (ii) codificação e classificação (iii) criação de um banco de dados, e (iv) análise e discussão de resultados.

Assim, após a reavaliação das palavras-chave e a decisão pela manutenção delas, foram extraídos 448 artigos das bases bibliográficas. As unidades de revisão passaram pela análise de título e resumo em primeiro momento, a partir da triagem embasada pelos critérios de inclusão. Posteriormente, os documentos foram lidos individualmente, e aqueles em que foi observado a ausência da integração GIS-MCDA foram excluídos. De 448 artigos pré-selecionados 349 foram escolhidos, mediante critérios preestabelecidos, para análise minuciosa.

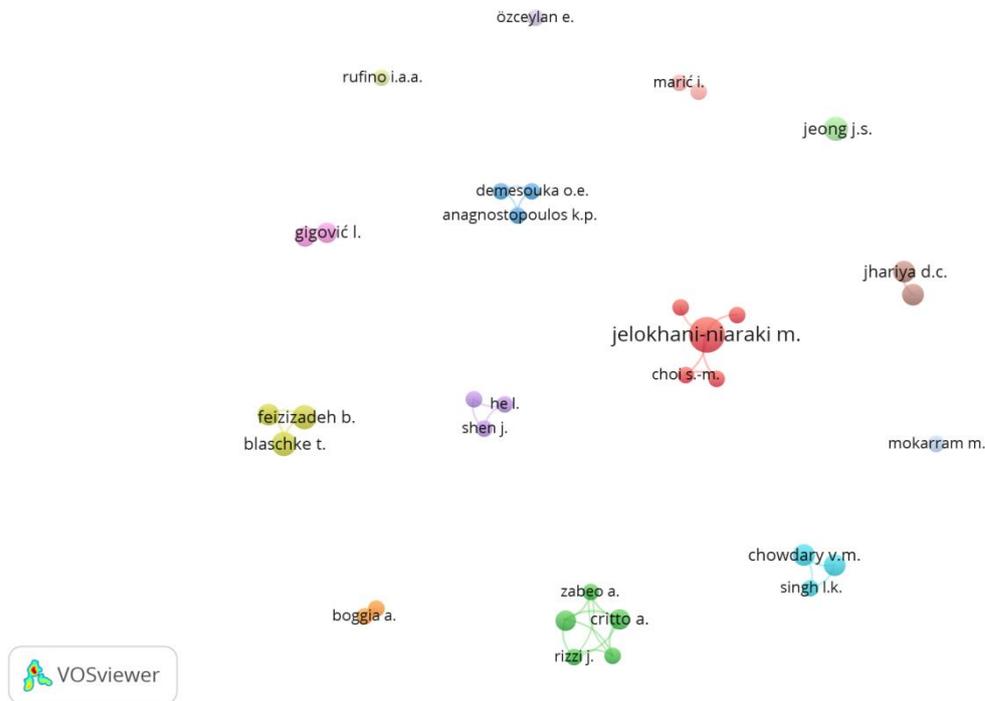
### **3.3.1 Análise bibliométrica**

Após filtragem dos artigos, eles seguiram para análise do conteúdo. A partir dos registros bibliométricos realizou-se uma análise bibliométrica com uso do *software Vosviewer*. Essa etapa é caracterizada por três elementos: (i) rede de coautoria, que destacou os principais autores da área, bem como os mais citados; (ii) rede de cocitação para detectar a distribuição de artigos cocitados no conjunto de dados; e (iii) coocorrência de palavras chaves a fim de explorar a fronteira do conhecimento, a partir da frequência de palavras chaves que ocorrem em diferentes aplicações.

#### **3.3.1.1 Análise de coautoria**

A fim de estudar as ligações relacionais e definição do perfil de uma instituição desenhou-se uma rede de coautoria demonstrando o perfil da produção científica, além disso destacaram-se quais autores tem centralidade na rede, que possuem mais conexões e o agrupamento desses autores revelando organizações de produção científica sobre o tema. Nesse sentido, a Figura 2 apresenta os autores destacados, separados por clusters e suas conexões.

Figura 2- Rede de coautoria



Fonte: A autora (2021)

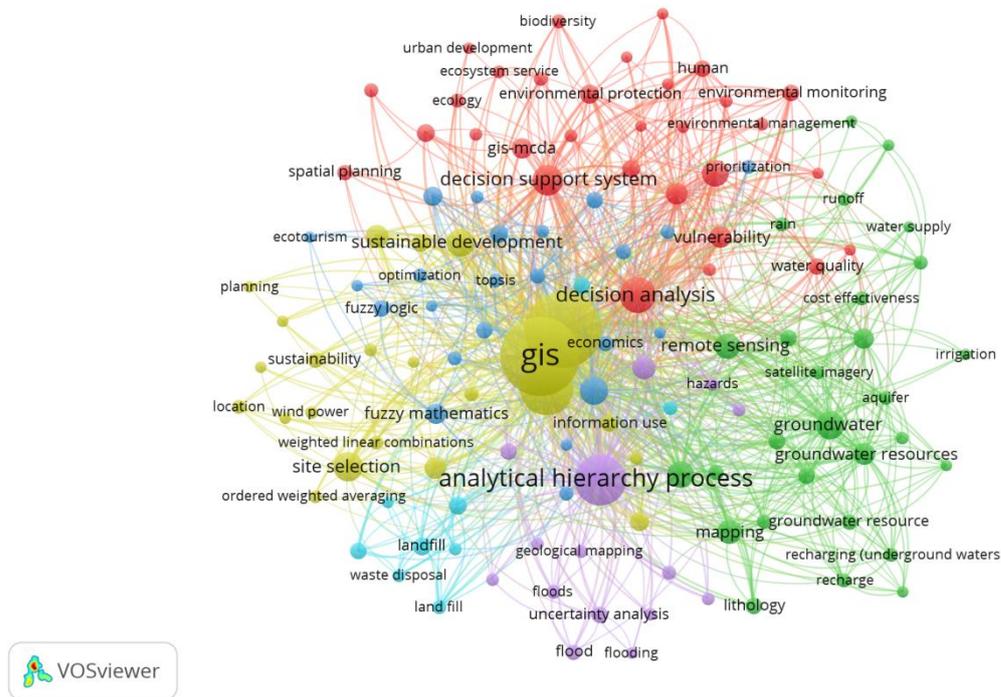
É possível observar na Figura 2 os autores de maior influência e maior rede de coautoria. Percebe-se que há uma categorização em clusters representando o grupo de pesquisa. É válido salientar que quanto maior o nó, maior o número de publicações. Nesse sentido, destacam-se autores como, Jelokhani-Niaraki, M. representado no cluster em vermelho, Feizizadeh, B. em amarelo, Gigóvic, L. destacado em roxo, Zabeo, A. evidenciado em verde, entre outros. Verificam-se esses autores como os mais influentes e suas respectivas redes de coautoria.

### 3.3.1.2 Análise de cocitação

Com o objetivo de aferir o nível de ligação dos artigos construiu-se uma rede de cocitação, apresentada a seguir na Figura 3.



Figura 4 - Rede de coocorrência de palavras chave



Fonte: A autora (2021)

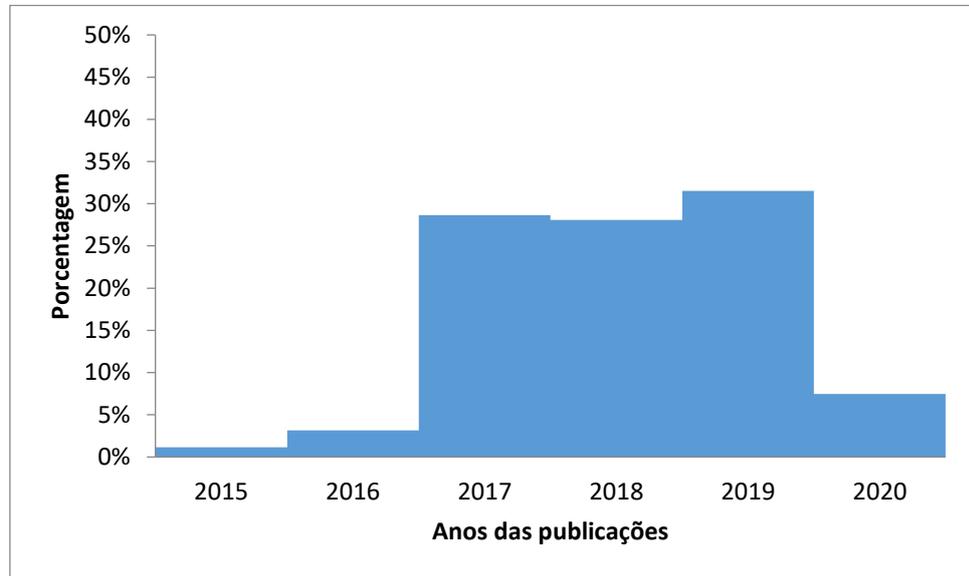
Os termos GIS e MCDA são os mais frequentes, conseqüentemente mais importantes. A partir dessa análise foi possível verificar o grupo ao qual estão relacionadas às palavras chaves, a partir dos clusters formados. Dessa maneira, analisando cada grupo percebe-se que o cluster em amarelo está relacionado com fontes de energias renováveis. Em azul, evidencia-se disposição dos resíduos sólidos, na área de planejamento urbano. No destaque verde é retratado o gerenciamento de recursos hídricos, evidenciados pelos temas recursos de água subterrânea, etc. Realçado em vermelho, tem-se palavras chave relacionadas a área de gestão ambiental.

### 3.3.2 Codificação e classificação

Nessa seção são apresentados os resultados do processo de codificação e classificação dos trabalhos. Inicialmente, os documentos foram agrupados por ano de

publicação, obtendo assim uma curva cumulativa de publicações como é demonstrado no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Distribuição de publicações



Fonte: A autora (2021).

Em seguida, os artigos foram também categorizados por periódicos e obteve-se um ranking dos principais periódicos de onde foram extraídas as publicações, nessa lista é apresentada a frequência de artigos por revista e porcentagem do total de dados, Tabela 1:

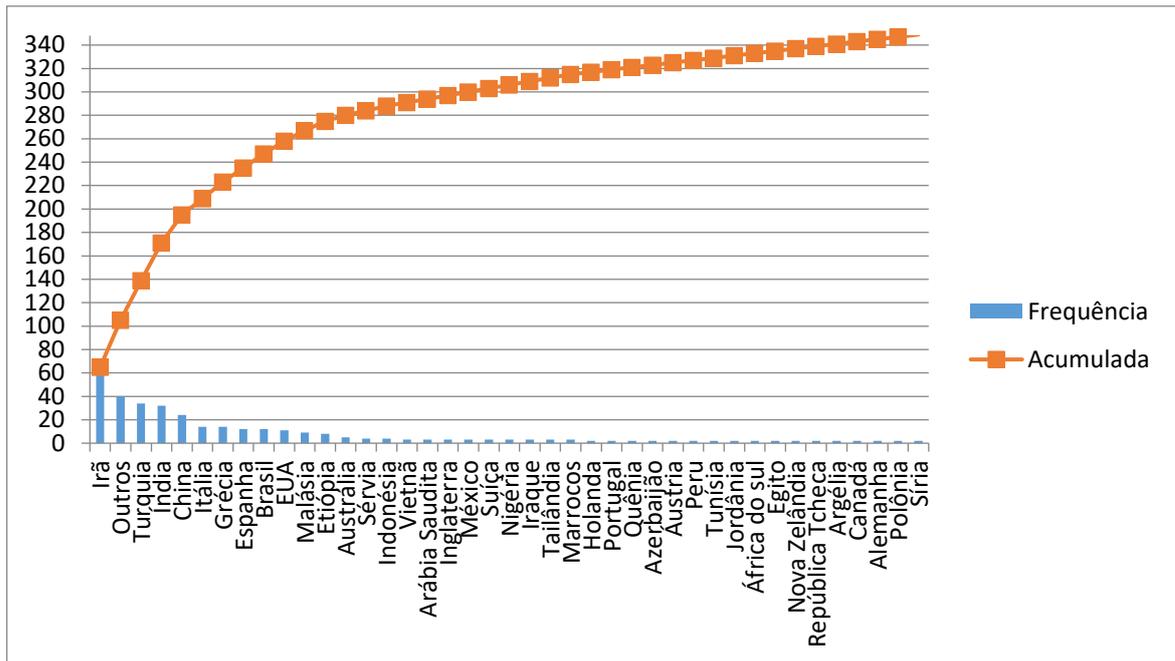
Tabela 1 - Ranking dos principais periódicos

<b>Periódicos</b>	<b>Frequência</b>	<b>%</b>
Sustainability	13	4%
Environmental Earth Sciences	12	3%
Arabian Journal Of Geosciences	9	3%
Environmental Monitoring And Assessment	9	3%
Water	9	3%
Geocarto International	7	2%
Journal Of Environmental Management	7	2%
Renewable Energy	7	2%
Computers And Electronics In Agriculture	7	2%
Journal Of Cleaner Production	7	2%
Energies	6	2%
Isprs International Journal Of Geo-Information	6	2%
Applied Geography	6	2%
Natural Hazards	6	2%
Ecological Indicators	6	2%
Sustainable Cities And Society	5	1%
Energy	5	1%
Land Use Policy	4	1%
Mathematical Problems In Engineering	4	1%
Modeling Earth Systems And Environment	4	1%
Applied Ecology And Environmental Research	4	1%
Journal Of Environmental Planning And Management	4	1%
Environment Development And Sustainability	4	1%
Fresenius Environmental Bulletin	3	1%
Renewable & Sustainable Energy Reviews	3	1%
Applied Ecology And Environmental Research	3	1%
Journal Of Hydrology	3	1%
Outros	186	53%
<b>Total</b>	<b>349</b>	<b>100%</b>

Fonte: A autora (2021)

A fim de observar em quais países o uso do GIS-MCDA é mais consolidado construiu-se também a categorização de trabalhos por país como verificado no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Categorização de publicações por país de origem



Fonte: A autora (2021)

É possível observar que Irã, Turquia e Índia possuem maior número de artigos, seguidos da China, Itália, Grécia e Espanha. Destaca-se também o Brasil que está entre os dez países com maior número de publicações sobre GIS-MCDM/A.

### 3.3.3 Criação de um banco de dados

Foram identificados elementos genéricos nas aplicações para catalogação dos artigos em um banco de dados e posterior classificação. Dessa forma, têm-se três eixos de classificação:

De acordo com os componentes do sistema de informações geográficas, (GIS):

- Modelo de saída dos dados: Raster, vetor, raster e vetor, ou indefinido;

De acordo com os elementos genéricos dos métodos de decisão multicritério (MCDA):

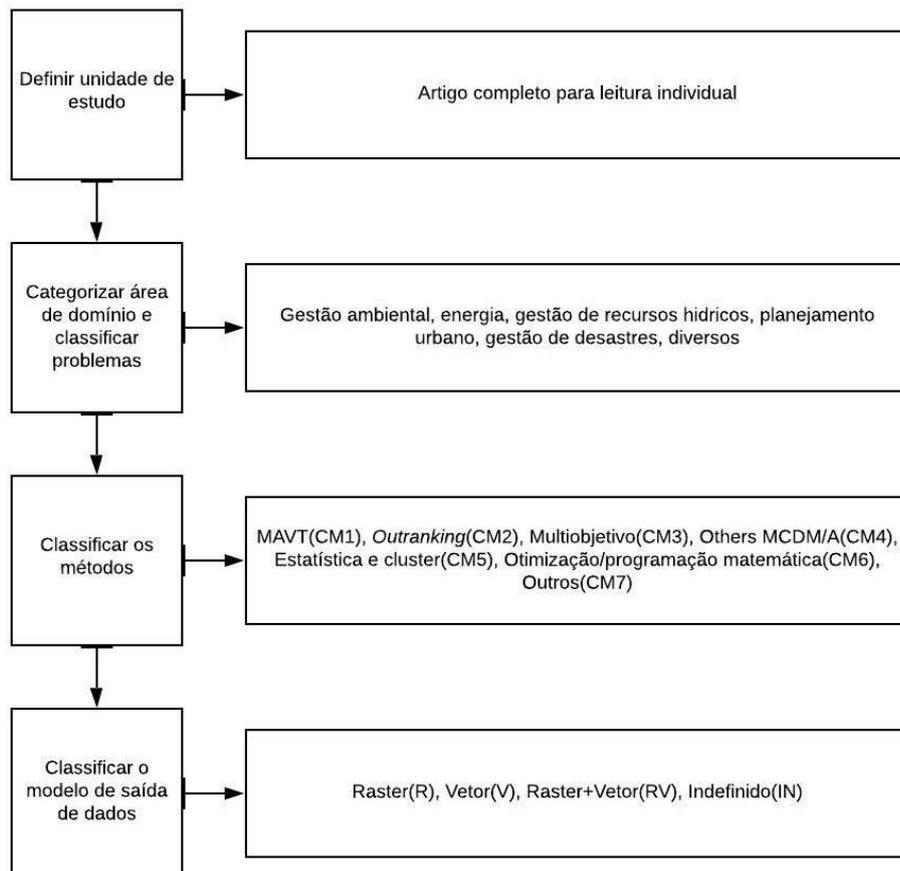
- Tipos de métodos de agregação dos critérios: Modelos aditivos, modelos de sobreclassificação, combinação de métodos, por exemplo: métodos multicritério combinados com métodos estatísticos, modelos de otimização, programação matemática, algoritmos genéricos, entre outros.

De acordo com a área de domínio e a classes de problemas:

- Áreas de domínio: gestão ambiental, energia, gestão de recursos hídricos, planejamento urbano, gestão de riscos de desastres, agricultura, áreas diversas;
- Classes de problemas: Avaliação de áreas, mapeamento de risco, entre outros.

Por fim, construiu-se uma matriz para cruzamento desses dados, a fim de obter uma visão geral desses problemas e da forma como eles são estruturados. O procedimento para construção da matriz é destacado na figura 5, a seguir:

Figura 5 - Etapas para construção da matriz de cruzamento de dados



Fonte: A autora (2021)

### 3.3.3.1 Análise dos resultados

A fim de analisar qualitativamente cada documento, foi possível montar um Quadro que destaca os principais métodos utilizados e suas classificações, e exemplificando com uma referência, Quadro 2.

Quadro 2- Métodos utilizados na abordagem GIS-MCDA

	<b>Métodos/siglas [Código]</b>	<b>Referencias</b>
<b>MCDM/A</b>	<b>MAVT [CM1]</b> Multi-attribute Utility Theory/ MAUT Analytical Hierarchy Process/ AHP Analytical Network Process/ ANP Utilité Aditive / UTA Stochastic Multiobjective Acceptability Analysis / SMAA Simple Additive Scoring/ SAS Ordered Weighted Average/ OWA Weighted Linear Combination/ WLC MACBETH	(KIM; BURNETT; GHIMIRE, 2017); (DUCCI et al., 2017); (DEMESOUKA; ANAGNOSTOPOULOS; SISKOS, 2019); (MONTGOMERY et al., 2016); (KIAVARZ; JELOKHANI- NIARAKI, 2017); (ANTOGNELLI; VIZZARI, 2017); (MILEU; QUEIRÓS, 2018)
	<b>Outranking [CM2]</b> Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation/ PROMETHEE Elimination and Choice Expressing the Reality/ ELECTRE	(KAYA <i>et al.</i> , 2020) (LOUKOGEORGAKI; VAGIONA; VASILEIOU, 2018)
	<b>Multiobjetivo [CM3]</b> Otimização multiobjetivo/ OM Multiobjective Land Allocation/ MOLA Optimal Allocation of DERs/ OAD	(JAZIRI, 2017) (IRINA <i>et al.</i> , 2019) (BACCA; KNIGHT; TRIFKOVIC, 2020)
	<b>Other MCDM/A [CM4]</b> Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution/ TOPSIS Decision making Trial and Evaluation Laboratory/ DEMATEL Dominance-Based Rough Set Approach and Preference/ DRSA Inverse Distance Weighting/ IDW	(IRANKHAHI <i>et al.</i> , 2017) (ABEDI GHESHLAGHI; FEIZIZADEH, 2017) (FIGUEIREDO; MOTA, 2016) (BACHOUCHE <i>et al.</i> , 2017)
<b>Outros Métodos combinad os</b>	<b>Métodos estatísticos e Clusters [CM5]</b> Modelo de classificação estatística probabilística/ MCEP Análise de cluster/ AC Análise de regressão/ AR Principle Component Analysis/ PCA	(SEMMENS <i>et al.</i> , 2017) (ALY; JENSEN; PEDERSEN, 2017) (JAYARATHNA <i>et al.</i> 2017);(LORO; ARCE; ORTEGA, 2017)
	<b>Métodos de Otimização / Programação matemática [CM6]</b> Programação linear/ não linear/ PL Modelo de localização de cobertura máxima/ MLCM Caminho de menor custo/ CMC	(VAVATSIKOS; ARVANITIDOU; PETSAS, 2019) (KAVURMACI; APAYDIN, 2019)

	Data Envelopment Analysis/ DEA	(LECHNER <i>et al.</i> , 2017)
	<b>Outros [CM7]</b> Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System/ ANFIS Dempster–Shafer-driven evidential belief function/ DS-EBF Otimização de Jenks / OJ	(TAVANA <i>et al.</i> , 2017) (MOGAJI, 2017) (DOS SANTOS <i>et al.</i> , 2017)

Fonte: A autora (2021)

Notadamente, os métodos multicritério do tipo MAVT são frequentemente utilizados, cobrindo uma porcentagem de 70% dos trabalhos, com destaque para o AHP, WLC, OWA, ANP entre outros. O AHP, por sua vez, é utilizado em duas funções, para elicitação dos pesos dos critérios, bem como, agregação final dos critérios. Nesse sentido, cerca de 35% do total de artigos revisados utiliza o AHP para obtenção dos pesos. Com relação à agregação final, 39% dos trabalhos usam o WLC e 7% usam o OWA.

A fim de se obter uma análise mais rebuscada desses documentos construiu-se uma matriz para cruzamento dos dados, Quadro 3. Nesse Quadro são destacados: a área de domínio, a classe de problemas, a classe do método utilizado e o modelo de saída de dados. A matriz permite uma visualização holística das unidades de revisão e possibilita uma série de observações a partir da interseção de informações.

Quadro 3- Matriz de cruzamento de dados

Área de domínio: Gestão Ambiental												
Classes de problemas	Classes de métodos utilizados							Modelo de saída de dados				Referências
	CM1	CM2	CM3	CM4	CM5	CM6	CM7	R	V	RV	IN	
Priorização de áreas de conservação; restauração de áreas/ áreas ecológicas	(9)		(1)				(2)	(4)	(2)	(2)	(4)	(NOURI; MASON; MORADI, 2017); (VALENTE; PETEAN; VETTORAZZI, 2017); (VAISSI; SHARIFI, 2019); (DUCCI <i>et al.</i> , 2017); (DOS SANTOS <i>et al.</i> , 2017); (KIM; BURNETT; GHIMIRE, 2017); (SUTTI; STRONG; PERLUT, 2017); (RAHDARI <i>et al.</i> , 2018); (MALEKI <i>et al.</i> , 2018); (BAC-BRONOWICZ; GRZEMPOWSKI, 2018); (LIN; LI, 2019); (DHIMAN; KALBAR; INAMDAR, 2019)
Avaliação de condições ambientais	(6)				(3)			(7)			(2)	(ANTOGNELLI; VIZZARI, 2017);(SEMMENS <i>et al.</i> , 2017); (LORO; ARCE; ORTEGA, 2017); (BACHOUCHE <i>et al.</i> , 2017); (NASCIMENTO <i>et al.</i> , 2017); (CERVELLI <i>et al.</i> , 2017); (SINGHA <i>et al.</i> , 2019); (DOMAZETOVIĆ <i>et al.</i> , 2019); (HE; SHEN; ZHANG, 2018)
Avaliação de riscos de incêndio florestal	(3)							(2)	(1)			(GÜNGÖROĞLU, 2017); (ABEDI GHESHLAGHI; FEIZIZADEH, 2017);(GOLEIJI <i>et al.</i> , 2017).
Plano de manejo florestal			(1)					(1)				(JAZIRI, 2017)
Avaliação de adequação de terrenos montanhosos/ estradas florestais/ áreas verdes	(2)			(2)			(2)	(5)	(1)			(ÇALIŞKAN, 2017); (LIU <i>et al.</i> , 2018); (BUGDAY, 2018); (ÇALIŞKAN; BEDIROĞLU; YILDIRIM, 2019); (RICHTER; BEHNISCH, 2019); (RODRÍGUEZ-ESPINOSA; AGUILERA-BENAVENTE; GÓMEZ-DELGADO, 2020)
Avaliação de vulnerabilidade de áreas protegidas	(1)							(1)				(RODRÍGUEZ-MERINO; GARCÍA-MURILLO; FERNÁNDEZ-ZAMUDIO, 2020)

Fonte: A autora (2021)

Continua

Quadro 3 - Matriz de cruzamento de dados

Continuação

Área de domínio: Agricultura												
Classes de problemas	Classes de métodos							Modelo de saída de dados				Referências
	CM1	CM2	CM3	CM4	CM5	CM6	CM7	R	V	RV	IN	
Avaliação de áreas adequadas para produção agrícola	(14)			(2)				(8)	(2)	(1)	(5)	(MEMARBASHI <i>et al.</i> , 2017); (MONTGOMERY <i>et al.</i> , 2016); (OCHOA <i>et al.</i> , 2017); (SELIM <i>et al.</i> , 2018); (HERZBERG <i>et al.</i> , 2019); (ZABIHI <i>et al.</i> , 2019); (ZOLEKAR, 2018); (MADRIGAL-MARTÍNEZ; PUGA-CALDERÓN, 2018); (ROY; SAHA, 2018); (MOKARRAM; MIRSOLEIMANI, 2018); (DEDEOĞLU; DENGIZ, 2019); (SINGH; MONDAL; CHANDRA, 2019); (PURNAMASARI; NOGUCHI; AHAMED, 2019); (CHIVASA; MUTANGA; BIRADAR, 2019); (JAISLI <i>et al.</i> , 2019); (DEDEOĞLU, 2020)
Avaliação do potencial do solo e condições do ambiente	(2)				(1)			(2)	(1)			(MOKARRAM; HOJATI, 2017); (HE <i>et al.</i> , 2017); (KAHSAY <i>et al.</i> , 2018)
Avaliação do plano de cultivo/manejo	(1)		(2)					(1)	(1)		(1)	(BAGLIVI <i>et al.</i> , 2015); (IRINA <i>et al.</i> , 2019); (SEYEDMOHAMMADI <i>et al.</i> , 2018)
Avaliação de terra potencialmente irrigáveis	(5)							(3)		(1)	(1)	(WORQLUL <i>et al.</i> , 2017); (PAUL <i>et al.</i> , 2020); (BEZDAN <i>et al.</i> , 2019); (WORQLUL <i>et al.</i> , 2019); (ASSEFA <i>et al.</i> , 2019)

Fonte: A autora (2021)

Quadro 3 - Matriz de cruzamento de dados

Continuação

Área de domínio: Gerenciamento de riscos de desastres												
Classes de problemas	Classes de métodos						Modelo de saída de dados				Referências	
	CM1	CM2	CM3	CM4	CM5	CM6	CM7	R	V	RV		IN
Avaliação de suscetibilidade de deslizamentos de terra; subsidência de terra	(8)						(4)	(10)		(2)		(GIGOVIĆ; DROBNJAK; PAMUČAR, 2019);(ANTONIOU <i>et al.</i> , 2017); (ABEDI GHESHLAGHI; FEIZIZADEH, 2017); (CHEN; PANAH; POURGHASEMI, 2017); (CUI; LU; LI, 2017); (GHORBANZADEH; FEIZIZADEH; BLASCHKE, 2018); (ARCA; KUTOĞLU; BECEK, 2018); (MOKARRAM; ZAREI, 2018); (GHORBANZADEH <i>et al.</i> , 2018); (DEMIR, 2018); (NSENGIYUMVA <i>et al.</i> , 2019); (BUG DAY; AKAY, 2019)
Avaliação de suscetibilidade à inundações	(11)						(2)	(9)			(4)	(JIAO; ZHANG; XU, 2017); (TIRYAKI; KARACA, 2018); (SIAHKAMARI <i>et al.</i> , 2018); (PATRIKAKI <i>et al.</i> , 2018); (HAZARIKA <i>et al.</i> , 2018); (ROMANESCU <i>et al.</i> , 2018); (DAHRI; ABIDA, 2017); (AHMADISHARAF; KALYANAPU; CHUNG 2017); (HATEGEKIMANA <i>et al.</i> , 2018); (LUU; VON MEDING, 2018); (BANDI; MESHAPAM; DEVA, 2019); (GUERRA; ABEBE, 2019); (DE BRITO; ALMORADIE; EVERS, 2019)
Avaliação de riscos de terremotos/ priorização de estruturas danificadas por terremotos	(4)			(1)				(2)		(1)	(2)	(D'URSO <i>et al.</i> , 2018); (RANJBAR <i>et al.</i> , 2018); (MILEU; QUEIRÓS, 2018); (KUMLU; TÜDEŞ, 2019); (ASADI; SAMANY; EZIMAND, 2019)
Avaliação de desastres meteorológicos	(1)								(1)			(YU; YU; LU, 2018)
Avaliação de riscos naturais em ambientes costeiros	(1)			(1)				(1)			(1)	(GRAFF <i>et al.</i> , 2019); (SHEIKH; KORNEJADY; OWNEGH, 2019)
Avaliação de riscos de desertificação	(1)										(1)	(WIJITKOSUM; SRIBURI, 2019)
Avaliação de rotas estratégicas em situação de desastres	(1)										(1)	(GHAVAMI, 2019)

Fonte: A autora (2021)

Quadro 3 - Matriz de cruzamento de dados

Continuação

Área de domínio: Gestão de recursos hídricos												
Classes de problemas	Classes de métodos							Modelo de saída de dados				Referências
	CM1	CM2	CM3	CM4	CM5	CM6	CM7	R	V	RV	IN	
Avaliação de zonas potenciais de águas subterrâneas	(17)			(1)	(3)		(3)	(17)	(2)	(2)	(3)	(RASHID; LO; AHMED, 2017); (MOGAJI, 2017); (GURU; SESHAN; BERA, 2017); (AKTER <i>et al.</i> , 2020); (KADAM; UMRİKAR; SANKHUA, 2020); (TIWARI <i>et al.</i> , 2019a); (SINGH; JHA; CHOWDARY, 2018); (MOGAJI e LIM 2017); (MOGAJI, 2018); (DAS; PARDESHI, 2018); (MOGAJI; LIM, 2018); (SOUISSI <i>et al.</i> , 2018); (AL-SHABEEB, 2018); (PATRA; MISHRA; MAHAPATRA, 2018); (CHAKRABORTTY <i>et al.</i> , 2018); (JESIYA; GOPINATH, 2018); (KANAGARAJ <i>et al.</i> , 2019); (ÇELIK, 2019); (ANDUALEM; DEMEKE, 2019); (MAHATO; PAL, 2019); (MISHRA; SINGH, 2019); (SHAILAJA <i>et al.</i> , 2019); (KIM, 2020); (ARABAMERI <i>et al.</i> , 2020)
Avaliação à suscetibilidade de erosão do solo/vulnerabilidade de bacias hidrográficas	(8)			(2)	(1)		(2)	(7)	(2)		(4)	(RATHER <i>et al.</i> , 2017); (JHARIYA; KUMAR; PANDEY, 2020) (ADUALEM <i>et al.</i> 2020); (ARABAMERI <i>et al.</i> , 2018); (ZHAO; TANG; YANG, 2018); (RICHARDSON; AMANKWATIA, 2018); (VIEIRA <i>et al.</i> , 2019); (HAIDARA <i>et al.</i> , 2019); (YOHANNES; SOROMESSA, 2019); (ARABAMERI <i>et al.</i> , 2019); (ARABAMERI; CERDA; TIEFENBACHER, 2019); (OFOSU; ADJEI; ODAI, 2020); (HEMBRAM; SAHA, 2020)
Seleção de locais para: barragens, captação de água; irrigação; estações de tratamento; implementação do AGRP.	(8)	(1)	(1)			(1)	(3)	(7)	(2)	(1)	(4)	(BOUKRENTACH; BENALI; DEKKICHE, 2017); (FARHADIAN <i>et al.</i> , 2017); (KAVURMACI; APAYDIN, 2019); (SINGHAI <i>et al.</i> , 2019); (SEKER e YUCEL 2017); (JAIN; RAMSANKARAN, 2019) (WENTZ; SHIMIZU, 2018); (JOZAGHI <i>et al.</i> , 2018); (MILUTINOVIC; AHONEN-JONNARTH; SEIPEL, 2018); (FELONI; KARPOUZOS; BALTAS, 2018); (INAMDAR <i>et al.</i> , 2018); (JAMALI; RANDHIR; NOSRATI, 2018); (ASSEFA <i>et al.</i> , 2018); (AYDIN; SARPTAS, 2020)
Avaliação de risco/localização de sistemas de águas residuais	(3)	(1)						(2)		(1)	(1)	(ELHAG <i>et al.</i> , 2017a); (ELHAG <i>et al.</i> , 2017b); (FEIZIZADEH; KIENBERGER, 2017); (VAVATSIKOS; DEMESOUKA; ANAGNOSTOPOULOS, 2020)
Avaliação da qualidade/demanda da água	(4)				(1)		(1)	(3)	(1)		(2)	(LARSEN <i>et al.</i> , 2017); (YAN <i>et al.</i> 2017); (MOKARRAM; POURGHASEMI; TIEFENBACHER, 2019); (MENTZAFU; PANAGOPOULOS; DIMITRIOU, 2019); (JAYARATHNA <i>et al.</i> , 2017); (FUENTES; VERVOORT, 2020)
Avaliação de zonas úmidas	(2)	(1)						(1)			(2)	(UUEMAA; HUGHES; TANNER, 2018) (BOULAD; HAMIDAN, 2018); (PUNYS <i>et al.</i> , 2019)

Fonte: A autora (2021)

Quadro 3 - Matriz de cruzamento de dados

Continuação

Área de domínio: Planejamento Urbano												
Classes de problemas	Classes de métodos							Modelo de saída de dados				Referências
	CM1	CM2	CM3	CM4	CM5	CM6	CM7	R	V	RV	IN	
Avaliação de locais adequados para gerenciamento de resíduos sólidos/ aterros sanitários	(20)			(3)			(2)	(13)	(5)		(7)	(GÜLER; YOMRALIOĞLU, 2017); (CHABUK <i>et al.</i> , 2017); (JAMSHIDI-ZANJANI; REZAEI, 2017); (MAHMOOD <i>et al.</i> , 2017); (SURESHKUMAR; SIVAKUMAR; NAGARAJAN, 2017); (KARIMI <i>et al.</i> , 2019); (FEYZI <i>et al.</i> , 2019); (KAMDAR <i>et al.</i> , 2019); (BESKESE <i>et al.</i> , 2015); (DANESH <i>et al.</i> , 2019); (AHMAD <i>et al.</i> , 2017); (DEMESOUKA; ANAGNOSTOPOULOS; SISKOS, 2019); (AJIBADE <i>et al.</i> , 2019); (ELHAG; BAHRAWI, 2017); (AL-RUZOUQ <i>et al.</i> , 2018); (SAATSAZ <i>et al.</i> , 2018); (KHOSHAND <i>et al.</i> , 2018); (FERDOWSI; MEHRANI; FERDOSI, 2018); (PAVANI <i>et al.</i> , 2019); (ABDULHASAN <i>et al.</i> , 2019); (PASALARI <i>et al.</i> , 2019); (KHORSANDI <i>et al.</i> , 2019); (ERFANI <i>et al.</i> , 2019); (FARAHBAKHS; FORGHANI, 2019); (RAHIMI <i>et al.</i> , 2020)
Avaliação de mudanças no ambiente/crescimento urbano/habitabilidade	(7)		(1)	(4)			(2)	(4)	(2)	(2)	(6)	(NAHARUDIN; AHAMAD; SADULLAH, 2017); (ROSATO <i>et al.</i> , 2017); (GHAJARI <i>et al.</i> , 2018); (SAY e OKTEN 2017); (AKYOL <i>et al.</i> , 2018); (FENG; QI, 2018); (LU; CHANG; JOYCE, 2018); (WANG, 2018); (ASGARIAN <i>et al.</i> , 2018); (KOZIATEK; DRAGIĆEVIĆ, 2019); (MOTIEYAN; MESGARI, 2019); (ZHANG <i>et al.</i> , 2019); (STURIALE; SCUDERI, 2019); (NIU <i>et al.</i> , 2020)
Avaliação logística; Locais adequados para ciclovias; layouts de rodovias, estacionamentos	(7)	(2)		(2)		(1)		(4)	(4)	(2)	(2)	(VIANA; DELGADO, 2019); (RATICK; OSLEEB; SI, 2016); (IRANKHAHI <i>et al.</i> , 2017); (YILDIRIM <i>et al.</i> , 2017); (LECHNER <i>et al.</i> , 2017); (GRIMALDI; PELLECCIA; FASOLINO, 2017) (VITIANINGSIH; CAHYONO; CHOIRON, 2018); (TERH; CAO, 2018); (LOULIZI; RAKHA; BICHIOU, 2018); (ONDEN, 2018); (CRIMI; JONES; SGALAMBRO, 2019); (FAROOQ <i>et al.</i> , 2019)
Avaliação de locais adequados para desenvolvimento urbano; habitação; construções; infraestruturas aeroportuárias/ lazer	(10)	(1)		(3)			(3)	(7)	(4)	(2)	(4)	(KAYA <i>et al.</i> , 2020); (MYAGMARTSEREN; BUYANDELGER; ANDERS BRANDT, 2017); (TIWARI <i>et al.</i> , 2019b); (KAMALI <i>et al.</i> , 2017); (CAHA; BURIAN, 2018); (SAEIDI <i>et al.</i> , 2018); (YAN <i>et al.</i> , 2018); (GUARINI; CHIOVITTI; ROCCA, 2018); (RISTIĆ <i>et al.</i> , 2018); (ZEYDAN; BOSTANCI; ORALHAN, 2018); (ELSAMEN; HIYASAT, 2017); (RASTANDEH; BROWN; ZARI, 2018); (RISTIĆ, 2018); (ERDIN; AKBAŞ, 2019); (DENG <i>et al.</i> , 2019); (HUANG; LI; ZHANG, 2019); (VANOLYA; JELOKHANI-NIARAKI; TOOMANIAN, 2019)
Avaliação da vulnerabilidade à risco	(2)			(1)				(3)				(EL KARIM; AWAWDEH, 2020); (GIGOVIĆ <i>et al.</i> , 2017); (CERRETA; MELE; POLI, 2018)

Fonte: A autora (2021)

Quadro 3 - Matriz de cruzamento de dados

Continuação

Área de domínio: Diversos												
Classes de problemas	Classes de métodos							Modelo de saída de dados				Referências
	CM1	CM2	CM3	CM4	CM5	CM6	CM7	R	V	RV	IN	
Planejamento de segurança pública				(3)				(1)	(2)			(MOTA; FIGUEIREDO; PEREIRA, 2020); (FIGUEIREDO; MOTA, 2016); (FIGUEIREDO; MOTA, 2019)
Avaliação de áreas adequadas para aquicultura/ cultura de algas	(5)							(4)			(1)	(DÍAZ <i>et al.</i> , 2017); (BRIGOLIN <i>et al.</i> , 2017); (MUSTAFA; BWADI, 2018); (THOMAS; RAMOS; GRÖNDAHL, 2019); (PORPORATO; PASTRES; BRIGOLIN, 2020)
Avaliação de locais adequados pra o ecoturismo/potencial turístico	(5)	(1)					(1)	(3)	(1)		(3)	(AMINU <i>et al.</i> , 2017); (NOURI <i>et al.</i> , 2017); (SARKY; WRIGHT; EDWARDS, 2017); (DEY <i>et al.</i> , 2018); (HOANG <i>et al.</i> , 2018); (ŞILJEG <i>et al.</i> , 2019); (AYHAN <i>et al.</i> 2020)
Avaliação de locais para prospecção de minérios	(3)			(1)		(1)		(1)	(4)			(PANAHI; KHAKZAD; AFZAL, 2017); (XUE <i>et al.</i> , 2017); (GHASEMI, R.; TOKHMECHI, B.; BORG, G.2018); (GHEZELBASH; MAGHSOUDI; CARRANZA, 2019); (KAZEMI; BAHRAMI; ABDOLAH SHARIF, 2020)
Avaliação de locais para infraestrutura de saúde	(2)							(2)				(DELL'OVO; CAPOLONGO; OPPIO, 2018b); (HARIZ; DÖNMEZ; SENNAROGLU, 2017)
Avaliação de áreas para: reforma agrária; vias verdes; campos de refugiados; desertos alimentares; áreas costeiras	(11)			(1)			(1)	(8)	(3)		(2)	(MUSAKWA; TSHESANE; KANGETHE, 2017); (QUATTRONE <i>et al.</i> , 2017); (ÇETINKAYA <i>et al.</i> , 2016); (SEYEDMOHAMMADI <i>et al.</i> , 2019); (SAÑUDO <i>et al.</i> , 2017); (MOHAMMADIAN MOSAMMAM <i>et al.</i> , 2017); (DHIMAN; KALBAR; INAMDAR, 2018); (QUATTRONE <i>et al.</i> , 2018); (KULLER <i>et al.</i> , 2019); (HALLAK; KOYUNCU; MIÇ, 2019); (USTAOGU; AYDINOGLU, 2019); (NOBLE <i>et al.</i> , 2019); (USTAOGU; AYDINOGLU, 2020)
Avaliação de incidência de doenças epidemiológicas/causadas por vetores	(6)				(1)			(5)	(1)		(1)	(RASAM <i>et al.</i> , 2017); (SHEKHAR <i>et al.</i> , 2017); (VARATHARAJAN <i>et al.</i> , 2018); (AJIM ALI; AHMAD, 2018); (DE LIMA <i>et al.</i> , 2019); (RUGET <i>et al.</i> , 2019); (ALI; AHMAD, 2019)
Avaliação de infraestruturas de serviços	(4)		(1)		(1)			(2)	(1)	(1)	(2)	(CHACÓN-GARCÍA, 2017); (AKGÜN; ERDAL, 2019); (SOPHA; ASIH; NURSITASARI, 2018); (ÖNDEN, 2018); (MOHAMMADI, 2019); (DAI <i>et al.</i> , 2020)
Outros	(9)		(1)	(2)	(1)	(1)	(1)	(4)	(3)		(8)	(BAEK; CHOI, 2017); (AŞILIOĞLU; MEMLÜK, 2017); (YANG; YUAN; YE, 2018); (JEONG; RAMÍREZ-GÓMEZ, 2018); (LEHNER <i>et al.</i> , 2018); (MACHADO <i>et al.</i> , 2018); (RASTANDEH; BROWN; PEDERSEN ZARI, 2018); (AGUILAR-RIVERA, 2019); (SADLER <i>et al.</i> , 2019); (CIEŚLAK, 2019); (MIJANI <i>et al.</i> , 2019); (AL-RUZOUQ <i>et al.</i> , 2019); (JELOKHANI-NIARAKI; HAJILOO; SAMANY, 2019); (BORHANI <i>et al.</i> , 2020); (BALOGUN <i>et al.</i> , 2017)

Fonte: A autora (2021)

Quadro 3 - Matriz de cruzamento de dados

Continuação

Área de domínio: Energia												
Classes de problemas	Classes de métodos							Modelo de saída de dados				Referências
	CM1	CM2	CM3	CM4	CM5	CM6	CM7	R	V	RV	IN	
Avaliação de áreas para usinas de bioenergia/biomassa; hidrelétricas	(5)			(3)				(6)			(2)	(RODRÍGUEZ; GAUTHIER-MARADEI; ESCALANTE, 2017); (JEONG; RAMÍREZ-GÓMEZ, 2017); (PARASKEVIS <i>et al.</i> , 2019); (QUINTA-NOVA; FERNANDEZ; PEDRO, 2017); (JEONG, 2018); (ROMANELLI <i>et al.</i> , 2018); (GHORBANI; MAKIAN; BREYER, 2019); (JEONG; GONZÁLEZ-GÓMEZ, 2020)
Avaliação de áreas para usinas solares/plantas fotovoltaicas	(16)		(1)		(1)		(2)	(10)	(1)	(1)	(8)	(SUN <i>et al.</i> , 2017); (TAVANA <i>et al.</i> , 2017); (SANTANA SARMIENTO; ÁLAMO VERA; DE SAÁ PÉREZ, 2017); (ZOGHI <i>et al.</i> , 2017); (ALY; JENSEN; PEDERSEN, 2017); (ASAKEREH; SOLEYMANI; SHEIKHDAVOODI, 2017); (KAUSIKA; DOLLA; VAN SARK, 2017); (AL GARNI; AWASTHI, 2017); (DOLJAK; STANOJEVIĆ, 2017); (DÍAZ-CUEVAS; DOMÍNGUEZ-BRAVO; PRIETO-CAMPOS, 2019); (SHORABEH <i>et al.</i> , 2019); (SUURONEN <i>et al.</i> , 2017); (YOUSEFI; HAFEZANIA; YOUSEFI-SAHZABI, 2018); (FANG; LI; SONG, 2018); (YUSHCHENKO <i>et al.</i> , 2018); (ALAMI MERROUNI <i>et al.</i> , 2018); (FIROZJAEI <i>et al.</i> , 2019); (DOORGA; RUGHOOPUTH; BOOJHAWON, 2019); (YIMEN; DAGBASI, 2019); (GHASEMI <i>et al.</i> , 2019)
Avaliação de áreas para usinas nucleares/gás, parques eólicos	(10)			(3)		(3)	(1)	(6)	(3)	(4)	(4)	(BASKURT; AYDIN, 2018); (VAVATSIKOS; ARVANITIDOU; PETSAS, 2019); (HARPER <i>et al.</i> , 2019); (DAMOOM <i>et al.</i> , 2019); (DÍAZ-CUEVAS, 2018); (MOHAMMADZADEH BINA <i>et al.</i> , 2018); (DEĞIRMENCI; BINGÖL; SOFUOĞLU, 2018); (LOTFI <i>et al.</i> , 2018); (BACHMANN <i>et al.</i> , 2018); (RAFIEE <i>et al.</i> , 2018); (MAHDY; BAHAJ, 2018); (VAGIONA; KAMILAKIS, 2018); (SANTANA-SARMIENTO; ÁLAMO-VERA; DE SAÁ-PÉREZ, 2019); (ELMAHMOUDI <i>et al.</i> , 2019); (ALI <i>et al.</i> , 2019); (MUKHAMEDIEV <i>et al.</i> , 2019); (MOKARRAM; SATHYAMOORTHY, 2019)
Avaliação de potencial geotérmico/energético e prospecção de áreas	(4)						(1)	(4)			(1)	(YALCIN; KILIC GUL, 2017); (KIAVARZ; JELOKHANI-NIARAKI, 2017); (MWAURA; KADA, 2017); (TINTI <i>et al.</i> , 2018); (TORABI MOGHADAM; LOMBARDI, 2019); (CAMBAZOĞLU <i>et al.</i> , 2019)
Avaliação de instalação de microredes/torres de	(4)		(1)	(1)	(1)				(3)		(4)	(MOLINA BACCA; KNIGHT; TRIFKOVIC, 2020); (VERONESI <i>et al.</i> , 2017); (VASILEIOU; LOUKOGEORGAKI; VAGIONA, 2017); (BARTONĚK, D.; DERMEKOVÁ, S.; ŠKURLA, J. 2017);

transmissão e sistemas híbridos; regiões smarts												(LOUKOGEORGAKI; VAGIONA; VASILEIOU, 2018); (SCHITO; JULLIER; RAUBAL, 2019)
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Fonte: A autora (2021)

Na área de Gestão Ambiental, verificada no Quadro 3, foram identificadas seis classes de problemas em um total de trinta e um artigos revisados. Assim, nos problemas relacionados à priorização de áreas de conservação nove desses trabalhos utilizaram modelos multicritério do tipo de critério único de síntese (MAVT), dois usaram outros métodos combinados, e um utilizou um método multiobjectivo.

Para avaliação de condições ambientais seis aplicações utilizaram MAVT, e outros três utilizaram outros métodos combinados (estatísticos e cluster).

Três documentos apresentaram aplicações para avaliação de riscos de incêndio florestal com uso de MAVT e em uma aplicação para avaliação de vulnerabilidade de áreas protegidas. Para planos de manejo florestal foi utilizado um método multiobjetivo. Para avaliação de adequação de terrenos montanhosos e estradas florestais utilizaram-se modelos aditivos, outros métodos MCDM/A e outras combinações.

Avaliando a área de Agricultura, de acordo com a continuação do Quadro 3, o MAVT foi utilizado em problemas de avaliação: de áreas adequadas para produção agrícola (14 artigos); do potencial do solo e condições ambientais (2 aplicações); e de terras potencialmente irrigáveis (5 trabalhos), assim como em problemas de avaliação do solo e condições do ambiente. Um desses trabalhos também utilizou uma combinação de métodos (estatísticos e cluster).

Os métodos multiobjetivos foram aplicados em duas questões de avaliação do cultivo/manejo e em outro o MAVT.

A análise da área de Gestão de riscos de desastres, conforme Quadro 3 na página seguinte, apresenta sete classes de problemas, avaliação de suscetibilidade de deslizamento com uso do MAVT em oito trabalhos, e quatro aplicações com uso de outras combinações de métodos. Para avaliação de riscos de inundações o MAVT e outros métodos combinados foram utilizados. Também foram identificadas questões de análise de riscos de terremotos e desastres meteorológicos com uso de modelos aditivos e outros MCDM/A. Também identificaram-se questões relacionadas a avaliação de outros tipos de desastres naturais, riscos de desertificação e roteirização estratégicas em situações de desastre.

Em Gestão de Recursos Hídricos, o MAVT foi empregado para zoneamento de águas subterrâneas (17 artigos); avaliação da suscetibilidade de erosão do solo de bacias hidrográficas (8 trabalhos); na seleção de locais para captação de água e

outras questões; avaliação da qualidade da água; e avaliação de risco/localização de águas residuais com uso de MAVT e métodos *outranking*. Em aplicações de zoneamento de áreas úmidas também foram aplicados modelos aditivos e um método de sobreclassificação; e na avaliação da demanda e/ou qualidade da água foi empregada uma combinação com métodos estatísticos, além do uso de modelos aditivos.

Na área de Planejamento Urbano, o MAVT foi aplicado em questões para avaliação de: locais para gerenciamento de resíduos sólidos (20 aplicações); mudanças no ambiente urbano (7 trabalhos); logística (7 artigos); locais adequados para desenvolvimento urbano (10); e vulnerabilidade urbana à risco (2 aplicações), com exceção para uma aplicação com uso de outros MCDM/A.

Três métodos de sobreclassificação foram utilizados para avaliação de locais adequados para desenvolvimento urbano e avaliação logística e desenvolvimento urbano. E um método combinado com programação matemática para avaliação logística e outros métodos MCDM/A.

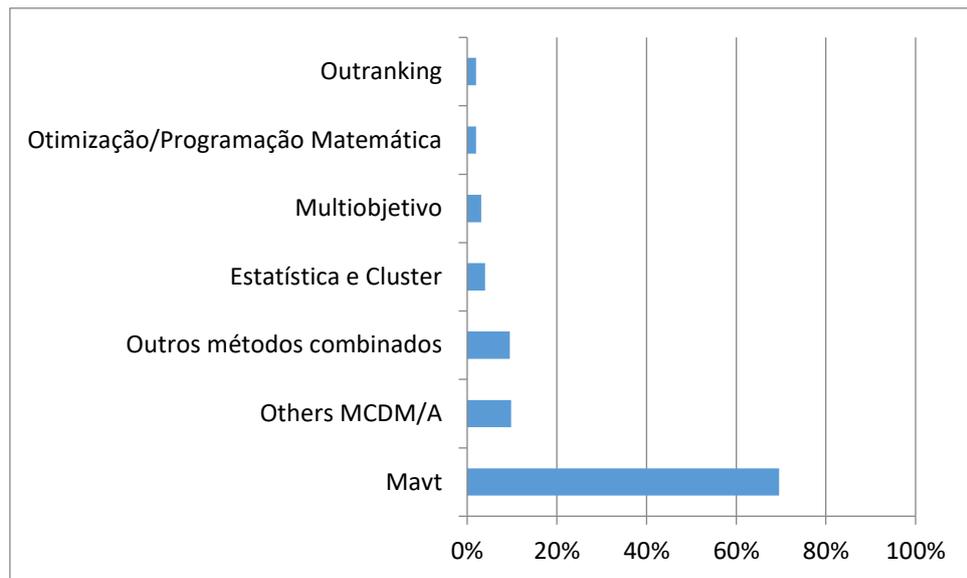
Um dos trabalhos para avaliação de mudanças no ambiente urbano apresentou uso de um método multiobjectivo e em quatro aplicações foram aplicados outros MCDM/A.

Em seguida, nas áreas diversas, para uma série de outras aplicações com questões que se encaixam em áreas diversas, o MAVT também foi comumente utilizado, assim como outros MCDM/A, *outranking* e multiobjectivo, além da combinação com métodos de programação matemática, estatística e cluster.

Por fim, foram identificadas cinco classes de problemas na área de domínio de energia. Para avaliação de áreas adequadas para instalação de usinas nucleares, fotovoltaicas e parques eólicos os modelos aditivos foram bastante utilizados, além de outros MCDM/A e também combinação com modelos de programação matemática. Foram avaliadas questões de potencial geotérmico, sistemas híbridos e usinas de bioenergia, também com uso do MAVT e uma das aplicações com uso de um método de multiobjetivo e outro com combinação com métodos estatísticos e outros MCDM/A.

A fim de obter uma visualização holística do que descreve os quadros foi elaborado um gráfico, que apresenta um resumo das porcentagens de artigos e seus respectivos métodos, conforme verificado no Gráfico 3:

Gráfico 3 - Porcentagem de trabalhos por tipo de métodos

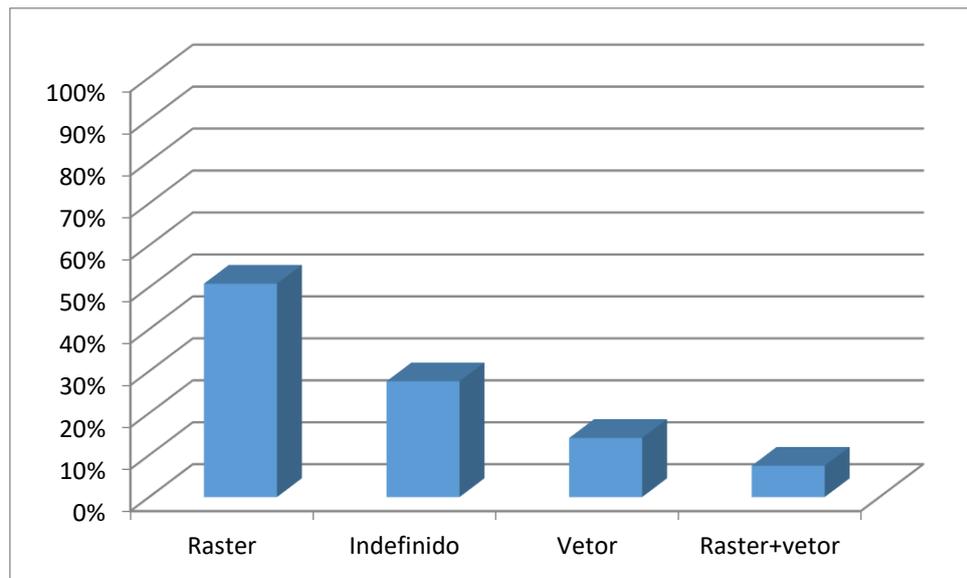


Fonte: A autora (2021)

Evidencia-se uma alta porcentagem de trabalhos que utilizam modelos do tipo de critério único de síntese, cerca de 70% dos artigos revisados. Além disso, é importante destacar que apenas 2% das publicações utilizaram métodos do tipo *outranking* e cerca de 3% do tipo multiobjectivo.

Outra questão a ser esclarecida é em relação ao modelo de saída de dados, informação expressas no Quadros 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9. Construiu-se um gráfico a fim de resumir tal informação e facilitar sua rápida visualização, verificado no Gráfico 4.

Gráfico 4 - Modelo de saída de dados



Fonte: A autora (2021)

Notadamente, a maioria das aplicações, cerca de 51%, utiliza um modelo de saída de dados do tipo raster, e 14% do tipo vetorial. Além disso, destaca-se também que 28% é indefinido, isto é, que não foi possível identificar exatamente o modelo usado. Também foram identificadas aplicações com uso do modelo híbrido do tipo raster e vetor, cerca de 7% dos trabalhos revisados. É válido salientar que alguns autores comentam que o tipo raster é de fácil manipulação dos dados, o que facilita a aplicação.

A partir do levantamento desses trabalhos notou-se que, apesar da existência de metodologias que integram GIS com MCDA, os problemas são estruturados de variadas maneiras, e observam-se algumas limitações nessa combinação. Nesse sentido, seria interessante definir uma sistemática baseada nessa integração, isto é, um passo a passo de como poderiam ser construídos modelos para essas aplicações espaciais, evidenciando elementos que podem ser utilizados em cada etapa definida. Assim, no próximo capítulo, essa sistemática é apresentada e exemplificada através da observação de aplicações existentes.

## 4 ESTRUTURA DE TOMADA DE DECISÃO GIS-MCDA

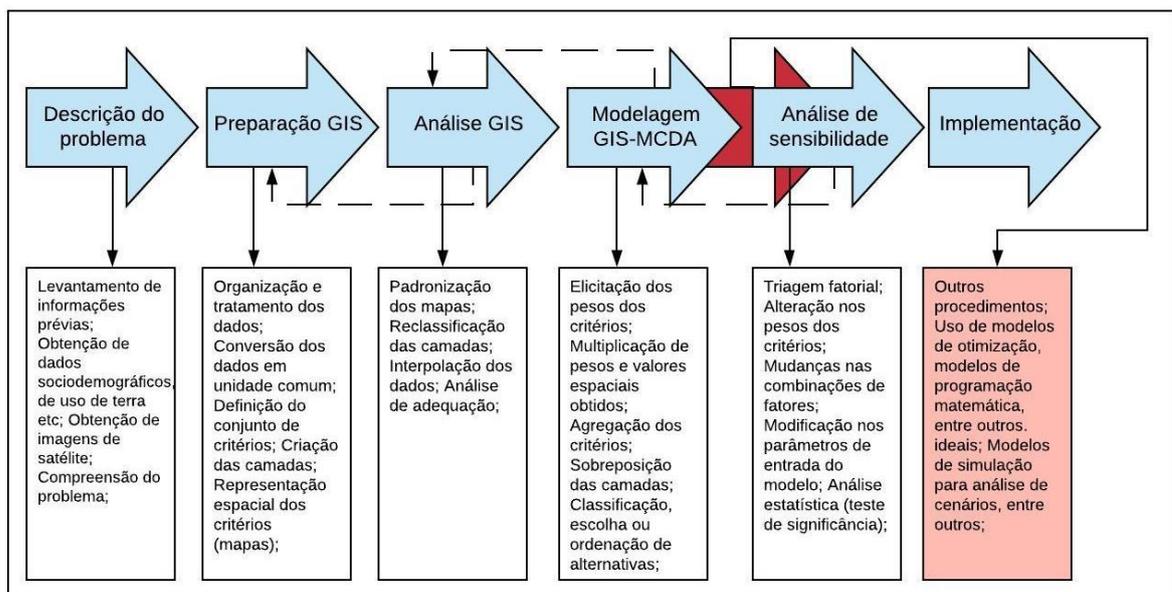
Nesta seção é formalizada a estrutura de tomada de decisão baseada na abordagem integrada GIS-MCDA, destacando inclusive como os trabalhos podem ser estruturados e quais as ferramentas e métodos são utilizados.

### 4.1 FORMALIZAÇÃO DA ESTRUTURA DE TOMADA DE DECISÃO BASEADA EM GIS-MCDA

Com base na revisão de literatura foram obtidos artigos de diferentes contextos e percebeu-se que de fato não havia uma padronização na estruturação dos problemas. Notadamente, cada aplicação possuía suas particularidades de modo que foi possível capturá-las e formalizar uma sistemática para apoio a modelagem da resolução de questões com uma abordagem genérica.

Nesse sentido, baseada em Aires *et al.* (2020) foi elaborada uma sistemática para estruturar os problemas por meio da integração GIS-MCDA. Dessa forma, é denotado que as aplicações GIS-MCDA seguem uma sequência flexível de atividades, de caráter iterativo podendo inclusive voltar para etapas anteriores, a partir de uma retroalimentação, como demonstrados a seguir na Figura 6.

Figura 6 - Estrutura de tomada de decisão baseada em GIS-MCDA



Fonte: A autora (2021)

Assim, com base na análise dos trabalhos selecionados, verifica-se que a Figura 6 apresenta a formalização de uma sistemática para apoiar a estruturação dos modelos GIS-MCDA, onde cada uma das etapas de construção possui suas respectivas funções.

É importante observar que cada etapa é descrita por uma série de atividades, no entanto nem toda aplicação efetua todos os procedimentos até então descritos. Mas é necessário que eles sejam expostos destacando inclusive quais as ferramentas são comumente utilizadas em cada momento. Na próxima seção é realizada uma descrição da estrutura proposta.

## 4.2 DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DA SISTEMÁTICA

Nessa seção são descritas as etapas básicas para estruturação de um problema por meio da integração GIS-MCDA.

### 4.2.1 Descrição do problema

Na primeira etapa ocorre um levantamento de informações prévias para compreensão do problema. É realizada uma descrição da área de estudo baseada em dados sociodemográficos, geomorfológicos, hidrológicos, dados de uso de terra, dados meteorológicos, etc. Para obtenção dessas informações também é necessário o uso de ferramentas tais como: *google earth*, *Landsat 8*, *ASTER*, *MODIS*, entre outros para captura de imagens de satélites e/ou fotografias aéreas, por exemplo. Também podem ser utilizados modelos matemáticos para obter informações sobre o solo, como as extraídas do *Digital Elevation Model (DEM)*, *Mathematical Model of Soil Erosion (MMMF)* etc. Essas informações prévias podem ser extraídas de portais online, consulta com especialistas, revisão na literatura disponível, instituições governamentais, senso, entre outros.

Assim, é importante evidenciar que esse processo de levantamento dos dados também pode variar de acordo com a complexidade da questão, área de aplicação, objetivo do problema e outros elementos. A fim de melhor compreensão dessas diferenças podemos destacar alguns trabalhos, à exemplo: com o objetivo de avaliar a qualidade da água para irrigação, Kavurmaci e Apaydin (2019) descreveram sua

área de estudo a partir de sua localização geográfica, dados de precipitação, levantamento dos problemas oriundos da perda de qualidade da água e definição da amostragem (cerca de 20 poços foram observados). Também foram analisados sistemas hidráulicos e geomorfológicos. Foram consultadas as Normas da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura e o Instituto de Normas da Turquia. Diferentemente, Adb El Karim e Awawdeh (2020) a fim de avaliar a qualidade de vida em uma cidade, além da localização geográfica da área, também obtiveram dados sobre a altitude, informações sobre o que é produzido naquela localidade, a distribuição dos distritos (cerca de 70), distribuição dos centros de comércio e serviços recreativos, assim como cobertura da área urbana e quantidade populacional. Em outra situação, Bachmann et al. (2018) realizaram uma avaliação de um projeto de expansão para uma rede de transmissão de energia, e utilizaram informações sobre a demanda dessa expansão, assim como os *trade-offs* entre os cenários de planejamento executados por uma ferramenta utilizada, a abrangência da área, caracterização da área em termos de zonas rurais e terras agrícolas, reservas naturais e áreas protegidas.

#### **4.2.2 Preparação GIS**

Nessa fase os dados são organizados e devidamente tratados para preparação para o ambiente GIS. Os procedimentos mais comuns tratam da transformação para uma escala comum que envolve processamento de imagens dos satélites, análise de fotografias, conversão dos dados. Por exemplo, existem questões em que os dados iniciais estão em formato vetorial, mas para facilitar a análise são convertidos no formato raster, por exemplo, Damoom et al. (2019) a fim de identificar locais potenciais para situar centrais nucleares adquiriram inicialmente dados vetoriais que foram convertidos, em seguida, para o formato raster, que segundo os autores, facilitou a manipulação para etapas seguintes.

Posteriormente, baseado em consulta com especialistas e revisão da literatura e/ou normas e regulamentos nacionais e/ou internacionais, realiza-se a definição de um conjunto de critérios relevantes para a análise. Em seguida ocorre a criação de camadas para cada critério, e representação espacial dos critérios com vinculação de mapas a cada um.

Além disso, é válido destacar a utilização de diversas ferramentas que auxiliam nesse processo, à exemplo: o Excel, utilizado na aplicação dos métodos AHP e Promethee por Kaya et al. (2020) a fim de classificar estações de carregamento de veículos elétricos; o software Matlab que auxiliou Feyzi et al. (2019) no emprego do método DEMATEL para identificar relações mútuas e interdependência dentro dos critérios; Outras ferramentas também podem ser destacadas como *Google Earth*, ferramentas de georreferenciamento, imagens de satélite etc, para obtenção de mapas e fotografias aéreas.

### 4.2.3 Análise GIS

A análise GIS é caracterizada por procedimentos que diferem dependendo de cada aplicação. Assim, é possível destacar os mais comuns entre as diferentes colocações. Dessa forma, pode ser realizada padronização dos mapas de critérios (transformação em escala linear), reclassificação das camadas a partir de uma associação difusa, reclassificação a partir de uma distância euclidiana. Também ocorre uma interpolação de dados que permite a estimativa de valores de atributos desconhecidos a partir de pontos conhecidos em uma mesma área ou região. Os métodos mais comuns utilizados são *kriging* e/ou *Inverse Distance Weigting* (IDW). *Kriging* é uma técnica que fornece o melhor estimador imparcial para o parâmetro analisado e se baseia na possibilidade de se fazer inferências a partir de uma função aleatória, (PARASKEVIS et al. 2019). Dessa forma, a informação dos locais espaciais permite o cálculo das distâncias entre as observações e modelagem da autocorrelação como uma função da distância. O IDW trata-se de um método de interpolação de dados que para predizer um valor para algum local não medido, ele usará os valores amostrados à sua volta, que terão maior peso do que os valores mais distantes, (BACHOUICHE et al. 2017).

Por fim, algumas aplicações apresentam uma análise de adequação que se trata de uma pré-análise, em que no próprio ambiente GIS é realizado um procedimento de adequação, isto é, cada critério irá receber um índice de adequação, por exemplo, e em seguida são somados obtendo um índice total. O objetivo é filtrar alternativas, classificá-las normalmente em intervalos iguais. O resultado é um mapa de adequação que traz os locais compatíveis, e/ou disponíveis para próxima fase.

Basicamente, essa análise mede o grau de adequação de um espaço para determinado uso.

#### 4.2.4 Modelagem GIS-MCDA

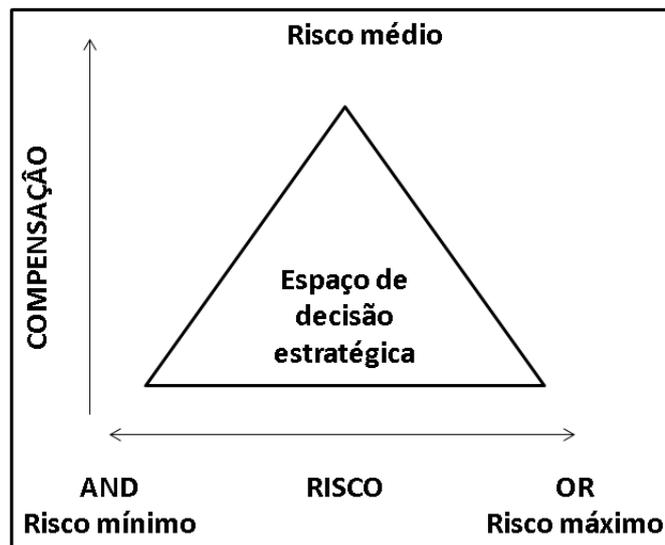
Esta etapa corresponde à integração das duas abordagens (GIS-MCDA). É o momento em que, dependendo do método aplicado, ocorre a elicitación dos pesos dos critérios com método MCDA e em seguida é realizado uma multiplicação dos pesos e valores espaciais obtidos resultante da abordagem combinada GIS-MCDA. É válido salientar que este procedimento pode ocorrer de diferentes maneiras, determinadas a partir do método escolhido. Todavia, nessa etapa ocorre a agregação dos critérios e em muitas aplicações é comum isso ocorrer através do uso de *Weighted Linear Combination* WLC, OWA incorporando o risco a decisão, AHP, sobreposição ponderada simples, entre outros métodos, à exemplo dessas aplicações tem-se Roy e Saha (2018) para delineamento de terras adequadas para o cultivo de grãos usando AHP para elicitación dos pesos e realizando a agregação com o WLC; Gigovic et al. (2019) utilizaram WLC e OWA para avaliação de deslizamentos de terra; Andualet et al (2020) também utilizaram AHP para ponderação e WLC para agregação dos critérios a fim de identificar áreas propensas ao solo, entre outras.

É importante destacar que dependendo da questão, alguns trabalhos utilizam mais de um método MCDA, por exemplo, Yu, Yu e Lu (2018) realizaram uma avaliação de riscos meteorológicos para produções agrícolas utilizando a abordagem GIS-MCDA combinando AHP e TOPIS; De maneira semelhante, Sopha, Asih e Nursitasari (2018) realizaram uma avaliação de locais adequados para instalação de um centro de distribuição utilizando essa combinação de métodos. Nesse sentido, obtém-se o mapa final para decisão e conseqüentemente a classificação, escolha ou ordenação de alternativas, por exemplo, classificação de áreas, escolha de locais ideais etc.

De forma simples no WLC, um dos métodos mais utilizados para agregação dos critérios nessas aplicações, após os mapas dos critérios terem sido gerados cada célula ou pixel de cada um é multiplicado pelo peso atribuído, e então ao final os resultados são somados e é possível obter a priorização de áreas. O WLC é um método multicritério compensatório e com risco médio (UUEMAA; HUGHES; TANNER, 2018).

Por outro lado, o OWA, também comumente utilizado para agregação dos critérios, proporciona combinações que ficam entre operadores booleanos AND (intersecção) e OR (união) tornando possível a variação dos pesos de ordenação, desde que o somatório destes seja igual a um. Como se trata de um método que incorpora o risco às decisões, o deslocamento dos pesos de ordenação no sentido mínimo ou máximo controla o risco que pode ser assumido e a homogeneidade das distribuições dos pesos controla os *tradeoffs*, como demonstrado na Figura 7 (BOROUSHAKI; MALCKEWSKI, 2008).

Figura 7 - Espaço estratégico para tomada de decisão



Fonte: Easteman (2003)

O resultado final é um espaço triangular referente à estratégia de decisão definido por dois eixos, um correspondente ao risco e outro que corresponde à compensação, isto é, o *tradeoff*.

Dando continuidade ao detalhamento dos principais métodos utilizados nessa etapa, tem o AHP, além de ser bastante utilizado na combinação também é usado para obtenção dos pesos dos critérios em muitas aplicações. O AHP foi criado por Thomas A. Saaty (1980) e possibilita a comparação de elementos de decisão quantitativos e qualitativos. É estabelecida uma hierarquia do problema, em que no topo é encontrado o objetivo final, logo abaixo são determinados os critérios que são subdivididos em subcritérios e na base hierárquica encontram-se as alternativas propostas. A atribuição dos pesos dos critérios é feita a partir da construção de uma

matriz de comparação. Assim, é possível destacar alguns trabalhos que fazem uso desse método para diferentes situações, à exemplo, Karimi *et al.* (2018) utilizaram o AHP para obtenção dos pesos dos critérios em uma avaliação de um local adequado para um aterro sanitário; de maneira semelhante, Singh, Jha e Chowdary (2018) também realizaram elicitación dos pesos com uso do AHP para um mapeamento de zonas de águas subterrâneas; Quinta-Nova, Fernandez e Pedro (2017) além de o utilizarem para ponderação, também o utilizam para agregação dos critérios para avaliação do potencial de geração de resíduos de biomassas de fontes florestais; Da mesma forma, Seker e Yucel (2017) usam o AHP para elicitación de pesos e agregação dos critérios para seleção de um local adequado para uma estação de tratamento de águas residuais.

Por fim, é possível obter uma informação precisa através de um mapa potencial que traz a priorização de áreas auxiliando na escolha de alternativas do processo de decisão.

#### **4.2.5 Procedimentos alternativos**

Outros procedimentos para resolução do problema, destacam-se pelo uso de modelos de otimização, modelos de programação matemática, entre outros. A finalidade aqui pode ser efetuar uma escolha de localizações ideais; modelos de simulação para análise de cenários, entre outros. À exemplo, Viana e Delgado (2019) utilizaram uma abordagem GIS-MCDA para estabelecer estratégias de Logística que apoiem o planejamento do uso da terra e a organização dos fluxos logísticos no centro da cidade de Salvador, Bahia, no Brasil. Dessa forma, após apontarem os lugares com maior potencial de eventos negativos que afetam a qualidade da logística urbana utilizaram o mapa final (resultado da abordagem aplicada) para estudar o fenômeno logístico através do geoprocessamento com uso da simulação para análise de cenários e então auxiliar no planejamento urbano. Outrossim, Akgün e Erdal (2019) aplicaram essa abordagem com o objetivo de determinar os locais e as atribuições de serviços de diferentes níveis com o propósito de atender as necessidades de munição de unidades militares considerando níveis de estoque, custo e riscos das localidades. Após aplicação da modelagem GIS-MCDA, criaram um modelo de otimização multiobjetivo para determinar as localizações ideais e posteriormente a partir de

métodos de simulação foram construídos cenários projetados pelos especialistas e os resultados obtidos foram analisados.

#### **4.2.6 Análise de sensibilidade**

A análise de sensibilidade é realizada com o objetivo de testar a sensibilidade dos resultados. Então ela busca investigar como as mudanças nas entradas, suposições ou as diversas formas como a análise é construída afetam o resultado final. Geralmente, tem-se a alteração de parâmetros de entrada do modelo. No entanto, alguns trabalhos utilizam a Simulação de Monte Carlo que consiste em uma série de algoritmos computacionais que funcionam por amostragem repetida de uma faixa de valores possíveis para calcular uma série de distribuições de probabilidade (VIANA; DELGADO, 2019). Por outro lado, também é comum observar que em muitos trabalhos a sensibilidade é testada alterando os pesos dos critérios e avaliando as possíveis mudanças nos métodos de agregação, a fim de observar a variação dos resultados. Além disso, algumas aplicações efetuam uma análise estatística através do teste de significância das alternativas. A maioria dos estudos sobre a análise de sensibilidade no GIS-MCDA utiliza o método de triagem fatorial, isto é, o impacto da alteração dos valores de cada fator é avaliado por vez (FIROZJAEI *et al.*, 2019).

#### **4.2.7 Implementação**

Por fim, após análise de sensibilidade o modelo pode ser validado e implementado gerando informação para apoio ao processo de tomada de decisão. É válido destacar a flexibilidade e iteratividade da sistemática no sentido de que é possível voltar em algumas etapas como observado na Figura 6. Nas etapas de Modelagem GIS-MCDA, Análise de sensibilidade, Análise GIS e Preparação GIS ocorrem essa retroalimentação possibilitando o refinamento das questões. No entanto, não é possível realizar uma análise GIS sem a preparação, bem como efetuar a modelagem GIS-MCDA sem antes realizar a análise. Isso acontece porque existem procedimentos característicos dessas fases que necessariamente precisam ser efetuados. Por exemplo, não é possível obter o modelo GIS-MCDA sem padronizar os dados, deixar os critérios em uma escala comum, ou até mesmo reclassificar

camadas. Os *softwares* mais utilizados para implementação GIS-MCDA são o ArqGIS e o QGIS (código aberto).

#### 4.3 VALIDAÇÃO DA SISTEMÁTICA

Nessa seção é demonstrado, através de trabalhos selecionados na revisão de literatura, como a estrutura genérica apresentada evidencia os elementos comuns inseridos na sistemática destacando inclusive métodos, ferramentas e técnicas indispensáveis para aplicação. Assim, a partir das etapas que são destacadas, com os elementos fundamentais para resolução de um problema que envolva o uso da abordagem combinada GIS-MCDA, percebe-se que a estrutura proposta representa os elementos utilizados nos modelos GIS-MCDA dos problemas levantados, evidenciando que a sistemática pode ser empregada para apoiar o desenvolvimento de novos problemas.

Para isto, foi construído um quadro descrevendo o que cada aplicação realiza em cada etapa baseada na sistemática proposta, conforme Quadro 4.

Notadamente, os procedimentos adicionais são realizados em apenas algumas aplicações, na maioria delas o fluxo de atividade segue a descrição do problema, preparação GIS, análise GIS, modelagem GIS-MCDA e Análise de sensibilidade. No entanto, é importante incluir esta etapa na estrutura, pois se trata de um modelo genérico que poderá ser aplicado a qualquer problema com essas características espacial multicritério.

Quadro 4 - Validação da sistemática

Referências	Descrição do problema/Objetivo	Preparação GIS	Análise GIS	Modelo GIS-MCDA	Outros procedimentos	Análise de sensibilidade
(SINGHA <i>et al.</i> 2019)	Criaram uma abordagem para o mapeamento de zoneamento de contaminação antropogênica em potencial de águas subterrâneas usando parâmetros lito-hidrogeológicos com MCDA baseado em GIS e identificando a fonte real de contaminação antropogênica em águas subterrâneas por meio de análises hidrogeoquímicas, no distrito de Raipur, Chhattisgarh, Índia.	Tratamento de dados hidrológicos, geomorfológicos; Preparação de camadas usando imagens de satélites, informações do modelo digital de elevação (DEM) e fotografias aéreas; Conversão de dados; Criação de mapas para cada critério;	Reclassificação de camadas com uso da distância euclidiana;	Normalização dos pesos através do AHP; Sobreposição dos parâmetros através da técnica de índice de sobreposição ponderada (WOIT); obtenção do mapa potencial da zona de contaminação antropogênica;	Análise hidroquímica	A análise de sensibilidade ocorreu a partir de três métodos: Sobreposição dos pontos de nitrato e fluoreto; Análise de similaridade para concentrações de nitrato e fluoreto em relação aos índices de PACZ; Análise comparativa das concentrações de nitrato e fluoreto no que diz respeito aos padrões de uso da terra.
(FIGUEIREDO; MOTA 2019)	Abordagem GIS-MCDA para identificar e classificar áreas vulneráveis à violência em áreas públicas.	Determinação dos critérios relacionados à segurança pública; Considerações de variáveis relacionadas à crimes violentos; Identificação dos DMs. Criação de mapas de aprendizagem.	Avaliação das preferências individuais de cada DM através da análise de mapas no GIS; Reclassificação das alternativas.	Agregação dos critérios com uso do DSRA-PL e classificação das alternativas; Obtenção do mapa de vulnerabilidade a violência.	Não definido	Comparação consideração um conjunto de indicadores.

Fonte: A autora (2021)

Continua

Quadro 4 - Validação da sistemática

Continuação

Referência	Descrição do problema/Objetivo	Preparação GIS	Análise GIS	Modelo GIS-MCDA	Outros procedimentos	Análise de sensibilidade
(KARIMI <i>et al.</i> 2018)	O objetivo do trabalho foi aplicar a abordagem integrada GIS-MCDA para seleção de um local adequado para instalação de aterro, no Condado de Javanrood, no Irã. Além disso, foi proposto um esquema de zoneamento e priorização para locais de aterros;	Determinação dos critérios com base numa revisão de literatura, normas e regulamentos nacionais, opinião de especialistas e características regionais; Preparação das camadas, criação de mapas com auxílio do <i>Landsat 8</i> e mapas topográficos, <i>google earth</i> ;	Padronização dos mapas através da associação difusa; Realização de uma análise de adequação.	Uso do AHP e opinião dos especialistas para obter pesos dos critérios, os dados foram importados para o <i>Expert Choice</i> para obtenção do peso final; Sobreposição das camadas através do WLC;	Não definido	A análise de sensibilidade foi conduzida através da triagem fatorial;
(MOTA; FIGUEIREDO; PEREIRA, 2020)	Identificação e classificação de áreas vulneráveis à homicídios em uma cidade do Brasil.	Padronização dos dados; Determinação dos critérios; Criação dos mapas e camadas;	Hot spot analysis; Local Moran's I. Reclassificação dos objetos;	Modelagem GIS-MCDA baseada em DSRA; Aplicação das regras de decisão; Obtenção do mapa de vulnerabilidade.	Análise cluster	Comparação com dados de homicídios pré-existent;

Fonte: A autora (2021)

Quadro 4 - Validação da sistemática

Continuação

Referência	Descrição do problema/Objetivo	Preparação GIS	Análise GIS	Modelo GIS-MCDA	Outros procedimentos	Análise de sensibilidade
(SEYEDMOHA MMADI <i>et al.</i> 2019)	O trabalho buscou avaliar a adequação da terra para produção de cevada usando uma estrutura que integra o <i>matter element</i> , GIS, MCDA e sensoriamento remoto no Noroeste do Irã; E avaliar a disponibilidade de água, e os requisitos mais adequados à irrigação por aspersão.	Realizou-se um mapeamento do solo considerando características climáticas, cor do solo, etc. A partir de as imagens extraídas via satélite, produziu-se um mapa poligonal; Seleção dos critérios usando PCA e distância euclidiana;	Determinação das classes de adequação das unidades de terra; Produção do mapa de adequação no GIS;	Ponderação dos critérios com AHP e avaliação de especialistas; Realizou-se uma análise de aptidão da terra usando os métodos <i>Matter Element, Store e Square root</i> ;	Não definido	Análise estatística de precisão dos métodos usando a ANOVA e LSD;
(SINGH; JHA; CHOWDARY 2018)	Utilizaram uma abordagem GIS-MCDA para mapear o potencial das zonas de águas subterrâneas, na Índia Oriental.	Padronização dos dados extraídos; Definição de um conjunto de critérios baseados na consulta aos especialistas; Atribuição de mapas aos critérios;	Reclassificação das camadas a partir da distância euclidiana;	Atribuição de pesos as camadas e dados espaciais com uso do AHP baseado na opinião de especialistas; Agregação dos pesos com WLC; Geração do mapa de potencial de águas subterrâneas baseado no AHP;	Zoneamento baseado na <i>Catastrophe Theory</i> ;	(9) Comparação dos métodos, AHP e Catástrofe;

Fonte: A autora (2021)

Quadro 4 - Validação da sistemática

Continuação

Referência	Descrição do problema/Objetivo	Preparação GIS	Análise GIS	Modelo GIS-MCDA	Outros procedimentos	Análise de sensibilidade
(SELIM <i>et al.</i> 2018)	O objetivo do trabalho foi identificar áreas adequadas para cultivo de abacate usando MCDA baseado em GIS para determinar locais ideais em Antália, na Turquia.	Baseado em requisitos para cultivo do abacate foram determinados os critérios relevantes; Criação de um banco de dados no GIS; Atribuição de mapas aos critérios selecionados;	Realizou-se uma análise de adequação no GIS;	Ponderação dos critérios com uso do AHP; Agregação dos critérios com uso da sobreposição ponderada simples;	Não definido	Análise estatística, teste de significância para aferir a sensibilidade dos resultados;
(ÇETINKAYA <i>et al.</i> 2016)	O trabalho teve objetivo de aplicar uma metodologia baseada em GIS-MCDA para determinar locais adequados para campos de refugiados Sírios na Turquia.	Seleção de critérios baseado em revisão da literatura e entrevistas com especialistas; Criação das camadas para cada critério usando o GIS;	Análise de adequação, com o GIS, através de distância euclidiana, análise de inclinação; Padronização das análises para selecionar locais alternativos através da análise espacial;	Calcular os valores dos pesos das camadas com uso do AHP difuso (FAHP); Multiplicação dos pesos obtidos e os valores espaciais normalizados; Classificação das alternativas com o TOPSIS;	Não definido	Testes comparativos de duas abordagens, FAHP-TOPSIS e GIS e TOPSIS-GIS, foram alterados os pesos dos critérios para análise de sensibilidade.

Fonte: A autora (2021)

Quadro 4 - Validação da sistemática

Continuação

Referência	Descrição do problema/Objetivo	Preparação GIS	Análise GIS	Modelo GIS-MCDA	Outros procedimentos	Análise de sensibilidade
(DELL'OVO; CAPOLONGO; OPPIO 2018)	A seleção de locais de unidades de saúde é um problema típico que requer uma estruturação adequada, pois envolve múltiplos critérios e partes interessadas conflitantes. Dessa forma, esse estudou buscou desenvolver um sistema de apoio a decisão baseado em MCDA-GIS para avaliar a adequação da terra para novas estruturas de saúde em Milão, Itália, a fim de melhorar a transparência e a robustez do processo de tomada de decisão.	Determinaram-se os critérios; realizou-se a coleta de informações espaciais sobre os critérios; Vincular mapas de origem para cada subcritério; padronização dos subcritérios para deixar em escala comum;	Criação de mapas de adequação parcial para cada critério;	Efetou-se elicitação dos pesos com o AHP; Em seguida, a agregação dos mapas de adequação parcial e obtenção de mapas de adequação geral com uso do WLC;	Não definido	Os pesos foram modificados e atribuindo uma porcentagem de incerteza às pontuações em relação à possível falta de informação.
(VIANA; DELGADO, 2019)	Esse trabalho investigou a relação entre frete urbano e forma, design, zoneamento e planejamento urbano para estabelecer estratégias de Logística que apoiem o planejamento do uso da terra e a organização dos fluxos logísticos no centro da cidade de Salvador, Bahia, Brasil.	Levantamento dos fatores associados a distribuição de frete e uso de terra urbana; Elaboração de questionários para consultas aos especialistas; Seleção dos critérios; Representação dos critérios através de mapas;	Análise de adequação das atividades logísticas;	Obtenção dos pesos dos fatores com AHP; Integração desses fatores com uso do WLC;	Simulação para análise de cenários através do geoprocessamento	Simulação, através da combinação diferente dos fatores;

Fonte: A autora (2021)

Quadro 4 - Validação da sistemática

Continuação

Referência	Descrição do problema/Objetivo	Preparação GIS	Análise GIS	Modelo GIS-MCDA	Outros procedimentos	Análise de sensibilidade
(AKGÜN; ERDAL, 2019)	O estudo foi realizado em um projeto de distribuição de munição de nível estratégico, em que o objetivo foi determinar os locais e as atribuições de serviços de diferentes níveis com o propósito de atender as necessidades de munição de unidades militares considerando níveis de estoque, custo e riscos das localidades.	Identificação de critérios espaciais e atribuição dos seus respectivos mapas;	Análise de adequação no GIS para filtrar possíveis localizações (alternativas);	Aplicou-se uma abordagem combinada de AHP e TOPSIS, para obtenção dos pesos e agregação final;	Criou-se um modelo de otimização para determinar as localizações ideais; Criação de cenários a partir do modelo e verificação;	Foram gerados dez cenários para análise, além do estado inicial, alterando os locais, atribuições e políticas de estocagem.
(KAMDAR <i>et al.</i> 2019)	O uso de aterros inadequados resulta em impactos negativos no ecossistema devido ao aumento da geração global de desperdício. Assim, o estudo buscou apresentar uma abordagem baseada em GIS-MCDA para avaliar locais adequados para instalação de aterros na Tailândia.	Selecionar critérios baseado na literatura e consulta com especialistas; Preparação de camadas no GIS obtendo mapas para cada critério;	Análise de adequação no GIS;	Obter os pesos dos critérios com AHP; Fazer agregação através do GIS com WLC; Seleção dos locais adequados;	Não definido	Não mencionado

Fonte: A autora (2021)

Quadro 4 - Validação da sistemática

Continuação

Referência	Descrição do problema/Objetivo	Preparação GIS	Análise GIS	Modelo GIS-MCDA	Outros procedimentos	Análise de sensibilidade
(HARIZ; DÖNMEZ; SENNAROGLU, 2017)	A maioria dos estabelecimentos de saúde no Quênia necessita da aplicação da legislação para manuseio e descarte de resíduos de serviços de saúde, no entanto não há um plano de supervisão para garantir a conformidade. Assim, este trabalho buscou identificar uma área adequada para a construção de um incinerador para servir essas instalações de saúde.	Organização e tratamento dos dados; Identificação de critérios baseados em estudos anteriores; Atribuição de mapas para cada critério estabelecido;	Harmonização das camadas dos critérios; Realizou-se a análise euclidiana; Em seguida reclassificaram-se os intervalos de valores gerados na análise euclidiana em nove classes;	calcular os pesos dos critérios com uso do AHP; As várias camadas, juntamente com seus pesos, foram sobrepostas usando a ferramenta de sobreposição ponderada e os mapas resultantes gerados.	Não definido	Foram testados três métodos MCDA para avaliar a robustez dos resultados através da comparação da classificação sugerida em ambos, chegando a um denominador comum.
(DOMAZETOVÍČ <i>et al.</i> 2019)	A fim de determinar a presença e distribuição espacial da erosão da ravina em uma ilha do arquipélago da Dalmácia do Norte, foi criado um modelo de suscetibilidade à erosão baseado em GIS-MCDA para identificar as áreas mais suscetíveis à erosão;	Determinaram-se critérios e restrições através de pesquisas anteriores e considerando que os parâmetros que afetam a probabilidade de ocorrência; padronização dos critérios com método gama;	Realizou-se uma análise de adequação para filtrar alternativas;	Determinação dos pesos dos critérios com AHP, no GIS (método gama); agregação dos critérios com ferramentas do GAMA;	Não definido	Realizou-se uma alteração dos parâmetros de entrada

Fonte: A autora (2021)

A partir desses exemplos, apresentados nos quadros supracitados, verificou-se que a sistemática definida é efetiva para acomodar as etapas determinadas no seu desenvolvimento, sobretudo, na identificação dos elementos essenciais para estruturação das questões especificadas. É válido salientar que foram abordados contextos diferentes e aplicações distintas, no entanto notou-se que a sistemática aderiu adequadamente a cada situação, demonstrando assim sua aplicabilidade. Na próxima sessão são discutidas algumas especificidades acerca dessa integração.

## 5 DISCUSSÕES

A partir da revisão do estado da arte, pautada na análise de trabalhos distribuídos em diferentes contextos, foi possível obter uma visão generalista de como acontece a estruturação de problemas baseados em uma abordagem combinada GIS-MCDA. Assim, identificou-se um padrão geral para construção de uma sistemática. Considerando que as decisões são tomadas em âmbitos público e/ou privado, e que muitas medidas que precisam ser tomadas estão sujeitas a disponibilidade de recursos escassos, torna-se válido e importante a formalização dessa sistemática como ferramenta de apoio para o processo de tomada de decisão visando melhorias nas ações e melhor aproveitamento dos recursos.

Todavia, a forma como os problemas são estruturados são particulares para determinados assuntos, no entanto, de um modo geral consegue-se visualizar um padrão nessas aplicações. Por isso, é importante revelar essa maneira generalista com a qual os problemas podem ser tratados.

Por outro lado, percebeu-se que algumas áreas possuem mais destaque com uso dessas ferramentas, tais como: gestão ambiental, energia, gestão de recursos hídricos, planejamento urbano, entre outras. Além disso, a consideração de critérios envolvendo o pilar ambiental também foi bastante notada.

O uso de modelos MCDM/A do tipo de critério único de síntese (MAVT) foi bastante difundido nas aplicações, em contrapartida os métodos de sobreclassificação pouco aparecem. À exemplo, Kaya *et al.* (2020) aplicaram uma abordagem combinada de GIS e Promethee para avaliar locais adequados para *Electric Vehicle Charging Stations* (EVCS), dentre todos os trabalhos revisados, cerca de apenas 2% deles utilizam métodos multicritérios do tipo *outranking*.

Dando sequência as discussões, na análise de cada etapa da estrutura de tomada de decisão GIS-MCDA percebe-se que são utilizadas diversas ferramentas e técnicas, e isso pode variar de acordo com a questão abordada. Na análise GIS, por exemplo, Ajibade *et al.* (2019); Hariz *et al.* (2017) converteram os diversos tipos de dados em um sistema de coordenadas comum em seguida as camadas foram reclassificadas a partir de uma associação difusa e reclassificadas a partir da distância euclidiana. Em outros casos, essa etapa é caracterizada por uma análise de adequação, por exemplo, Paraskevis *et al.* (2019) efetuaram a interpolação de dados

com uso do método *kriging* e logo após classificaram as camadas em cinco classes de adequação em que cada alternativa recebeu um índice de adequação. De maneira similar, Akgün e Erdal (2019) realizaram essa análise GIS para filtrar as alternativas potenciais que traz os locais compatíveis e/ou disponíveis para próxima fase. Dessa forma, é notório que há possibilidades diferentes para realizar os procedimentos no que diz respeito a esta etapa.

Outro ponto importante para se destacar é em relação à opinião de especialistas que é bastante tratada em boa parte dos artigos, no entanto não há uma descrição dos envolvidos, pontos como a especialidade de cada um para atender de fato a todas as dimensões da questão não são discutidos. Por exemplo, em uma aplicação de priorização de bacias hidrográficas, questiona-se se os especialistas envolvidos atendem todas as dimensões necessárias para resolução dos problemas, uma vez que, devam ser consideradas normas, além de critérios nas esferas, social, econômica e ambiental. Este assunto leva também a reflexão quanto às partes interessadas, pouco abordada nos trabalhos e de caráter importante quando se trata de um processo de tomada de decisão. Sente-se falta da consideração dos *stakeholders* quanto a sua participação no processo de decisão.

Quanto às particularidades dos métodos utilizados, em relação à obtenção dos pesos dos critérios, por exemplo, observou-se que o método AHP foi bastante difundido. Alguns autores acrescentam que sua aplicação tornou-se popular por sua fácil aplicabilidade. No entanto, outros métodos também poderiam ser testados, métodos mais flexíveis, que requeiram menos informações, por exemplo, considerando que a disponibilidade do decisor nem sempre é integral. Em alguns casos, a esses critérios são atribuídos pesos iguais para facilitar a aplicação e resolver essa disfunção, no entanto sabe-se que para uma decisão mais ajustada deve-se considerar a racionalidade do decisor, bem como os *tradeoffs* que contrabalançam cada questão.

O uso das ferramentas GIS e MCDA é muito importante e traz benefícios para as análises do processo decisório. No entanto, apesar dessa sinergia, e das benfeitorias comprovadas do uso agregado dessas ferramentas, percebe-se que essa integração é um pouco limitada, de modo que, em alguns trabalhos inicialmente utiliza-se o ambiente GIS para uma pré-análise e fora desse ambiente, no passo seguinte, faz-se o uso do MCDA e vice-versa. De fato, há aplicabilidade de ambas as

abordagens integradas que resultam em bons resultados, porém facilitaria poder realizar a análise em uma única ferramenta, que realmente incorporasse os dois elementos. No entanto, isso também poderia ser um fator limitante, no sentido de que seria pré-definido, por exemplo, um método multicritério para elicitação dos pesos sem levar em consideração a racionalidade do decisor e outras questões que norteiam a escolha do método para tal avaliação.

Quanto à questão da iteratividade da estrutura cabem alguns comentários, pois é possível voltar algumas etapas, no entanto umas não podem anteceder outras. Nesse sentido, destaca-se que a etapa de modelagem GIS-MCDA não pode ser realizada antes da Análise GIS, isto acontece porque existem procedimentos necessários que antecedem esta fase como padronização dos critérios, por exemplo. Ademais, acontece uma retroalimentação, é possível retornar as etapas, reavaliar, refinar as opções como demonstrado, anteriormente, na figura 6.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A elaboração da sistemática estruturada fundamentou-se na procura por trabalhos em bases consolidadas. Desta forma, a definição das palavras-chave foi um aspecto considerado e discutido, uma vez que foi remetida sua importância como base nos *outputs* dessa busca. Assim, a metodologia desenvolvida descrita a partir das etapas de coleta, filtragem e análise dos documentos foi fundamental para que a estrutura proposta apresentada fosse pautada sob uma visão abrangente do que se tem discutido atualmente.

Foi possível obter uma visão holística sobre o tema, uma vez que, foram analisados trabalhos de diversos contextos. Apesar da multidisciplinariedade, a partir da inserção em diferentes áreas, observa-se que é possível indicar um padrão de estruturação de problemas, no entanto acredita-se que para compreensão da evolução da integração dessas abordagens, seria interessante direcionar o foco em uma área específica e observar as mudanças na maneira como os problemas são organizados.

Assim, existe um contraponto derivado da não execução de foco em uma área específica. Embora seja possível verificar a existência de aplicações em contextos reais não se verificou nas análises questões particulares em como organizar o trabalho conjunto das abordagens GIS e MCDA em temas específicos e apontar suas principais diferenças e semelhanças. Todavia, formalizar um procedimento mais generalista numa área de pesquisa ainda elementar promove a abertura para um maior leque de aplicações em distintos contextos.

No aspecto de integração das ferramentas, percebe-se que apesar da sinergia entre elas é variável a maneira como os problemas são estruturados, no sentido de que, em alguns trabalhos observa-se que é utilizado o MCDA para uma escolha prévia fora do ambiente GIS, e em seguida uma análise de adequação (procedimento da etapa de análise no GIS), em outros trabalhos ocorre o contrário, primeiro é realizada uma análise prévia no GIS, logo após utiliza-se o MCDA para uma escolha final de alternativas. Dentre os trabalhos revisados, (Mota *et al.* 2020) diferentemente faz uma integração dessas ferramentas (GIS-MCDA) ao propor uma análise espacial associada ao modelo MCDA.

Além disso, é notório que existem diferentes ferramentas GIS ao mesmo passo em que existem diferentes modelos multicritério aplicáveis em diferentes situações, comportamento e percepção dos tomadores de decisão. Logo, especificar demais nesse primeiro momento não seria interessante.

Para pesquisas futuras sugere-se que a estrutura seja implementada em uma aplicação real para verificar detalhadamente cada etapa, buscando melhor entendimento. Além disso, como recomendação complementar, pode-se escolher uma área de domínio específica para focar em um estilo de aplicações e assim perceber possíveis diferenças pontuais na estruturação dos problemas e acompanhar a evolução destas. Outrossim, existem outras questões na revisão de literatura que também seria interessante responder, por exemplo, por que os modelos aditivos são mais utilizados? Quais as dificuldades em utilizar um método de sobreclassificação em aplicações desse tipo? Além disso, porque o uso do AHP para obtenção dos pesos dos critérios é tão comum nas aplicações GIS-MCDA? São questões relevantes para aprofundar os conhecimentos sobre tal área, e valem a pena ser mais exploradas.

## REFERÊNCIAS

ABEDI GHESHLAGHI, H.; FEIZIZADEH, B. An integrated approach of analytical network process and fuzzy based spatial decision making systems applied to landslide risk mapping. *Journal of African Earth Sciences*, v. 133, p. 15–24, 2017.

ABDULHASAN, M. J.; HANAFIAH, M. M., SATCHET, M. S.; ABDULAALI, H. S., TORIMAN, M. E.; AL-RAAD, A. A Combining gis, fuzzy logic, and ahp models for solid waste disposal site selection in Nasiriyah, Iraq. *Applied Ecology and Environmental Research*, v. 17, n. 3, p. 6701–6722, 2019.

AGUILAR-RIVERA, N. A framework for the analysis of socioeconomic and geographic sugarcane agro industry sustainability. *Socio-Economic Planning Sciences*, v. 66, p. 149–160, 2019.

AHMAD, S. Z.; AHAMAD, M. S. S.; YUSOFF, M. S.; ABUJAYYAB, S. K. Enhanced Fuzzy-OWA model for municipal solid waste landfill site selection. *AIP Conference Proceedings*, v. 1892, 2017.

AHMADISHARAF, EBRAHIM; KALYANAPU, ALFRED J.; CHUNG, EUN-SUNG. Sustainability-based flood hazard mapping of the Swannanoa River watershed. *Sustainability*, v. 9, n. 10, p. 1735, 2017.

AIRES, J. S. F.; MOTA, C. M. M. ; ROSA, A. G. F. ; FIGUEIREDO, C. . Análise de trabalhos desenvolvidos em MCDA com suporte GIS. In: LII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2020, João Pessoa. Anais do 52º Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional - SBPO 2020, 2020.

AJIBADE, F. O.; OLAJIRE, O. O.; AJIBADE, T. F.; NWOGWU, N. A.; LASISI, K. H., ALO, A. B., ...; ADEWUMI, J. R. Combining multicriteria decision analysis with GIS for suitably siting landfills in a Nigerian state. *Environmental and Sustainability Indicators*, v. 3–4, n. October, p. 100010, 2019.

AJIM ALI, S.; AHMAD, A. Using analytic hierarchy process with GIS for Dengue risk mapping in Kolkata Municipal Corporation, West Bengal, India. *Spatial Information Research*, v. 26, n. 4, p. 449–469, 2018.

AKGÜN, İ.; ERDAL, H. Solving an ammunition distribution network design problem using multi-objective mathematical modeling, combined AHP-TOPSIS, and GIS. *Computers and Industrial Engineering*, v. 129, n. January 2018, p. 512–528, 2019.

AKTER, A.; UDDIN, A. M. H.; WAHID, K. B.; AHMED, S. Predicting groundwater recharge potential zones using geospatial technique. *Sustainable Water Resources Management*, v. 6, n. 2, 2020.

AKYOL, E.; ALKAN, M.; KAYA, A.; TASDELEN, S.; AYDIN, A. Environmental Urbanization Assessment Using GIS and Multicriteria Decision Analysis: A Case Study for Denizli (Turkey) Municipal Area. *Advances in Civil Engineering*, v. 2018, n. April, 2018.

- AL GARNI, H. Z.; AWASTHI, A. Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia. *Applied Energy*, v. 206, n. October, p. 1225–1240, 2017.
- ALI, S., TAWEEKUN, J.; TECHATO, K.; WAEWSAK, J.; GYAWALI, S. GIS based site suitability assessment for wind and solar farms in Songkhla, Thailand. *Renewable Energy*, v. 132, p. 1360–1372, 2019.
- ALI, S. A.; AHMAD, A. Spatial susceptibility analysis of vector-borne diseases in KMC using geospatial technique and MCDM approach. *Modeling Earth Systems and Environment*, v. 5, n. 3, p. 1135–1159, 2019.
- AL-RUZOUQ, R.; HAMAD, K.; DABOUS, S. A.; ZEIADA, W.; KHALIL, M. A.; VOIGT, T. Weighted Multi-attribute Framework to Identify Freeway Incident Hot Spots in a Spatiotemporal Context. *Arabian Journal for Science and Engineering*, v. 44, n. 10, p. 8205–8223, 2019.
- AL-RUZOUQ, R.; SHANABLEH, A.; OMAR, M.; AL-KHAYYAT, G. Macro and micro geo-spatial environment consideration for landfill site selection in Sharjah, United Arab Emirates. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 190, n. 3, p. 1–15, 2018.
- AL-SHABEEB, A. R. The selection of groundwater recharge sites in the arid region of Northern Badia, Jordan, using GIS-based multicriteria decision analysis. *Indonesian Journal on Geoscience*, v. 5, n. 3, p. 199–209, 2018.
- ALY, A.; JENSEN, S. S.; PEDERSEN, A. B. Solar power potential of Tanzania: Identifying CSP and PV hot spots through a GIS multicriteria decision making analysis. *Renewable Energy*, v. 113, p. 159–175, 2017.
- AMINU, M.; MATORI, A. N.; YUSOF, K. W.; MALAKAHMAD, A.; ZAINOL, R. B. Analytic network process (ANP)-based spatial decision support system (SDSS) for sustainable tourism planning in Cameron Highlands, Malaysia. *Arabian Journal of Geosciences*, v. 10, n. 13, 2017.
- ANDRIENKO, G.; ANDRIENKO, N.; JANKOWSKI, P.; KEIM, D.; KRAAK, M. J.; MACEACHREN, A.; WROBEL, S. Geovisual analytics for spatial decision support: Setting the research agenda. *International Journal of Geographical Information Science*, v. 21, n. 8, p. 839–857, 2007.
- ANDUALEM, T. G.; DEMEKE, G. G. Groundwater potential assessment using GIS and remote sensing: A case study of Guna tana landscape, upper blue Nile Basin, Ethiopia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, v. 24, n. April, p. 100610, 2019.
- ANDUALEM, T. G.; HAGOS, Y. G.; KEFALE, A.; ZELALEM, B. Soil erosion-prone area identification using multi-criteria decision analysis in Ethiopian highlands. *Modeling Earth Systems and Environment*, v. 6, n. 3, p. 1407-1418, 2020.

- ANTOGNELLI, S.; VIZZARI, M. Landscape liveability spatial assessment integrating ecosystem and urban services with their perceived importance by stakeholders. *Ecological Indicators*, v. 72, p. 703–725, 2017.
- ANTONIOU, V.; LAPPAS, S.; LEOUSSIS, C.; NOMIKOU, P. Landslide risk assessment of the santorini volcanic group. *GISTAM 2017 - Proceedings of the 3rd International Conference on Geographical Information Systems Theory, Applications and Management*, n. May, p. 131–141, 2017.
- ARABAMERI, A.; CERDA, A.; RODRIGO-COMINO, J.; PRADHAN, B.; SOHRABI, M., BLASCHKE, T.; TIEN BUI, D. Proposing a novel predictive technique for gully erosion susceptibility mapping in arid and semi-arid regions (Iran). *Remote Sensing*, v. 11, n. 21, 2019.
- ARABAMERI, A.; CERDA, A.; TIEFENBACHER, J. P. Spatial pattern analysis and prediction of gully erosion using novel hybrid model of entropy-weight of evidence. *Water*, v. 11, n. 6, 2019.
- ARABAMERI, A.; LEE, S.; TIEFENBACHER, J. P.; NGO, P. T. T. Novel ensemble of MCDM-artificial intelligence techniques for groundwater-potential mapping in arid and semi-arid regions (Iran). *Remote Sensing*, v. 12, n. 3, p. 1–28, 2020.
- ARABAMERI, A.; PRADHAN, B.; POURGHASEMI, H. R.; REZAEI, K. Identification of erosion-prone areas using different multi-criteria decision-making techniques and gis. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, v. 9, n. 1, p. 1129–1155, 2018.
- ARCA, D.; KUTOĞLU, H.; BECEK, K. Landslide susceptibility mapping in an area of underground mining using the multicriteria decision analysis method. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 190, n. 12, 2018.
- ASADI, Y.; SAMANY, N. N.; EZIMAND, K. Seismic vulnerability assessment of urban buildings and traffic networks using fuzzy ordered weighted average. *Journal of Mountain Science*, v. 16, n. 3, p. 677–688, 2019.
- ASAKEREH, A.; SOLEYMANI, M.; SHEIKHDAVOODI, M. J. A GIS-based Fuzzy-AHP method for the evaluation of solar farms locations: Case study in Khuzestan province, Iran. *Solar Energy*, v. 155, p. 342–353, 2017.
- ASGARIAN, A.; SOFFIANIAN, A.; POURMANAFI, S.; BAGHERI, M. Evaluating the spatial effectiveness of alternative urban growth scenarios in protecting cropland resources: A case of mixed agricultural-urbanized landscape in central Iran. *Sustainable cities and society*, v. 43, p. 197-207, 2018.
- AŞILIOĞLU, F.; MEMLÜK, Y. D. Determining and Mapping Eco-Cultural Subregions Using GIS and Simos Procedure. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, v. 45, n. 3, p. 553–567, 2017.
- ASSEFA, T.; JHA, M.; REYES, M.; SRINIVASAN, R.; WORQLUL, A. W. Assessment of suitable areas for home gardens for irrigation potential, water availability, and

water-lifting technologies. *Water*, v. 10, n. 4, p. 1–21, 2018.

ASSEFA, T.; JHA, M.; WORQLUL, A. W.; REYES, M.; TILAHUN, S. Scaling-up conservation agriculture production system with drip irrigation by integrating MCE technique and the APEX model. *Water*, v. 11, n. 10, 2019.

AYDIN, F.; SARPTAS, H. Spatial assessment of site suitability for solar desalination plants: a case study of the coastal regions of Turkey. *Clean Technologies and Environmental Policy*, v. 22, n. 2, p. 309–323, 2020.

AYHAN, Ç. K.; TAŞLI, T. C.; ÖZKÖK, F.; TATLI, H. Land use suitability analysis of rural tourism activities: Yenice, Turkey. *Tourism Management*, v. 76, p. 103949, 2020.

AYU PURNAMASARI, R.; NOGUCHI, R.; AHAMED, T. Land suitability assessments for yield prediction of cassava using geospatial fuzzy expert systems and remote sensing. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 166, n. October 2018, p. 105018, 2019.

BAC-BRONOWICZ, J.; GRZEMPOWSKI, P. Regionalization of geographical space according to selected topographic factors in reference to spatial distribution of precipitation: application of artificial neural networks in GIS. *Environmental Earth Sciences*, v. 77, n. 18, p. 1–17, 2018.

BACHMANN, D.; BÖKLER, F.; KOPEC, J.; POPP, K.; SCHWARZE, B.; WEICHERT, F. Multi-objective optimisation based planning of power-line grid expansions. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, v. 7, n. 7, 2018.

BACHOUICHE, S.; HOUMA, F.; GOMIERO, A.; RABAH, B. Distribution and Environmental Risk Assessment of Heavy Metal in Surface Sediments and Red Mullet (*Mullus barbatus*) from Algiers and Boulsmail Bay (Algeria). *Environmental Modeling and Assessment*, v. 22, n. 5, p. 473–490, 2017.

BAEK, J.; CHOI, Y. A new algorithm to find raster-based least-cost paths using cut and fill operations. *International Journal of Geographical Information Science*, v. 31, n. 11, p. 2234–2254, 2017.

BAGLIVI, A.; FIORESE, G.; GUARISO, G.; UGGÈ, C. Valuing crop diversity in biodiesel production plans. *Energy*, v. 93, p. 2351–2362, 2015.

BALOGUN, A. L.; MATORI, A. N.; HAMID-MOSAKU, A. I.; UMAR LAWAL, D.; AHMED CHANDIO, I. Fuzzy MCDM-based GIS model for subsea oil pipeline route optimization: An integrated approach. *Marine Georesources & Geotechnology*, v. 35, n. 7, p. 961-969, 2017.

BANDI, A. S.; MESHAPAM, S.; DEVA, P. A geospatial approach to flash flood hazard mapping in the city of Warangal, Telangana, India. *Environmental and Socio-Economic Studies*, v. 7, n. 3, p. 1–13, 2019.

- BARKER, J. L. P.; MACLEOD, CHRISTOPHER JA. Development of a national-scale real-time Twitter data mining pipeline for social geodata on the potential impacts of flooding on communities. *Environmental modelling & software*, v. 115, p. 213-227, 2019.
- BARTONĚK, D; DERMEKOVÁ, S.; ŠKURLA, J. Comparison with the Reference Value on the Example of GIS-Based Applications. In: *Proceedings of GIS Ostrava*. Springer, Cham, 2017. p. 1-15.
- BASKURT, Z. M.; AYDIN, C. C. Nuclear power plant site selection by Weighted Linear Combination in GIS environment, Edirne, Turkey. *Progress in Nuclear Energy*, v. 104, p. 85–101, 2018.
- BESKESE, A.; DEMIR, H. H.; OZCAN, H. K.; OKTEN, H. E. Landfill site selection using fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS: a case study for Istanbul. *Environmental Earth Sciences*, v. 73, n. 7, p. 3513–3521, 2015.
- BEZDAN, A.; BLAGOJEVIC, B.; VRANESEVIC, M.; BENKA, P.; SAVIC, R.; BEZDAN, J. Defining spatial priorities for irrigation development using the soil conservation and water use efficiency criteria. *Agronomy*, v. 9, n. 6, 2019.
- BINA, S. M.; JALILINASRABADY, S.; FUJII, H.; FARABI-ASL, H. A comprehensive approach for wind power plant potential assessment, application to northwestern Iran. *Energy*, v. 164, p. 344–358, 2018.
- BOGGIA, A.; MASSEI, G.; PACE, E.; ROCCHI, L.; PAOLOTTI, L.; ATTARD, M. Spatial multicriteria analysis for sustainability assessment: A new model for decision making. *Land Use Policy*, v. 71, n. November 2017, p. 281–292, 2018.
- BOGGIA, A.; MASSEI, G.; PACE, E.; ROCCHI, L.; PAOLOTTI, L.; ATTARD, M. Making space for shellfish farming along the adriatic coast. *ICES Journal of Marine Science*, v. 74, n. 6, p. 1540–1551, 2017.
- BORHANI, M. A Multicriteria Optimization for Flight Route Networks in Large-Scale Airlines Using Intelligent Spatial Information. *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, v. 6, n. 1, p. 123, 2020.
- BOROUSHAKI, S; MALCZEWSKI, J. Implementing an extension of the analytical hierarchy process using ordered weighted averaging operators with fuzzy quantifiers in ArcGIS. *Computers & Geosciences*, v. 34, n. 4, p. 399-410, 2008.
- BOUKRENTACH, H.; BENALI, A.; DEKKICHE, H. Combining GIS and fuzzy multi-criteria decision-making for water catchment drilling site selection. *Arabian Journal of Geosciences*, v. 10, n. 24, 2017.
- BOULAD, N.; HAMIDAN, N. The use of a GIS-based multi-criteria evaluation technique for the development of a zoning plan for a seasonally variable Ramsar wetland site in Syria: Sabkhat Al-Jabboul. *Wetlands Ecology and Management*, v. 26, n. 3, p. 253–264, 2018.

BUGDAY, E. Application of artificial neural network system based on ANFIS using gis for predicting forest road network suitability mapping. *Fresenius Environmental Bulletin*, v. 27, n. 3, p. 1656–1668, 2018.

BUGDAY, E.; AKAY, A. E. Evaluation of forest road network planning in landslide sensitive areas by GIS-based multi-criteria decision making approaches in Ihsangazi Watershed, Northern Turkey. *Sumarski List*, v. 143, n. 7–8, p. 325–336, 2019.

CAHA, JAN; BURIAN, JAROSLAV. Comparison of fuzzy AHP algorithms for land suitability assessment. In: *Proceedings of GIS Ostrava*. Springer, Cham, 2017. p. 31-46.

CAJOT, S.; MIRAKYAN, A.; KOCH, A.; MARÉCHAL, F. Multicriteria decisions in urban energy system planning: A review. *Frontiers in Energy Research*, v. 5, n. MAY, 2017.

ÇALIŞKAN, E. Planning of environmentally sound forest road route using GIS & S-MCDM. *Şumarski list*, v. 141, n. 11-12, p. 583-591, 2017.

ÇALIŞKAN, E.; BEDIROĞLU; YILDIRIM, V. Determination forest road routes via gis-based spatial multi-criterion decision methods. *Applied Ecology and Environmental Research*, v. 17, n. 1, p. 759–779, 2019.

CAMBAZOĞLU, S.; YAL, G. P.; EKER, A. M.; ŞEN, O.; AKGÜN, H. Geothermal resource assessment of the Gediz Graben utilizing TOPSIS methodology. *Geothermics*, v. 80, n. January, p. 92–102, 2019.

ÇELİK, R. Evaluation of groundwater potential by GIS-based multicriteria decision making as a spatial prediction tool: Case study in the Tigris River Batman-Hasankeyf Sub-Basin, Turkey. *Water*, v. 11, n. 12, 2019.

CERRETA, M.; MELE, R.; POLI, G. Urban Vulnerability Assessment: Towards a Cross-Scale Spatial Multi-criteria Approach. In: *International Conference on Computational Science and Its Applications*. Springer, Cham, 2018. p. 502-517.

CERVELLI, E.; PINDOZZI, S.; SACCHI, M.; CAPOLUPO, A.; CIALDEA, D.; RIGILLO, M.; BOCCIA, L. Supporting land use change assessment through Ecosystem Services and Wildlife Indexes. *Land Use Policy*, v. 65, n. March, p. 249–265, 2017.

ÇETINKAYA, C.; ÖZCEYLAN, E.; ERBAŞ, M.; KABAK, M. GIS-based fuzzy MCDA approach for siting refugee camp: A case study for southeastern Turkey. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, v. 18, p. 218–231, 2016.

CHABUK, A. J.; AL-ANSARI, N.; HUSSAIN, H. M.; KNUTSSON, S.; PUSCH, R. GIS-based assessment of combined AHP and SAW methods for selecting suitable sites for landfill in Al-Musayyab Qadhaa, Babylon, Iraq. *Environmental Earth Sciences*, v. 76, n. 5, p. 1–12, 2017.

CHACÓN-GARCÍA, J. Geomarketing techniques to locate retail companies in regulated markets. *Australasian Marketing Journal*, v. 25, n. 3, p. 185–193, 2017.

CHAKRABORTTY, R.; PAL, S. C.; MALIK, S.; DAS, B. Modeling and mapping of groundwater potentiality zones using AHP and GIS technique: a case study of Raniganj Block, Paschim Bardhaman, West Bengal. *Modeling Earth Systems and Environment*, v. 4, n. 3, p. 1085–1110, 2018.

CHEN, W.; PANAHI, M.; POURGHASEMI, H. R. Performance evaluation of GIS-based new ensemble data mining techniques of adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) with genetic algorithm (GA), differential evolution (DE), and particle swarm optimization (PSO) for landslide spatial modelling. *Catena*, v. 157, n. September 2016, p. 310–324, 2017.

CHENG, J. C. P.; CHEN, K.; CHEN, W. State-of-the-Art Review on Mixed Reality Applications in the AECO Industry. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 146, n. 2, p. 1–12, 2020.

CHIVASA, W.; MUTANGA, O.; BIRADAR, C. Mapping land suitability for maize (*Zea mays* L.) production using GIS and AHP technique in Zimbabwe. *South African Journal of Geomatics*, v. 8, n. 2, 2019.

CIEŚLAK, I. Identification of areas exposed to land use conflict with the use of multiple-criteria decision-making methods. *Land Use Policy*, v. 89, n. March, p. 104225, 2019.

CRIMI, A.; JONES, T.; SGALAMBRO, A. Designing a web spatial decision support system based on analytic network process to locate a freight lorry parking. *Sustainability*, v. 11, n. 20, 2019.

CUI, K.; LU, D.; LI, W. Comparison of landslide susceptibility mapping based on statistical index, certainty factors, weights of evidence and evidential belief function models. *Geocarto International*, v. 32, n. 9, p. 935–955, 2017.

DAHRI, N.; ABIDA, H. Monte Carlo simulation-aided analytical hierarchy process (AHP) for flood susceptibility mapping in Gabes Basin (southeastern Tunisia). *Environmental Earth Sciences*, v. 76, n. 7, p. 1–14, 2017.

DAI, J.; XIE, Y.; XU, J.; LV, C. Environmentally friendly equilibrium strategy for coal distribution center site selection. *Journal of Cleaner Production*, v. 246, n. xxxx, p. 119017, 2020.

DAMOOM, M. M.; HASHIM, S.; ALJOHANI, M. S.; SALEH, M. A.; XOUBI, N. Potential areas for nuclear power plants siting in Saudi Arabia: GIS-based multi-criteria decision making analysis. *Progress in Nuclear Energy*, v. 110, n. September 2018, p. 110–120, 2019.

DANESH, G.; MONAVARI, S. M.; OMRANI, G. A.; KARBASI, A.; FARSAD, F.

- Compilation of a model for hazardous waste disposal site selection using GIS-based multi-purpose decision-making models. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 191, n. 2, 2019.
- DAS, S.; PARDESHI, S. D. Integration of different influencing factors in GIS to delineate groundwater potential areas using IF and FR techniques: a study of Pravara basin, Maharashtra, India. *Applied Water Science*, v. 8, n. 7, p. 1–16, 2018.
- DE ALMEIDA, A. T. *Processo de Decisão nas Organizações : Construindo Modelos de Decisão Multicritério*. São Paulo: Editora Atlas, 2013.
- DE BRITO, M. M.; ALMORADIE, A.; EVERS, M. Spatially-explicit sensitivity and uncertainty analysis in a MCDA-based flood vulnerability model. *International Journal of Geographical Information Science*, v. 33, n. 9, p. 1788–1806, 2019.
- DEDEOĞLU, M. Generation of land quality index for agricultural usage at gÜvenÇ basin, Turkey. *Applied Ecology and Environmental Research*, v. 18, n. 1, p. 1829–1845, 2020.
- DEDEOĞLU, M.; DENGİZ, O. Generating of land suitability index for wheat with hybrid system approach using AHP and GIS. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 167, n. October, p. 105062, 2019.
- DEĞİRMENCI, S.; BİNGÖL, F.; SOFUOĞLU, S. C. MCDM analysis of wind energy in Turkey: decision making based on environmental impact. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 25, n. 20, p. 19753–19766, 2018.
- DE LIMA, L. M. M.; DE SÁ, L. R.; DOS SANTOS MACAMBIRA, A. F. U.; DE ALMEIDA NOGUEIRA, J.; DE TOLEDO VIANNA, R. P.; DE MORAES, R. M. A new combination rule for Spatial Decision Support Systems for epidemiology. *International Journal of Health Geographics*, v. 18, n. 1, p. 1–10, 2019.
- DELL'OVO, M.; CAPOLONGO, S.; OPPIO, A. Combining spatial analysis with MCDA for the siting of healthcare facilities. *Land Use Policy*, v. 76, n. February, p. 634–644, 2018.
- DEMESOUKA, O. E.; ANAGNOSTOPOULOS, K. P.; SISKOS, E. Spatial multicriteria decision support for robust land-use suitability: The case of landfill site selection in Northeastern Greece. *European Journal of Operational Research*, v. 272, n. 2, p. 574–586, 2019.
- DEMİR, G. Landslide susceptibility mapping by using statistical analysis in the North Anatolian Fault Zone (NAFZ) on the northern part of Suşehri Town, Turkey. *Natural Hazards*, v. 92, n. 1, p. 133–154, 2018.
- DENG, J.; CHE, T.; XIAO, C.; WANG, S.; DAI, L.; MEERZHAN, A. Suitability analysis of ski areas in China: An integrated study based on natural and socioeconomic conditions. *Cryosphere*, v. 13, n. 8, p. 2149–2167, 2019.

- DEY, J.; SAKHRE, S.; GUPTA, V.; VIJAY, R.; PATHAK, S.; BINIWALE, R.; KUMAR, R. Geospatial assessment of tourism impact on land environment of Dehradun, Uttarakhand, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 190, n. 4, 2018.
- DHIMAN, R.; KALBAR, P.; INAMDAR, A. B. GIS coupled multiple criteria decision making approach for classifying urban coastal areas in India. *Habitat International*, v. 71, n. December 2017, p. 125–134, 2018.
- DHIMAN, R.; KALBAR, P.; INAMDAR, A. B. Spatial planning of coastal urban areas in India: Current practice versus quantitative approach. *Ocean and Coastal Management*, v. 182, n. May, p. 104929, 2019.
- DÍAZ-CUEVAS, P. GIS-based methodology for evaluating the wind-energy potential of territories: A case study from Andalusia (Spain). *Energies*, v. 11, n. 10, 2018.
- DÍAZ-CUEVAS, P.; DOMÍNGUEZ-BRAVO, J.; PRIETO-CAMPOS, A. Integrating MCDM and GIS for renewable energy spatial models: assessing the individual and combined potential for wind, solar and biomass energy in Southern Spain. *Clean Technologies and Environmental Policy*, v. 21, n. 9, p. 1855–1869, 2019.
- DÍAZ, I.; MELLO, A. L.; SALHI, M.; SPINETTI, M.; BESSONART, M.; ACHKAR, M. Multiscalar land suitability assessment for aquaculture production in Uruguay. *Aquaculture Research*, v. 48, n. 6, p. 3052–3065, 2017.
- DOLJAK, D.; STANOJEVIĆ, G. Evaluation of natural conditions for site selection of ground-mounted photovoltaic power plants in Serbia. *Energy*, v. 127, p. 291–300, 2017.
- DOMAZETOVIĆ, F.; ŠILJEG, A.; LONČAR, N.; MARIĆ, I. Development of automated multicriteria GIS analysis of gully erosion susceptibility. *Applied Geography*, v. 112, n. May, 2019.
- DOS SANTOS, A. R.; PATERLINI, E. M.; FIEDLER, N. C.; RIBEIRO, C. A. A. S.; LORENZON, A. S.; DOMINGUES, G. F.; ... BRANCO, E. R. F. Fuzzy logic applied to prospecting for areas for installation of wood panel industries. *Journal of Environmental Management*, v. 193, p. 345–359, 2017.
- DOORGA, S. J. R.; RUGHOPUTH, S. D. D. V.; BOOJHAWON, R. High resolution spatio-temporal modelling of solar photovoltaic potential for tropical islands: Case of Mauritius. *Energy*, v. 169, p. 972–987, 2019.
- DUCCI, D.; ALBANESE, S.; BOCCIA, L.; CELENTANO, E.; CERVELLI, E.; CORNIELLO, A.; ... ; LIMA, A. An integrated approach for the environmental characterization of a wide potentially contaminated area in southern Italy. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 14, n. 7, 2017.
- D'URSO, M. G.; MASI, D.; ZUCCARO, G.; DE GREGORIO, D. Multicriteria Fuzzy Analysis for a GIS-Based Management of Earthquake Scenarios. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, v. 33, n. 2, p. 165–179, 2018.

EASTMAN, J. RONALD. IDRISI Kilimanjaro: guide to GIS and image processing. 2003 Clark Labs, Clark University, Worcester, MA, pág. 305.

EL KARIM, A. A.; AWAWDEH, M. M. Integrating GIS accessibility and location-allocation models with multicriteria decision analysis for evaluating quality of life in Buraidah city, KSA. *Sustainability (Switzerland)*, v. 12, n. 4, 2020.

ELHAG, M.; AL-GHAMDI, A.; BAHRAWI, J.; HEGAZY, A. Olive mill waste water risk assessment based on GIS techniques in Crete, Greece. *Global Nest Journal*, v. 19, n. 1, p. 82–93, 2017a.

ELHAG, M.; BAHRAWI, J. A.; GALAL, H. K.; ALDHEBIANI, A.; AL-GHAMDI, A. A. Stream network pollution by olive oil wastewater risk assessment in Crete, Greece. *Environmental Earth Sciences*, v. 76, n. 7, p. 1–12, 2017b.

ELHAG, M.; BAHRAWI, J. A. Spatial assessment of landfill sites based on remote sensing and GIS techniques in Tagarades, Greece. *Desalination and Water Treatment*, v. 91, n. March, p. 395–401, 2017.

ELLISON, J. C.; MOSLEY, A.; HELMAN, M. Assessing atoll shoreline condition to guide community management. *Ecological Indicators*, v. 75, p. 321–330, 2017.

ELMAHMOUDI, F.; ABRA, O. E.; RAIHANI, A.; SERRAR, O.; BAHATTI, L. GIS based fuzzy analytic hierarchy process for wind energy sites selection. *Proceedings - 2019 International Conference on Advanced Communication Technologies and Networking, (CommNet)*, n. Mcdm, p. 1–8, 2019.

ELSAMEN, A. A. A.; HIYASAT, R. I. Beyond the random location of shopping malls: A GIS perspective in Amman, Jordan. *Journal of Retailing and Consumer Services*, v. 34, p. 30-37, 2017.

ERDIN, C.; AKBAŞ, H. E. A comparative analysis of fuzzy TOPSIS and geographic information systems (GIS) for the location selection of shopping malls: A case study from Turkey. *Sustainability*, v. 11, n. 14, p. 1–22, 2019.

ERFANI, S. M. H.; DANESH, S.; KARRABI, S. M.; GHEIBI, M.; NEMATI, S. Statistical analysis of effective variables on the performance of waste storage service using geographical information system and response surface methodology. *Journal of Environmental Management*, v. 235, n. September 2018, p. 453–462, 2019.

FANG, H.; LI, J.; SONG, W. Sustainable site selection for photovoltaic power plant: An integrated approach based on prospect theory. *Energy Conversion and Management*, v. 174, n. August, p. 755–768, 2018.

FARHADIAN, M.; BOZORG-HADDAD, O.; PAZOKI, M.; LOÁICIGA, H. A. Locating and prioritizing suitable places for the implementation of artificial groundwater recharge plans. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v. 143, n. 8, p. 1–11, 2017.

- FARAHBAKHS, A.; FORGHANI, M. A. Sustainable location and route planning with GIS for waste sorting centers, case study: Kerman, Iran. *Waste Management and Research*, v. 37, n. 3, p. 287–300, 2019.
- FAROOQ, A.; XIE, M.; STOILOVA, S.; AHMAD, F. Multicriteria Evaluation of Transport Plan for High-Speed Rail: An Application to Beijing-Xiongan. *Mathematical Problems in Engineering*, v. 2019, 2019.
- FEIZIZADEH, B.; KIENBERGER, S. Spatially explicit sensitivity and uncertainty analysis for multicriteria-based vulnerability assessment. *Journal of Environmental Planning and Management*, v. 60, n. 11, p. 2013–2035, 2017.
- FELONI, E. G.; KARPOUZOS, D. K.; BALTAS, E. A. Optimal Hydrometeorological Station Network Design Using GIS Techniques and Multicriteria Decision Analysis. *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*, v. 22, n. 3, p. 04018007, 2018.
- FENG, Y.; QI, Y. Modeling patterns of land use in Chinese cities using an integrated cellular automata model. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, v. 7, n. 10, 2018.
- FERDOWSI, A.; MEHRANI, M. J.; FERDOSI, M. Municipal solid waste management in Gachsaran county, Iran – landfill site selection. *Proceedings of Institution of Civil Engineers: Waste and Resource Management*, v. 171, n. 3, p. 82–88, 2018.
- FEYZI, S.; KHANMOHAMMADI, M.; ABEDINZADEH, N.; AALIPOUR, M. Multi-criteria decision analysis FANP based on GIS for siting municipal solid waste incineration power plant in the north of Iran. *Sustainable Cities and Society*, v. 47, n. March, p. 101513, 2019.
- FIGUEIREDO, C. J. J. DE; MOTA, C. M. D. M. A classification model to evaluate the security level in a city based on GIS-MCDA. *Mathematical Problems in Engineering*, v. 2016, 2016.
- FIGUEIREDO, Ciro; MOTA, Caroline. Learning Preferences in a Spatial Multiple Criteria Decision Approach: An Application in Public Security Planning. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, v. 18, n. 04, p. 1403-1432, 2019.
- FIROZJAEI, M. K.; NEMATOLLAHI, O.; MIJANI, N.; SHORABEH, S. N.; FIROZJAEI, H. K.; TOOMANIAN, A. An integrated GIS-based Ordered Weighted Averaging analysis for solar energy evaluation in Iran: Current conditions and future planning. *Renewable Energy*, v. 136, p. 1130–1146, 2019.
- FIROZJAEI, M. K.; NEMATOLLAHI, O.; MIJANI, N.; SHORABEH, S. N.; FIROZJAEI, H. K.; TOOMANIAN, A. Theoretical and technical potential evaluation of solar power generation in Iran. *Renewable Energy*, v. 138, p. 1250–1261, 2019.
- FUENTES, I.; VERVOORT, R. W. Site suitability and water availability for a managed

aquifer recharge project in the Namoi basin, Australia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, v. 27, n. December 2019, p. 100657, 2020.

GALLEGO, A.; CALAFAT, C.; SEGURA, M.; QUINTANILLA, I. Land planning and risk assessment for livestock production based on an outranking approach and GIS. *Land Use Policy*, v. 83, n. January 2018, p. 606–621, 2019.

GHAJARI, Y. E.; ALESHEIKH, A. A.; MODIRI, M.; HOSNAVI, R.; ABBASI, M.; SHARIFI, A. Urban vulnerability under various blast loading scenarios: Analysis using GIS-based multi-criteria decision analysis techniques. *Cities*, v. 72, n. August 2017, p. 102–114, 2018.

GHASEMI, R.; TOKHMECHI, B.; BORG, G. A new linguistic quantifier knowledge-guided OWA approach for mineral prospectivity mapping: a case study of the Bavanat Region, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, v. 11, n. 19, p. 588, 2018.

GHAVAMI, S. M. Multi-criteria spatial decision support system for identifying strategic roads in disaster situations. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, v. 24, p. 23–36, 2019.

GHEZELBASH, R.; MAGHSOUDI, A.; CARRANZA, E. J. M. An Improved Data-Driven Multiple Criteria Decision-Making Procedure for Spatial Modeling of Mineral Prospectivity: Adaption of Prediction–Area Plot and Logistic Functions. *Natural Resources Research*, v. 28, n. 4, p. 1299–1316, 2019.

GHORBANZADEH, O.; ROSTAMZADEH, H.; BLASCHKE, T.; GHOLAMINIA, K.; ARYAL, J. A new GIS-based data mining technique using an adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) and k-fold cross-validation approach for land subsidence susceptibility mapping. *Natural Hazards*, v. 94, n. 2, p. 497–517, 2018.

GHORBANZADEH, O.; FEIZIZADEH, B.; BLASCHKE, T. An interval matrix method used to optimize the decision matrix in AHP technique for land subsidence susceptibility mapping. *Environmental Earth Sciences*, v. 77, n. 16, p. 0, 2018.

GHORBANI, N.; MAKIAN, H.; BREYER, C. A GIS-based method to identify potential sites for pumped hydro energy storage - Case of Iran. *Energy*, v. 169, p. 854–867, 2019.

GIGOVIĆ, L.; DROBNJAK, S.; PAMUČAR, D. GIS-Fuzzy DEMATEL MCDA model for the evaluation of the sites for ecotourism development: A case study of “Dunavski ključ” region, Serbia. *Land Use Policy*, v. 58, p. 349–365, 2016.

GIGOVIĆ, L.; PAMUČAR, D.; BAJIĆ, Z.; DROBNJAK, S. Application of GIS-interval rough AHP methodology for flood hazard mapping in Urban areas. *Water*, v. 9, n. 6, 2017.

GIGOVIĆ, L.; DROBNJAK, S.; PAMUČAR, D. The application of the hybrid GIS spatial multi-criteria decision analysis best–worst methodology for landslide susceptibility mapping. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, v. 8, n. 2, p.

1–29, 2019.

GOLEIJI, E.; HOSSEINI, S. M.; KHORASANI, N.; MONAVARI, S. M. Forest fire risk assessment-an integrated approach based on multicriteria evaluation. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 189, n. 12, 2017.

GOVINDAN, K.; JEPSEN, M. B. ELECTRE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European Journal of Operational Research*, v. 250, n. 1, p. 1–29, 2016.

GRAFF, K.; LISSAK, C.; THIERY, Y.; MAQUAIRE, O.; COSTA, S.; LAIGNEL, B. Analysis and quantification of potential consequences in multirisk coastal context at different spatial scales (Normandy, France). *Natural Hazards*, v. 99, n. 2, p. 637–664, 2019.

GRIMALDI, M.; PELLECCIA, V.; FASOLINO, I. Urban plan and water infrastructures planning: A methodology based on spatial ANP. *Sustainability*, v. 9, n. 5, 2017.

GUARINI, M. R.; CHIOVITTI, A.; ROCCA, F. Multicriteria Spatial Decision Analysis for the Development of the Italian Minor Airport System. *Journal of Advanced Transportation*, v. 2018, n. September 2017, 2018.

GUERRA, M.; ABEBE, Y. Pairwise Elicitation for a Decision Support Framework to Develop a Flood Risk Response Plan. *ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part B: Mechanical Engineering*, v. 5, n. 1, p. 1–7, 2019.

GÜLER, D.; YOMRALIOĞLU, T. Alternative suitable landfill site selection using analytic hierarchy process and geographic information systems: a case study in Istanbul. *Environmental Earth Sciences*, v. 76, n. 20, 2017.

GÜNGÖROĞLU, C. Determination of forest fire risk with fuzzy analytic hierarchy process and its mapping with the application of GIS: The case of Turkey/Çakırlar. *Human and Ecological Risk Assessment*, v. 23, n. 2, p. 388–406, 2017.

GURU, B.; SESHAN, K.; BERA, S. Frequency ratio model for groundwater potential mapping and its sustainable management in cold desert, India. *Journal of King Saud University - Science*, v. 29, n. 3, p. 333–347, 2017.

Haidara, I.; Tahri, M.; Maanan, M.; Hakdaoui, M. Efficiency of Fuzzy Analytic Hierarchy Process to detect soil erosion vulnerability. *Geoderma*, v. 354, n. September 2018, p. 113853, 2019.

HALLAK, J.; KOYUNCU, M.; MIÇ, P. Determining shelter locations in conflict areas by multiobjective modeling: A case study in northern Syria. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, v. 38, n. September 2018, 2019.

HARIZ, H. A.; DÖNMEZ, C. Ç.; SENNAROĞLU, B. Siting of a central healthcare waste incinerator using GIS-based Multi-Criteria Decision Analysis. *Journal of*

*Cleaner Production*, v. 166, p. 1031–1042, 2017.

HARPER, M.; ANDERSON, B.; JAMES, P.; BAHAJ, A. Assessing socially acceptable locations for onshore wind energy using a GIS-MCDA approach. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, v. 14, n. 2, p. 160–169, 2019.

HAZARIKA, N.; BARMAN, D.; DAS, A. K.; SARMA, A. K.; BORAH, S. B. Assessing and mapping flood hazard, vulnerability and risk in the Upper Brahmaputra River valley using stakeholders' knowledge and multicriteria evaluation (MCE). *Journal of Flood Risk Management*, v. 11, p. S700–S716, 2018.

HE, L.; SHEN, J.; ZHANG, Y. Ecological vulnerability assessment for ecological conservation and environmental management. *Journal of Environmental Management*, v. 206, p. 1115–1125, 2018.

HE, Y. B.; ZHOU, Y. F.; CAI, W. M.; WANG, Z. Z.; DUAN, D. D.; LUO, S. J.; CHEN, J. Z. Using a process-oriented methodology to precisely evaluate temperature suitability for potato growth in China using GIS. *Journal of Integrative Agriculture*, v. 16, n. 7, p. 1520–1529, 2017.

HEMBRAM, T. K.; SAHA, S. Prioritization of sub-watersheds for soil erosion based on morphometric attributes using fuzzy AHP and compound factor in Jainti River basin, Jharkhand, Eastern India. *Environment, Development and Sustainability*, v. 22, n. 2, p. 1241–1268, 2020.

HERZBERG, R.; PHAM, T. G.; KAPPAS, M.; WYSS, D.; TRAN, C. T. M. Multi-criteria decision analysis for the land evaluation of potential agricultural land use types in a hilly area of Central Vietnam. *Land*, v. 8, n. 6, 2019.

HOANG, H. T.; TRUONG, Q. H.; NGUYEN, A. T.; HENS, L. Multicriteria evaluation of tourism potential in the Central Highlands of Vietnam: Combining Geographic Information System (GIS), Analytic Hierarchy Process (AHP) and Principal Component Analysis (PCA). *Sustainability*, v. 10, n. 9, 2018.

HUANG, H.; LI, Q.; ZHANG, Y. Urban residential land suitability analysis combining remote sensing and social sensing data: A case study in Beijing, China. *Sustainability*, v. 11, n. 8, 2019.

HU, X.; CHONG, H. Y.; WANG, X.; LONDON, K. Understanding Stakeholders in Off-Site Manufacturing: A Literature Review. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 145, n. 8, p. 1–15, 2019.

INAMDAR, P. M.; SHARMA, A. K.; COOK, S.; PERERA, B. J. C. Evaluation of stormwater harvesting sites using multi criteria decision methodology. *Journal of Hydrology*, v. 562, p. 181–192, 2018.

IRANKHAHI, M.; JOZI, S. A.; FARSHCHI, P.; SHARIAT, S. M.; LIAGHATI, H. Combination of GISFM and TOPSIS to evaluation of Urban Environment Carrying Capacity (Case study: Shemiran City, Iran). *International Journal of Environmental*

*Science and Technology*, v. 14, n. 6, p. 1317–1332, 2017.

IRINA, L. T.; JAVIER, B. P.; TERESA, C. B. M.; EURÍDICE, L. A.; DEL CARMEN, C. I. L. M. Integrating ecological and socioeconomic criteria in a GIS-based multicriteria-multiobjective analysis to develop sustainable harvesting strategies for Mexican oregano *Lippia graveolens* Kunth, a non-timber forest product. *Land Use Policy*, v. 81, n. November 2018, p. 668–679, 2019.

JAIN, P.; RAMSANKARAN, R. A. A. J. GIS-based integrated multi-criteria modelling framework for watershed prioritisation in India—A demonstration in Marol watershed. *Journal of Hydrology*, v. 578, n. July, p. 124131, 2019.

JAISLI, I.; LAUBE, P.; TRACHSEL, S.; OCHSNER, P.; SCHUHMACHER, S. Suitability evaluation system for the production and sourcing of agricultural commodities. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 161, n. November 2017, p. 170–184, 2019.

JAMALI, A. A.; RANDHIR, T. O.; NOSRATI, J. Site Suitability Analysis for Subsurface Dams Using Boolean and Fuzzy Logic in Arid Watersheds. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 144, n. 8, p. 04018047, 2018.

JAMSHIDI-ZANJANI, A.; REZAEI, M. Landfill site selection using combination of fuzzy logic and multi-attribute decision-making approach. *Environmental Earth Sciences*, v. 76, n. 13, 2017.

JAYARATHNA, L.; RAJAPAKSA, D.; MANAGI, S.; ATHUKORALA, W.; TORGLER, B.; GARCIA-VALIÑAS, M. A.; ...; WILSON, C. A GIS based spatial decision support system for analysing residential water demand: A case study in Australia. *Sustainable Cities and Society*, v. 32, p. 67-77, 2017.

JAZIRI, W. Using GIS and multicriteria decision aid to optimize the direction of trees cutting in the forest ecosystem: A case study. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 143, n. October, p. 177–184, 2017.

JELOKHANI-NIARAKI, M.; MALCZEWSKI, J. Decision complexity and consensus in Web-based spatial decision making: A case study of site selection problem using GIS and multicriteria analysis. *Cities*, v. 45, p. 60–70, 2015.

JELOKHANI-NIARAKI, M.; HAJILOO, F.; SAMANY, N. N. A Web-based Public Participation GIS for assessing the age-friendliness of cities: A case study in Tehran, Iran. *Cities*, v. 95, n. August, p. 102471, 2019.

JEONG, J. S. Biomass feedstock and climate change in agroforestry systems: Participatory location and integration scenario analysis of biomass power facilities. *Energies*, v. 11, n. 6, 2018.

JEONG, J. S.; GONZÁLEZ-GÓMEZ, D. A web-based tool framing a collective method for optimizing the location of a renewable energy facility and its possible application to sustainable STEM education. *Journal of Cleaner Production*, v. 251,

2020.

JEONG, J. S.; RAMÍREZ-GÓMEZ, Á. A multicriteria GIS-based assessment to optimize biomass facility sites with parallel environment - A case study in Spain. *Energies*, v. 10, n. 12, 2017.

JEONG, J. S.; RAMÍREZ-GÓMEZ, Á. Development of a web graphic model with fuzzy-decision-making Trial and Evaluation Laboratory/Multi-criteria-Spatial Decision Support System (F-DEMATEL/MC-SDSS) for sustainable planning and construction of rural housings. *Journal of Cleaner Production*, v. 199, p. 584–592, 2018.

JESIYA, N. P.; GOPINATH, G. Groundwater suitability zonation with synchronized GIS and MCDM approach for urban and peri-urban phreatic aquifer ensemble of southern India. *Urban Water Journal*, v. 15, n. 8, p. 801–811, 2018.

JHARIYA, D. C.; KUMAR, TARUN; PANDEY, H. K. Watershed prioritization based on soil and water hazard model using remote sensing, geographical information system and multi-criteria decision analysis approach. *Geocarto International*, v. 35, n. 2, p. 188-208, 2020.

JIAO, S.; ZHANG, X.; XU, Y. A review of Chinese land suitability assessment from the rainfall-waterlogging perspective: Evidence from the Su Yu Yuan area. *Journal of Cleaner Production*, v. 144, p. 100–106, 2017.

JOZAGHI, A.; ALIZADEH, B.; HATAMI, M.; FLOOD, I.; KHORRAMI, M.; KHODAEI, N.; GHASEMI TOUSI, E. A comparative study of the AHP and TOPSIS techniques for dam site selection using GIS: A case study of Sistan and Baluchestan Province, Iran. *Geosciences*, v. 8, n. 12, 2018.

KADAM, A. K.; UMRİKAR, B. N.; SANKHUA, R. N. Assessment of recharge potential zones for groundwater development and management using geospatial and MCDA technologies in semiarid region of Western India. *SN Applied Sciences*, v. 2, n. 2, 2020.

KAHSAY, A.; HAILE, M.; GEBRESAMUEL, G.; MOHAMMED, M. Land suitability analysis for sorghum crop production in northern semi-arid Ethiopia: Application of GIS-based fuzzy AHP approach. *Cogent Food & Agriculture*, v. 4, n. 1, p. 1–24, 2018.

KAMALI, M.; ALESHEIKH, S.; ALAVI BORAZJANI, A.; JAHANSHAHI, A.; KHODAPARAST, Z.; KHALAJ, M. Delphi-ahp and weighted index Overlay-GIS approaches for industrial site selection case study: Large extractive industrial units in Iran. *Journal of Settlements and Spatial Planning*, v. 8, n. 2, p. 99–105, 2017.

KAMDAR, I.; ALI, S.; BENNUI, A.; TECHATO, K.; JUTIDAMRONGPHAN, W. Municipal solid waste landfill siting using an integrated GIS-AHP approach: A case study from Songkhla, Thailand. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 149, n. June, p. 220–235, 2019.

KANAGARAJ, G.; SUGANTHI, S.; ELANGO, L.; MAGESH, N. S. Assessment of groundwater potential zones in Vellore district, Tamil Nadu, India using geospatial techniques. *Earth Science Informatics*, v. 12, n. 2, p. 211–223, 2019.

KARIMI, H.; AMIRI, S.; HUANG, J.; KARIMI, A. Integrating GIS and multi-criteria decision analysis for landfill site selection, case study: Javanrood County in Iran. *International Journal of Environmental Science and Technology*, v. 16, n. 11, p. 7305–7318, 2019.

KAUSIKA, B. B.; DOLLA, O.; VAN SARK, W. G. J. H. M. Assessment of policy based residential solar PV potential using GIS-based multicriteria decision analysis: A case study of Apeldoorn, the Netherlands. *Energy Procedia*, v. 134, p. 110–120, 2017.

KAVURMACI, M.; APAYDIN, A. Assessment of irrigation water quality by a Geographic Information System–Multicriteria Decision Analysis-based model: A case study from Ankara, Turkey. *Water Environment Research*, v. 91, n. 11, p. 1420–1432, 2019.

KAYA, Ö.; TORTUM, A.; ALEMDAR, K. D.; ÇODUR, M. Y. Site selection for EVCS in Istanbul by GIS and multi-criteria decision-making. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, v. 80, n. May 2019, p. 102271, 2020.

KAZEMI, F.; BAHRAMI, A.; ABDOLAH SHARIF, J. Mineral processing plant site selection using integrated fuzzy cognitive map and fuzzy analytical hierarchy process approach: A case study of gilsonite mines in Iran. *Minerals Engineering*, v. 147, n. October 2019, p. 106143, 2020.

KHOSHAND, A.; BAFRANI, A. H.; ZAHEDIPOUR, M.; MIRBAGHERI, S. A.; EHTEHSAMI, M. Prevention of landfill pollution by multicriteria spatial decision support systems (MC-SDSS): development, implementation, and case study. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 25, n. 9, p. 8415–8431, 2018.

KHORSANDI, H.; FARAMARZI, A.; AGHAPOUR, A. A.; JAFARI, S. J. Landfill site selection via integrating multi-criteria decision techniques with geographic information systems: a case study in Naqadeh, Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 191, n. 12, 2019.

KIAVARZ, M.; JELOKHANI-NIARAKI, M. Geothermal prospectivity mapping using GIS-based Ordered Weighted Averaging approach: A case study in Japan's Akita and Iwate provinces. *Geothermics*, v. 70, n. June, p. 295–304, 2017.

KIM, G. B. A study on the establishment of groundwater protection area around a saline waterway by combining artificial neural network and GIS-based AHP. *Environmental Earth Sciences*, v. 79, n. 5, p. 1–17, 2020.

KIM, K.; BURNETT, K.; GHIMIRE, J. Integrating fast feedback and GIS to plan for important agricultural land designations in Kauai County, Hawaii. *Journal of Land Use Science*, v. 12, n. 5, p. 375–390, 2017.

KOZIATEK, O.; DRAGIĆEVIĆ, S. A local and regional spatial index for measuring three-dimensional urban compactness growth. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, v. 46, n. 1, p. 143–164, 2019.

KULLER, M.; BACH, P. M.; ROBERTS, S.; BROWNE, D.; DELETIC, A. A planning-support tool for spatial suitability assessment of green urban stormwater infrastructure. *Science of the Total Environment*, v. 686, p. 856–868, 2019.

LARSEN, S. L.; CHRISTENSEN, S. C. B.; ALBRECHTSEN, H. J.; RYGAARD, M. GISMOWA: Geospatial risk-based analysis identifying water quality monitoring sites in distribution systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 143, n. 6, 2017.

LECHNER, A. M.; DEVI, B.; SCHLEGER, A.; BROWN, G.; MCKENNA, P.; ALI, S. H.; ...; ROGERS, P. A socio-ecological approach to GIS least-cost modelling for regional mining infrastructure planning: A case study from South-East Sulawesi, Indonesia. *Resources*, v. 6, n. 1, 2017.

LEHNER, A.; ERLACHER, C.; SCHLÖGL, M.; WEGERER, J.; BLASCHKE, T.; STEINNOCHER, K. Can ISO-defined urban sustainability indicators be derived from remote sensing: An expert weighting approach. *Sustainability*, v. 10, n. 4, 2018.

LI, X.; HUANG, J.; TU, Z.; YANG, S. Bringing Multi-Criteria Decision Making into cell identification for Shoreline Management Planning in a coastal city of Southeast China. *Ocean and Coastal Management*, n. April, p. 104483, 2018.

LIN, J.; LI, X. Large-scale ecological red line planning in urban agglomerations using a semi-automatic intelligent zoning method. *Sustainable Cities and Society*, v. 46, n. December 2018, p. 101410, 2019.

LIU, Q.; LIU, Y.; PENG, J.; ZHANG, T.; LI, Y. Linking GRNN and neighborhood selection algorithm to assess land suitability in low-slope hilly areas. *Ecological Indicators*, v. 93, n. March, p. 581–590, 2018.

LORO, M.; ARCE, R. M.; ORTEGA, E. Identification of optimal landforms to reduce impacts on the landscape using LiDAR for hosting a new highway. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 66, n. November 2016, p. 99–114, 2017.

LOTFI, R.; MOSTAFAEIPOUR, A.; MARDANI, N.; MARDANI, S. Investigation of wind farm location planning by considering budget constraints. *International Journal of Sustainable Energy*, v. 37, n. 8, p. 799–817, 2018.

LOUKOGEORGAKI, E.; VAGIONA, D. G.; VASILEIOU, M. Site selection of hybrid offshore wind and wave energy systems in Greece incorporating environmental impact assessment. *Energies*, v. 11, n. 8, 2018.

LOULIZI, A.; RAKHA, H.; BICHIOU, Y. Quantifying grade effects on vehicle fuel consumption for use in sustainable highway design. *International Journal of Sustainable Transportation*, v. 12, n. 6, p. 441–451, 2018.

LU, Q.; CHANG, N. BIN; JOYCE, J. Predicting long-term urban growth in Beijing (China) with new factors and constraints of environmental change under integrated stochastic and fuzzy uncertainties. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, v. 32, n. 7, p. 2025–2044, 2018.

LUU, C.; VON MEDING, J. A flood risk assessment of Quang Nam, Vietnam using spatial multicriteria decision analysis. *Water*, v. 10, n. 4, p. 1–16, 2018.

MACHADO, E. R.; DO VALLE JÚNIOR, R. F.; FERNANDES, L. F. S.; PACHECO, F. A. L. The vulnerability of the environment to spills of dangerous substances on highways: A diagnosis based on multi criteria modeling. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, v. 62, n. xxxx, p. 748–759, 2018.

MADRIGAL-MARTÍNEZ, S.; PUGA-CALDERÓN, R. J. Land suitability and sensitivity analysis for planning apple growing in Mala's Valley, Peru. *Bioagro*, v. 30, n. 2, p. 95–106, 2018.

MAHATO, S.; PAL, S. Groundwater Potential Mapping in a Rural River Basin by Union (OR) and Intersection (AND) of Four Multi-criteria Decision-Making Models. *Natural Resources Research*, v. 28, n. 2, p. 523–545, 2019.

MAHDY, M.; BAHAJ, A. B. S. Multi criteria decision analysis for offshore wind energy potential in Egypt. *Renewable Energy*, v. 118, p. 278–289, 2018.

MAHMOOD, K.; BATOOL, S. A.; CHAUDHARY, M. N.; UL-HAQ, Z. Ranking criteria for assessment of municipal solid waste dumping sites. *Archives of Environmental Protection*, v. 43, n. 1, p. 95–105, 2017.

MAHMOODY VANOLYA, N.; JELOKHANI-NIARAKI, M.; TOOMANIAN, A. Validation of spatial multicriteria decision analysis results using public participation GIS. *Applied Geography*, v. 112, n. October 2018, p. 102061, 2019.

MALCZEWSKI, J. GIS-based land-use suitability analysis: A critical overview. *Progress in Planning*, v. 62, n. 1, p. 3–65, 2004.

MALCZEWSKI, J. GIS-based multicriteria decision analysis: A survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*, v. 20, n. 7, p. 703–726, 2006.

MALCZEWSKI, JACEK; RINNER, CLAUS. *Multicriteria decision analysis in geographic information science*. New York: Springer, 2015.

MALEKI, S.; SOFFIANIAN, A. R.; KOUPAEI, S. S.; POURMANAFI, S.; SAATCHI, S. Wetland restoration prioritizing, a tool to reduce negative effects of drought; An application of multicriteria-spatial decision support system (MC-SDSS). *Ecological Engineering*, v. 112, n. July 2017, p. 132–139, 2018.

MARTINS, I. D.; MORAES, F. F.; TÁVORA, G.; SOARES, H. L. F.; INFANTE, C. E.; ARRUDA, E. F.; ... ; LOURENÇO, M. I. A review of the multicriteria decision analysis

applied to oil and gas decommissioning problems. *Ocean and Coastal Management*, v. 184, n. September, 2020.

MEMARBASHI, E.; AZADI, H.; BARATI, A. A.; MOHAJERI, F.; PASSEL, S. V.; WITLOX, F. Land-use suitability in Northeast Iran: Application of AHP-GIS hybrid model. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, v. 6, n. 12, 2017.

MENTZAFU, A.; PANAGOPOULOS, Y.; DIMITRIOU, E. Designing the national network for automatic monitoring of water quality parameters in Greece. *Water*, v. 11, n. 6, 2019.

MERROUNI, A. A.; ELALAOUI, F. E.; MEZRHAB, A.; MEZRHAB, A.; GHENNIQUI, A. Large scale PV sites selection by combining GIS and Analytical Hierarchy Process. Case study: Eastern Morocco. *Renewable Energy*, v. 119, p. 863–873, 2018.

MESSAOUDI, D.; SETTOU, N.; NEGROU, B.; SETTOU, B. GIS based multi-criteria decision making for solar hydrogen production sites selection in Algeria. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 44, n. 60, p. 31808–31831, 2019.

MIJANI, N.; ALAVIPANAH, S. K.; HAMZEH, S.; FIROZJAEI, M. K.; ARSANJANI, J. J. Modeling thermal comfort in different condition of mind using satellite images: An Ordered Weighted Averaging approach and a case study. *Ecological Indicators*, v. 104, n. February, p. 1–12, 2019.

MILEU, N.; QUEIRÓS, M. Integrating risk assessment into spatial planning: RiskOTe decision support system. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, v. 7, n. 5, 2018.

MILUTINOVIC, G.; AHONEN-JONNARTH, U.; SEIPEL, S. GISwaps: A new method for decision making in continuous choice models based on even swaps. *International Journal of Decision Support System Technology*, v. 10, n. 3, p. 57–78, 2018.

MISHRA, D.; SINGH, B. N. Identification of Groundwater Prospect in Bara Region of Allahabad District Based on Hydro-Geomorphological Analysis Using Satellite Imagery. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, v. 47, n. 7, p. 1257–1273, 2019.

MOGAJI, KEHINDE ANTHONY; SAN LIM, HWEE. Application of a GIS-/remote sensing-based approach for predicting groundwater potential zones using a multi-criteria data mining methodology. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 189, n. 7, p. 321, 2017.

MOGAJI, K. A. Development of AHPDST Vulnerability Indexing Model for Groundwater Vulnerability Assessment Using Hydrogeophysical Derived Parameters and GIS Application. *Pure and Applied Geophysics*, v. 174, n. 4, p. 1787–1813, 2017.

MOGAJI, K. A. Application of vulnerability modeling techniques in groundwater

resources management: a comparative study. *Applied Water Science*, v. 8, n. 5, 2018.

MOGAJI, K. A.; LIM, H. S. Development of groundwater favorability map using GIS-based driven data mining models: an approach for effective groundwater resource management. *Geocarto International*, v. 33, n. 4, p. 397-422, 2018.

MOHAMED, S. A. Coastal vulnerability assessment using GIS-Based multicriteria analysis of Alexandria-northwestern Nile Delta, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, v. 163, p. 103751, 2020.

MOHAMMADI, A. Determining appropriate zones for knowledge intensive firms site selection using GIS: Case study of Tehran metropolitan area. *International Journal of Applied Geospatial Research*, v. 10, n. 1, p. 1–30, 2019.

MOHAMMADIAN MOSAMMAM, H.; SARRAFI, M.; TAVAKOLI NIA, J.; MOSAMMAM, A. M. Measuring Food Deserts via GIS-Based Multicriteria Decision Making: The Case of Tehran. *Professional Geographer*, v. 69, n. 3, p. 455–471, 2017.

MOKARRAM, M.; HOJATI, M. Using ordered weight averaging (OWA) aggregation for multi-criteria soil fertility evaluation by GIS (case study: southeast Iran). *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 132, p. 1–13, 2017.

MOKARRAM, M.; MIRSOLEIMANI, A. Using Fuzzy-AHP and order weight average (OWA) methods for land suitability determination for citrus cultivation in ArcGIS (Case study: Fars province, Iran). *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, v. 508, p. 506-518, 2018.

MOKARRAM, M.; POURGHASEMI, H. R.; TIEFENBACHER, J. P. Comparison analytic network and analytical hierarchical process approaches with feature selection algorithm to predict groundwater quality. *Environmental Earth Sciences*, v. 78, n. 21, 2019.

MOKARRAM, M.; SATHYAMOORTHY, D. Determination of suitable locations for the construction of gas power plant using multicriteria decision and Dempster–Shafer model in GIS. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, v. 00, n. 00, p. 1–16, 2019.

MOKARRAM, M.; ZAREI, A. R. Landslide Susceptibility Mapping Using Fuzzy-AHP. *Geotechnical and Geological Engineering*, v. 36, n. 6, p. 3931–3943, 2018.

MOLINA BACCA, E. J.; KNIGHT, A.; TRIFKOVIC, M. Optimal land use and distributed generation technology selection via geographic-based multicriteria decision analysis and mixed-integer programming. *Sustainable Cities and Society*, v. 55, p. 102055, 2020.

MONTEIRO, L.; MACHADO, N.; MARTINS, E.; POUGY, N.; VERDI, M.; MARTINELLI, G.; LOYOLA, R. Conservation priorities for the threatened flora of

mountaintop grasslands in Brazil. *Flora*, v. 238, p. 234-243, 2018.

MONTGOMERY, B.; DRAGIĆEVIĆ, S.; DUJMOVIĆ, J.; SCHMIDT, M. A GIS-based Logic Scoring of Preference method for evaluation of land capability and suitability for agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 124, p. 340–353, 2016.

MOTA, C. M. DE M.; FIGUEIREDO, C. J. J. DE; PEREIRA, D. V. E. S. Identifying areas vulnerable to homicide using multiple criteria analysis and spatial analysis. *Omega*, p. 102211 2020.

MOTIEYAN, H.; MESGARI, M. S. A novel spatial index using spatial analyses and hierarchical fuzzy expert system for obtaining green TOD: a case study in Tehran city. *Geocarto International*, v. 34, n. 1, p. 1–22, 2019.

MUKHAMEDIEV, R. I.; MUSTAKAYEV, R.; YAKUNIN, K.; KISELEVA, S.; GOPEJENKO, V. Multi-criteria spatial decision making supportsystem for renewable energy development in Kazakhstan. *IEEE Access*, v. 7, p. 122275–122288, 2019.

MURRAY, A. T. Contemporary optimization application through geographic information systems. *Omega*, n. xxxx, p. 102176, 2019.

MUSAKWA, W.; TSHESANE, R. M.; KANGETHE, M. The strategically located land index support system for human settlements land reform in South Africa. *Cities*, v. 60, p. 91–101, 2017.

MUSTAFA, F. B.; BWADI, B. E. Determination of Optimal Freshwater Prawn Farming Site Locations using GIS and Multicriteria Evaluation. *Journal of Coastal Research*, v. 82, p. 41–54, 2018.

MWAURA, D.; KADA, M. Developing a web-based spatial decision support system for geothermal exploration at the olkaria geothermal field. *International Journal of Digital Earth*, v. 10, n. 11, p. 1118–1145, 2017.

MYAGMARTSEREN, P.; BUYANDELGER, M.; ANDERS BRANDT, S. Implications of a Spatial Multicriteria Decision Analysis for Urban Development in Ulaanbaatar, Mongolia. *Mathematical Problems in Engineering*, v. 2017, 2017.

NAHARUDIN, N.; AHAMAD, M. S. S.; SADULLAH, A. F. M. Framework for developing a spatial walkability index (SWI) for the light-rail transit (LRT) stations in Kuala Lumpur city centre using analytical network process (ANP) and GIS. *AIP Conference Proceedings*, v. 1892, 2017.

NASCIMENTO, V. F.; YESILLER, N.; CLARKE, K. C.; OMETTO, J. P. H. B.; ANDRADE, P. R.; SOBRAL, A. C. Modeling the environmental susceptibility of landfill sites in California. *GIScience and Remote Sensing*, v. 54, n. 5, p. 657–677, 2017.  
 NIU, Q.; YU, L.; JIE, Q.; LI, X. An urban eco-environmental sensitive areas assessment method based on variable weights combination. *Environment, Development and Sustainability*, v. 22, n. 3, p. 2069–2085, 2020.

NOBLE, M. M.; HARASTI, D.; PITTOCK, J.; DORAN, B. Understanding the spatial diversity of social uses, dynamics, and conflicts in marine spatial planning. *Journal of Environmental Management*, v. 349, n. February, p. 929–940, 2019.

NOURI, H.; MASON, R. J.; MORADI, N. Land suitability evaluation for changing spatial organization in Urmia County towards conservation of Urmia Lake. *Applied Geography*, v. 81, p. 1–12, 2017.

NOURI, J.; ARJMANDI, R.; ALESHEKH, A. A.; TARI, Z. S. Applying io and ahp to locate coastal tourism sites using gis: A case study of mazandaran province, Iran. *Environmental Engineering and Management Journal*, v. 16, n. 12, p. 2707–2718, 2017.

NSENGIYUMVA, J. B.; LUO, G.; HAKORIMANA, E.; MIND'JE, R.; GASIRABO, A.; MUKANYANDWI, V. Comparative Analysis of Deterministic and Semiquantitative Approaches for Shallow Landslide Risk Modeling in Rwanda. *Risk Analysis*, v. 39, n. 11, p. 2576–2595, 2019.

OCHOA, P. A.; CHAMBA, Y. M.; ARTEAGA, J. G.; CAPA, E. D. Estimation of suitable areas for coffee growth using a GIS approach and multicriteria evaluation in regions with scarce data. *Applied Engineering in Agriculture*, v. 33, n. 6, p. 841–848, 2017.

OFOSU, S. A.; ADJEI, K. A.; ODAI, S. N. Ecological vulnerability of the Densu river Basin due to land use change and climate variability. *Cogent Engineering*, v. 7, n. 1, 2020.

OGATO, G. S.; BANTIDER, A.; ABEBE, K.; GENELETTI, D. Geographic information system (GIS)-Based multicriteria analysis of flooding hazard and risk in Ambo Town and its watershed, West shoa zone, oromia regional State, Ethiopia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, v. 27, n. January, p. 100659, 2020.

OGRODNIK, K. Article multi-criteria analysis of design solutions in architecture and engineering: Review of applications and a case study. *Buildings*, v. 9, n. 12, 2019.

ÖNDEN, İ. Integrating GIS with F-AHP for locating a single facility. *Transport*, v. 33, n. 5, p. 1173–1183, 2018.

PANAHI, S.; KHAKZAD, A.; AFZAL, P. Application of stepwise weight assessment ratio analysis (SWARA) for copper prospectivity mapping in the Anarak region, central Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, v. 10, n. 22, p. 1–17, 2017.

PARASKEVIS, N.; ROUMPOS, C.; STATHOPOULOS, N.; ADAM, A. Spatial analysis and evaluation of a coal deposit by coupling AHP & GIS techniques. *International Journal of Mining Science and Technology*, v. 29, n. 6, p. 943–953, 1 dez. 2019.

PASALARI, H.; NODEHI, R. N.; MAHVI, A. H.; YAGHMAEIAN, K.; CHARRAHI, Z. Landfill site selection using a hybrid system of AHP-Fuzzy in GIS environment: A case study in Shiraz city, Iran. *MethodsX*, v. 6, p. 1454–1466, 2019.

PATRA, S.; MISHRA, P.; MAHAPATRA, S. C. Delineation of groundwater potential zone for sustainable development: A case study from Ganga Alluvial Plain covering Hooghly district of India using remote sensing, geographic information system and analytic hierarchy process. *Journal of Cleaner Production*, v. 172, p. 2485–2502, 2018.

PATRIKAKI, O.; KAZAKIS, N.; KOUGIAS, I.; PATSIALIS, T.; THEODOSSIOU, N.; VOUDOURIS, K. Assessing flood hazard at river basin scale with an index-based approach: The case of mouriki, greece. *Geosciences*, v. 8, n. 2, 2018.

PAUL, M.; NEGAHBAN-AZAR, M.; SHIRMOHAMMADI, A.; MONTAS, H. Assessment of agricultural land suitability for irrigation with reclaimed water using geospatial multi-criteria decision analysis. *Agricultural Water Management*, v. 231, n. December 2019, p. 105987, 2020.

PAVANI, I. D.; CICERELLI, R. E.; DE ALMEIDA, T.; MOURA, L. Z.; CONTRERAS, F. Allocation of sanitary landfill in consortium: strategy for the Brazilian municipalities in the State of Amazonas. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 191, n. 1, 2019.

PORPORATO, E. M. D.; PASTRES, R.; BRIGOLIN, D. Site Suitability for Finfish Marine Aquaculture in the Central Mediterranean Sea. *Frontiers in Marine Science*, v. 6, 2020.

PUNYS, P.; RADZEVIČIUS, A.; KVARACIEJUS, A.; GASIŪNAS, V.; ŠILINIS, L. A multi-criteria analysis for siting surface-flow constructed wetlands in tile-drained agricultural catchments: The case of Lithuania. *Agricultural Water Management*, v. 213, n. December 2018, p. 1036–1046, 2019.

QUATTRONE, M.; TOMASELLI, G.; RIGUCCIO, L.; RUSSO, P. Assessment of the territorial suitability for the creation of the greenways networks: Methodological application in the Sicilian landscape context. *Journal of Agricultural Engineering*, v. 48, n. 4, p. 209–222, 2017.

QUATTRONE, M.; TOMASELLI, G.; D'EMILIO, A.; RUSSO, P. Analysis and evaluation of abandoned railways aimed at greenway conversion: A methodological application in the Sicilian landscape using multi-criteria analysis and geographical information system. *Journal of Agricultural Engineering*, v. 49, n. 3, p. 151–163, 2018.

QUINTA-NOVA, L.; FERNANDEZ, P.; PEDRO, N. GIS-Based Suitability Model for Assessment of Forest Biomass Energy Potential in a Region of Portugal. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, v. 95, n. 4, 2017.

RAFIEE, A.; VAN DER MALE, P.; DIAS, E.; SCHOLTEN, H. Interactive 3D geodesign tool for multidisciplinary wind turbine planning. *Journal of Environmental Management*, v. 205, p. 107–124, 2018.

RAHDARI, V.; SOFFIANIAN, A. R.; POURMANAFI, S.; GHAIUMI, M. H.;

MOSADEGHI, R.; AMIRI, F. A multi-objective approach for land conservation capability evaluation using multi-criterion evaluation models. *Applied Ecology and Environmental Research*, v. 16, n. 2, p. 1353–1367, 2018.

RAHIMI, S.; HAFEZALKOTOB, A.; MONAVARI, S. M.; HAFEZALKOTOB, A.; RAHIMI, R. Sustainable landfill site selection for municipal solid waste based on a hybrid decision-making approach: Fuzzy group BWM-MULTIMOORA-GIS. *Journal of Cleaner Production*, v. 248, p. 119186, 2020.

RANJBAR, H. R.; ARDALAN, A. A.; DEGHANI, H.; SARADJIAN, M. R. A proposed spatial index to prioritize damaged buildings for allocating USAR operations. *Geocarto International*, v. 33, n. 8, p. 791–809, 2018.

RASAM, A. R. A.; SHARIFF, N. M.; DONY, J. F.; MAKESWARAN, P. Mapping risk areas of tuberculosis using knowledge-driven GIS model in Shah Alam, Malaysia. *Pertanika Journal of Social Sciences and Humanities*, v. 25, n. 5, p. 135–144, 2017.

RASHID, M.; LO, M. H.; AHMED, S. Integrated multi-parameter approach for delineating groundwater potential zones in a crystalline aquifer of southern India. *Arabian Journal of Geosciences*, v. 10, n. 22, 2017.

RASTANDEH, A.; BROWN, D. K.; PEDERSEN ZARI, M. Site selection of urban wildlife sanctuaries for safeguarding indigenous biodiversity against increased predator pressures. *Urban Forestry and Urban Greening*, v. 32, n. March, p. 21–31, 2018.

RATHER, M. A.; KUMAR, J. S.; FAROOQ, M.; RASHID, H. Assessing the influence of watershed characteristics on soil erosion susceptibility of Jhelum basin in Kashmir Himalayas. *Arabian Journal of Geosciences*, v. 10, n. 3, 2017.

RATICK, S.; OSLEEB, J.; SI, K. The Maximal Cover Location Model with Hedging: Siting Facilities under Uncertainty, a Lead Poisoning Screening Network for the Dominican Republic. *International Regional Science Review*, v. 39, n. 1, p. 77–107, 2016.

RICHARDSON, C. P.; AMANKWATIA, K. GIS-Based Analytic Hierarchy Process Approach to Watershed Vulnerability in Bernalillo County, New Mexico. *Journal of Hydrologic Engineering*, v. 23, n. 5, p. 04018010, 2018.

RICHTER, B.; BEHNISCH, M. Integrated evaluation framework for environmental planning in the context of compact green cities. *Ecological Indicators*, v. 96, n. November 2016, p. 38–53, 2019.

RISTIĆ, V.; MAKSIN, M.; NENKOVIĆ-RIZNIĆ, M.; BASARIĆ, J. Land-use evaluation for sustainable construction in a protected area: A case of Sara mountain national park. *Journal of Environmental Management*, v. 206, p. 430–445, 2018.

RODRÍGUEZ-ESPINOSA, V. M.; AGUILERA-BENAVENTE, F.; GÓMEZ-DELGADO, M. Green infrastructure design using GIS and spatial analysis: a proposal for the

Henares Corridor (Madrid-Guadalajara, Spain). *Landscape Research*, v. 45, n. 1, p. 26–43, 2020.

RODRÍGUEZ, R.; GAUTHIER-MARADEI, P.; ESCALANTE, H. Fuzzy spatial decision tool to rank suitable sites for allocation of bioenergy plants based on crop residue. *Biomass and Bioenergy*, v. 100, p. 17–30, 2017.

RODRÍGUEZ-MERINO, A.; GARCÍA-MURILLO, P.; FERNÁNDEZ-ZAMUDIO, R. Combining multicriteria decision analysis and GIS to assess vulnerability within a protected area: An objective methodology for managing complex and fragile systems. *Ecological Indicators*, v. 108, n. July 2019, p. 105738, 2020.

ROMANELLI, J. P.; SILVA, L. G.; HORTA, A.; PICOLI, R. A. Site Selection for Hydropower Development: A GIS-Based Framework to Improve Planning in Brazil. *Journal of Environmental Engineering*, v. 144, n. 7, p. 04018051, 2018.

ROMANESCU, G.; HAPCIUC, O. E.; MINEA, I.; IOSUB, M. Flood vulnerability assessment in the mountain–plateau transition zone: a case study of Marginea village (Romania). *Journal of Flood Risk Management*, v. 11, n. March, p. S502–S513, 2018.

ROSATO, P.; BREIL, M.; GIUPPONI, C.; BERTO, R. Assessing the impact of urban improvement on housing values: A hedonic pricing and multi-attribute analysis model for the historic centre of Venice. *Buildings*, v. 7, n. 4, 2017.

ROY, J.; SAHA, S. Assessment of land suitability for the paddy cultivation using analytical hierarchical process (AHP): a study on Hinglo river basin, Eastern India. *Modeling Earth Systems and Environment*, v. 4, n. 2, p. 601–618, 2018.

RUGET, A. S.; TRAN, A.; WARET-SZKUTA, A.; MOUTROIFI, Y. O.; CHARAFOUDDINE, O.; CARDINALE, E.; CHEVALIER, V. Spatial Multicriteria Evaluation for Mapping the Risk of Occurrence of Peste des Petits Ruminants in Eastern Africa and the Union of the Comoros. *Frontiers in Veterinary Science*, v. 6, n. December, p. 1–11, 2019.

SAATSAZ, M.; MONSEF, I.; RAHMANI, M.; GHODS, A. Site suitability evaluation of an old operating landfill using AHP and GIS techniques and integrated hydrogeological and geophysical surveys. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 190, n. 3, 2018.

SADLER, R. C.; HIPPENSTEEL, C.; NELSON, V.; GREENE-MOTON, E.; FURR-HOLDEN, C. D. Community-engaged development of a GIS-based healthfulness index to shape health equity solutions. *Social Science and Medicine*, v. 227, p. 63–75, 2019.

SAEIDI, S.; MIRKARIMI, S. H.; MOHAMMADZADEH, M.; SALMANMAHINY, A.; ARROWSMITH, C. Designing an integrated urban growth prediction model: a scenario-based approach for preserving scenic landscapes. *Geocarto International*, v. 33, n. 12, p. 1381–1397, 2018.

SANTANA SARMIENTO, F.; ÁLAMO VERA, F. R.; DE SAÁ PÉREZ, P. The competitive value of territorial resources for photovoltaic energy on the island of Gran Canaria. *Island Studies Journal*, v. 12, n. 1, p. 223–242, 2017.

SANTANA-SARMIENTO, F.; ÁLAMO-VERA, F. R.; DE SAÁ-PÉREZ, P. A resource-based view of competitiveness in the wind energy sector: The case of gran canaria and tenerife. *Applied Sciences*, v. 9, n. 6, 2019.

SAÑUDO, R.; LUIS MOURA, J.; CORDERA, R.; IBEAS, A. Optimal Stopping Location of a High Speed Train using GIS and Multicriteria Decision-making. *Transactions in GIS*, v. 21, n. 1, p. 151–168, 2017.

SARKY, S.; WRIGHT, J.; EDWARDS, M. Evaluating consistency of stakeholder input into participatory GIS-based multiple criteria evaluation: a case study of ecotourism development in Kurdistan. *Journal of Environmental Planning and Management*, v. 60, n. 9, p. 1529–1553, 2017.

SAY, NURIYE; OKTEN, SINEM. Integration of strategic environmental assessment into urban development plans in Turkey: case study of Adana city. *Fresenius Environmental Bulletin*, 2017.

SCHITO, J.; JULLIER, J.; RAUBAL, M. A framework for integrating stakeholder preferences when deciding on power transmission line corridors. *EURO Journal on Decision Processes*, v. 7, n. 3, p. 159-195, 2019.

ŞEKER, DURSUN; YUCEL, UGUR. Gis based multi-criteria decision analysis for site selection of a wastewater treatment plant. *Fresenius Environmental Bulletin*, 2017.

SELIM, S.; KOC-SAN, D.; SELIM, C.; SAN, B. T. Site selection for avocado cultivation using GIS and multi-criteria decision analyses: Case study of Antalya, Turkey. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 154, n. September, p. 450–459, 2018.

SEMMENS, S. N.; ZHOU, W.; BREGJE, K.; PAUL, M. Application of multiple criteria decision making model for evaluation of levee sustainability. *Environmental and Engineering Geoscience*, v. 23, n. 2, p. 65–77, 2017.

SEYEDMOHAMMADI, J.; SARMADIAN, F.; JAFARZADEH, A. A.; GHORBANI, M. A.; SHAHBAZI, F. Application of SAW, TOPSIS and fuzzy TOPSIS models in cultivation priority planning for maize, rapeseed and soybean crops. *Geoderma*, v. 310, n. November 2016, p. 178–190, 2018.

SEYEDMOHAMMADI, J.; SARMADIAN, F.; JAFARZADEH, A. A.; MCDOWELL, R. W. Development of a model using matter element, AHP and GIS techniques to assess the suitability of land for agriculture. *Geoderma*, v. 352, n. May, p. 80–95, 2019.

SHAILAJA, G.; KADAM, A. K.; GUPTA, G.; UMRIKAR, B. N.; PAWAR, N. J.

Integrated geophysical, geospatial and multiple-criteria decision analysis techniques for delineation of groundwater potential zones in a semi-arid hard-rock aquifer in Maharashtra, India. *Hydrogeology Journal*, v. 27, n. 2, p. 639–654, 2019.

SHARIAT, R.; ROOZBAHANI, A.; EBRAHIMIAN, A. Risk analysis of urban stormwater infrastructure systems using fuzzy spatial multi-criteria decision making. *Science of the Total Environment*, v. 647, p. 1468–1477, 2019.

SHARMA, ROHIT; KAMBLE, SACHIN S.; GUNASEKARAN, ANGAPPA. Big GIS analytics framework for agriculture supply chains: A literature review identifying the current trends and future perspectives. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 155, p. 103-120, 2018.

SHEKHAR, S.; YOO, E. H., AHMED, S. A.; HAINING, R.; KADANNOLLY, S. Analysing malaria incidence at the small area level for developing a spatial decision support system: A case study in Kalaburagi, Karnataka, India. *Spatial and Spatio-temporal Epidemiology*, v. 20, p. 9–25, 2017.

SHEIKH, V.; KORNEJADY, A.; OWNEGH, M. Application of the coupled TOPSIS–Mahalanobis distance for multi-hazard-based management of the target districts of the Golestan Province, Iran. *Natural Hazards*, v. 96, n. 3, p. 1335-1365, 2019.

SHORABEH, S. N.; FIROZJAEI, M. K.; NEMATOLLAHI, O.; FIROZJAEI, H. K.; JELOKHANI-NIARAKI, M. A risk-based multi-criteria spatial decision analysis for solar power plant site selection in different climates: A case study in Iran. *Renewable Energy*, v. 143, p. 958–973, 1 dez. 2019.

SIAHKAMARI, S.; HAGHIZADEH, A.; ZEINIVAND, H.; TAHMASEBIPOUR, N.; RAHMATI, O. Spatial prediction of flood-susceptible areas using frequency ratio and maximum entropy models. *Geocarto International*, v. 33, n. 9, p. 927–941, 2018.

ŠILJEG, A.; CAVRIĆ, B.; ŠILJEG, S.; MARIĆ, I.; BARADA, M. Land suitability zoning for ecotourism planning and development of Dikgatlhong Dam, Botswana. *Geographica Pannonica*, v. 23, n. 2, p. 76–86, 2019.

SINGH, L. K.; JHA, M. K.; CHOWDARY, V. M. Multi-criteria analysis and GIS modeling for identifying prospective water harvesting and artificial recharge sites for sustainable water supply. *Journal of Cleaner Production*, v. 142, p. 1436–1456, 2017.

SINGH, L. K.; JHA, M. K.; CHOWDARY, V. M. Assessing the accuracy of GIS-based Multi-Criteria Decision Analysis approaches for mapping groundwater potential. *Ecological Indicators*, v. 91, n. March, p. 24–37, 2018.

SINGH, M. A. K.; MONDAL, S.; CHANDRA, N. Land suitability analysis based on soil properties and gis for improving rice productivity in Bihar, India. *Bangladesh Journal of Botany*, v. 48, n. 2, p. 217–222, 2019.

SINGHA, S.; PASUPULETI, S.; DURBHA, K. S.; SINGHA, S. S.; SINGH, R.; VENKATESH, A. S. An analytical hierarchy process-based geospatial modeling for

delineation of potential anthropogenic contamination zones of groundwater from Arang block of Raipur district, Chhattisgarh, Central India. *Environmental Earth Sciences*, v. 78, n. 24, p. 1–19, 2019.

SINGHAI, A.; DAS, S.; KADAM, A. K.; SHUKLA, J. P.; BUNDELA, D. S.; KALASHETTY, M. GIS-based multi-criteria approach for identification of rainwater harvesting zones in upper Betwa sub-basin of Madhya Pradesh, India. *Environment, Development and Sustainability*, v. 21, n. 2, p. 777–797, 2019.

SOPHA, B. M.; ASIH, A. M. S.; NURSITASARI, P. D. Location planning of urban distribution center under uncertainty: A case study of Yogyakarta special region province, Indonesia. *Journal of Industrial Engineering and Management*, v. 11, n. 3, p. 542–568, 2018.

SOUISSI, D.; MSADDEK, M. H.; ZOUHRI, L.; CHENINI, I.; EL MAY, M.; DLALA, M. Mapping groundwater recharge potential zones in arid region using GIS and Landsat approaches, southeast Tunisia. *Hydrological Sciences Journal*, v. 63, n. 2, p. 251–268, 2018.

STURIALE, L.; SCUDERI, A. The role of green infrastructures in urban planning for climate change adaptation. *Climate*, v. 7, n. 10, p. 1–24, 2019.

SUMATHI, V. R.; NATESAN, U.; SARKAR, C. GIS-based approach for optimized siting of municipal solid waste landfill. *Waste Management*, v. 28, n. 11, p. 2146–2160, 2008.

SUN, Y.; WANG, R.; LI, J.; LIU, J. GIS-based multiregional potential evaluation and strategies selection framework for various renewable energy sources: a case study of eastern coastal regions of China. *Energy Science and Engineering*, v. 5, n. 3, p. 123–140, 2017.

SURESHKUMAR, M.; SIVAKUMAR, R.; NAGARAJAN, M. Selection of alternative landfill site in Kanchipuram, India by using gis and multicriteria decision analysis. *Applied Ecology and Environmental Research*, v. 15, n. 1, p. 627–636, 2017.

SUTTI, F.; STRONG, A.; PERLUT, N. A Multicriteria Decision Analysis for Identifying Priority Conservation Areas for Grassland Birds. *Northeastern Naturalist*, v. 24, p. 99–118, 2017.

SUURONEN, A.; LENSU, A.; KUITUNEN, M.; ANDRADE-ALVEAR, R.; CELIS, N. G.; MIRANDA, M.; ...; KUKKONEN, J. V. Optimization of photovoltaic solar power plant locations in northern Chile. *Environmental Earth Sciences*, v. 76, n. 24, 2017.

TAVANA, M.; ARTEAGA, F. J. S.; MOHAMMADI, S.; ALIMOHAMMADI, M. A fuzzy multi-criteria spatial decision support system for solar farm location planning. *Energy Strategy Reviews*, v. 18, p. 93–105, 2017.

TERH, S. H.; CAO, K. GIS-MCDA based cycling paths planning: a case study in Singapore. *Applied Geography*, v. 94, n. March, p. 107–118, 2018.

THOMAS, J. B. E.; RAMOS, F. S.; GRÖNDAHL, F. Identifying Suitable Sites for Macroalgae Cultivation on the Swedish West Coast. *Coastal Management*, v. 47, n. 1, p. 88–106, 2019.

TINTI, F.; KASMAEE, S.; ELKARMOTY, M.; BONDUÀ, S.; BORTOLOTTI, V. Suitability evaluation of specific shallow geothermal technologies using a GIS-Based multi criteria decision analysis implementing the analytic hierarchic process. *Energies*, v. 11, n. 2, 2018.

TIRYAKI, M.; KARACA, O. Flood susceptibility mapping using GIS and multicriteria decision analysis: Saricay-Çanakkale (Turkey). *Arabian Journal of Geosciences*, v. 11, n. 14, 2018.

TIWARI, A.; AHUJA, A.; VISHWAKARMA, B. D.; JAIN, K. Groundwater Potential Zone (GWPZ) for Urban Development Site Suitability Analysis in Bhopal, India. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, v. 47, n. 11, p. 1793–1815, 2019a.

TIWARI, A.; TYAGI, D.; SHARMA, S. K.; SURESH, M.; JAIN, K. Multi-criteria Decision Analysis for Identifying Potential Sites for Future Urban Development in Haridwar, India. *Proceedings of the International Conference on Communications and Cyber Physical Engineering 2018*, v. 500, n. January, p. 497–511, 2019b.

TORABI MOGHADAM, S.; LOMBARDI, P. An interactive multi-criteria spatial decision support system for energy retrofitting of building stocks using CommuntiyVIZ to support urban energy planning. *Building and Environment*, v. 163, n. February, p. 106233, 2019.

USTAOGU, E.; AYDINOGLU, A. C. Land Suitability Assessment of Green Infrastructure Development. *TeMA-Journal of Land Use, Mobility and Environment*, v. 12, n. 2, p. 165-178, 2019.

USTAOGU, E.; AYDINOGLU, A. C. Site suitability analysis for green space development of Pendik district (Turkey). *Urban Forestry and Urban Greening*, v. 47, 2020.

UUEMAA, E.; HUGHES, A. O.; TANNER, C. C. Identifying feasible locations for wetland creation or restoration in catchments by suitability modelling using light detection and ranging (LiDAR) Digital Elevation Model (DEM). *Water*, v. 10, n. 4, 2018.

VAGIONA, D. G.; KAMILAKIS, M. Sustainable site selection for offshore wind farms in the South Aegean-Greece. *Sustainability*, v. 10, n. 3, 2018.

VAISSI, S.; SHARIFI, M. Integrating multi-criteria decision analysis with a GIS-based siting procedure to select a protected area for the Kaiser's mountain newt, *Neurergus kaiseri* (Caudata: Salamandridae). *Global Ecology and Conservation*, v. 20, 2019.

VALENTE, R. A.; PETEAN, F. C. DE S.; VETTORAZZI, C. A. Análise multicriterial

para priorização de áreas à restauração florestal. *Cerne*, v. 23, n. 1, p. 53–60, 2017.

VALERO, M. M.; RIOS, O.; MATA, C.; PASTOR, E.; PLANAS, E. An integrated approach for tactical monitoring and data-driven spread forecasting of wildfires. *Fire Safety Journal*, v. 91, n. February, p. 835–844, 2017.

VARATHARAJAN, R.; MANOGARAN, G.; PRIYAN, M. K.; BALAŞ, V. E.; BARNA, C. Visual analysis of geospatial habitat suitability model based on inverse distance weighting with paired comparison analysis. *Multimedia Tools and Applications*, v. 77, n. 14, p. 17573–17593, 2018.

VASILEIOU, M.; LOUKOGEORGAKI, E.; VAGIONA, D. G. GIS-based multi-criteria decision analysis for site selection of hybrid offshore wind and wave energy systems in Greece. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 73, n. July 2016, p. 745–757, 2017.

VAVATSIKOS, A. P.; ARVANITIDOU, A.; PETSAS, D. Wind farm investments portfolio formation using GIS-based suitability analysis and simulation procedures. *Journal of Environmental Management*, v. 252, 15 dez. 2019.

VAVATSIKOS, A. P.; DEMESOUKA, O. E.; ANAGNOSTOPOULOS, K. P. GIS-based suitability analysis using fuzzy PROMETHEE. *Journal of Environmental Planning and Management*, v. 63, n. 4, p. 604–628, 2020.

VERONESI, F.; SCHITO, J.; GRASSI, S.; RAUBAL, M. Automatic selection of weights for GIS-based multicriteria decision analysis: site selection of transmission towers as a case study. *Applied Geography*, v. 83, p. 78–85, 2017.

VIANA, M. S.; DELGADO, J. P. M. City Logistics in historic centers: Multi-Criteria Evaluation in GIS for city of Salvador (Bahia – Brazil). *Case Studies on Transport Policy*, v. 7, n. 4, p. 772–780, 2019.

VIEIRA, J. G. M. S.; SALGUEIRO, J.; DA MAIA SOARES, A. M. V.; AZEITEIRO, U.; MORGADO, F. An integrated approach to assess the vulnerability to erosion in mangroves using GIS models in a tropical coastal protected area. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, v. 11, n. 2, p. 289–307, 2019.

VINCKE, PHILIPPE. Exploitation of a crisp relation in a ranking problem. *Theory and Decision*, v. 32, n. 3, p. 221-240, 1992.

VITIANINGSIH, A. V.; CAHYONO, D.; CHOIRON, A. Web-GIS Application Using Multi-Attribute Utility Theory Method as an Alternative Classification of New Highway Development with Heavy Traffic. *Advanced Science Letters*, v. 24, n. 12, p. 9186–9192, 2018.

WANG, Z. Land spatial development based on carrying capacity, land development potential, and efficiency of urban agglomerations in China. *Sustainability*, v. 10, n. 12, 2018.

WENTZ, E. A.; SHIMIZU, M. Measuring spatial data fitness-for-use through multiple criteria decision making. *Annals of the American Association of Geographers*, v. 108, n. 4, p. 1150–1167, 2018.

WORQLUL, A. W.; JEONG, J.; DILE, Y. T.; OSORIO, J.; SCHMITTER, P.; GERIK, T.; ...; CLARK, N. Assessing potential land suitable for surface irrigation using groundwater in Ethiopia. *Applied Geography*, v. 85, p. 1–13, 2017.

WORQLUL, A. W.; DILE, Y. T.; JEONG, J.; ADIMASSU, Z.; LEFORE, N.; GERIK, T.; CLARKE, N. Effect of climate change on land suitability for surface irrigation and irrigation potential of the shallow groundwater in Ghana. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 157, n. December 2018, p. 110–125, 2019.

XUE, J.; SHEN, G. Q.; YANG, R. J.; WU, H.; LI, X.; LIN, X.; XUE, F. Mapping the knowledge domain of stakeholder perspective studies in construction projects: A bibliometric approach. *International Journal of Project Management*, v. 38, n. 6, p. 313–326, 2020.

XUE, Y.; WEN, Z.; JI, X.; BRESSERS, H. T. A.; ZHANG, C. Location Optimization of Urban Mining Facilities with Maximal Covering Model in GIS: A Case of China. *Journal of Industrial Ecology*, v. 21, n. 4, p. 913–923, 2017.

YALCIN, M.; KILIC GUL, F. A GIS-based multi criteria decision analysis approach for exploring geothermal resources: Akarcay basin (Afyonkarahisar). *Geothermics*, v. 67, p. 18–28, 2017.

YAN, W.; LI, J.; LIU, M.; BAI, X.; SHAO, H. Data-based multiple criteria decision-making model and visualized monitoring of urban drinking water quality. *Soft Computing*, v. 21, n. 20, p. 6031-6041, 2017.

YAN, Y.; ZHOU, R.; YE, X.; ZHANG, H.; WANG, X. Suitability evaluation of urban construction land based on an approach of vertical-horizontal processes. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, v. 7, n. 5, 2018.

YANG, B.; YUAN, J.; YE, Z. Risk assessment of coal mining above confined aquifer based on maximizing deviation in a GIS environment. *Arabian Journal of Geosciences*, v. 11, n. 12, 2018.

YAVUZ KUMLU, K. B.; TÜDEŞ, Ş. Determination of earthquake-risky areas in Yalova City Center (Marmara region, Turkey) using GIS-based multicriteria decision-making techniques (analytical hierarchy process and technique for order preference by similarity to ideal solution). *Natural Hazards*, v. 96, n. 3, p. 999–1018, 2019.

YILDIRIM, V.; YOMRALIOGLU, T.; NISANCI, R.; ÇOLAK, H. E.; BEDİROĞLU, Ş.; SARALIOGLU, E. A spatial multicriteria decision-making method for natural gas transmission pipeline routing. *Structure and Infrastructure Engineering*, v. 13, n. 5, p. 567-580, 2017.

YIMEN, N.; DAGBASI, M. Multi-Attribute Decision-Making: Applying a Modified Brown–Gibson Model and RETScreen Software to the Optimal Location Process of Utility-Scale Photovoltaic Plants. *Processes*, v. 7, p. 505, 2019.

YOHANNES, H.; SOROMESSA, T. Integration of Remote Sensing, GIS and MCDM for Land Capability Classification in Andit Tid Watershed, Ethiopia. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, v. 47, n. 5, p. 763–775, 2019.

YOUSEFI, H.; HAFEZNIA, H.; YOUSEFI-SAHZABI, A. Spatial site selection for solar power plants using a gis-based boolean-fuzzy logic model: A case study of Markazi Province, Iran. *Energies*, v. 11, n. 7, 2018.

YU, X.; YU, X.; LU, Y. Evaluation of an agricultural meteorological disaster based on multiple criterion decision making and evolutionary algorithm. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 15, n. 4, 2018.

YUSHCHENKO, A.; DE BONO, A.; CHATENOUX, B.; PATEL, M. K.; RAY, N. GIS-based assessment of photovoltaic (PV) and concentrated solar power (CSP) generation potential in West Africa. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 81, n. February, p. 2088–2103, 2018.

WIJITKOSUM, S.; THAVIVONGSE S. "Fuzzy AHP integrated with GIS analyses for drought risk assessment: a case study from Upper Phetchaburi River Basin, Thailand." *Water*, v. 11, n. 5, p. 939, 2019.

ZABIHI, H.; ALIZADEH, M.; KIBET LANGAT, P.; KARAMI, M.; SHAHABI, H.; AHMAD, A.; ...; LEE, S. GIS multi-criteria analysis by orderedweighted averaging (OWA): Toward an integrated citrus management strategy. *Sustainability*, v. 11, n. 4, 2019.

ZEYDAN, M.; BOSTANCI, B.; ORALHAN, B. A new hybrid decision making approach for housing suitability mapping of an urban area. *Mathematical Problems in Engineering*, v. 2018, 2018.

ZHANG, Y.; LI, Q.; WANG, H.; DU, X.; HUANG, H. Community scale livability evaluation integrating remote sensing, surface observation and geospatial big data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 80, n. 20, p. 173–186, 2019.

ZHAO, H.; TANG, Y.; YANG, S. Dynamic identification of soil erosion risk in the middle reaches of the Yellow River Basin in China from 1978 to 2010. *Journal of Geographical Sciences*, v. 28, n. 2, p. 175–192, 2018.

ZOGHI, M.; EHSANI, A. H.; SADAT, M.; JAVAD AMIRI, M.; KARIMI, S. Optimization solar site selection by fuzzy logic model and weighted linear combination method in arid and semi-arid region: A case study Isfahan-IRAN. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 68, p. 986–996, 2017.

ZOLEKAR, R. B. Integrative approach of RS and GIS in characterization of land

suitability for agriculture: a case study of Darna catchment. *Arabian Journal of Geosciences*, v. 11, n. 24, 2018.