

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**INTEGRAÇÃO DOS MÉTODOS: MULTICRITÉRIO PARA TOMADA
DE DECISÃO E SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA PARA
SELEÇÃO DE LOCAIS**

MÁRIO HENRIQUE SOMBRA BEUTTENMÜLLER VILELA

Itajubá, Junho de 2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

MÁRIO HENRIQUE SOMBRA BEUTTENMÜLLER VILELA

**INTEGRAÇÃO DOS MÉTODOS: MULTICRITÉRIO PARA TOMADA
DE DECISÃO E SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA PARA
SELEÇÃO DE LOCAIS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção como parte dos requisitos para obtenção do título de **Mestre em Ciências em Engenharia de Produção.**

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches da Silva

Coorientador: Prof. Me. Dalton Garcia Borges de Souza

Itajubá, Junho de 2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

MÁRIO HENRIQUE SOMBRA BEUTTENMÜLLER VILELA

**INTEGRAÇÃO DOS MÉTODOS: MULTICRITÉRIO PARA TOMADA
DE DECISÃO E SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA PARA
SELEÇÃO DE LOCAIS**

Dissertação aprovada por banca examinadora em 23 de Setembro de 2019, conferindo ao autor o título de *Mestre em Ciências em Engenharia de Produção*.

Banca Examinadora:

Prof. Carlos Eduardo Sanches Silva, Dr. (orientador - UNIFEI)

Prof. Dalton Garcia Borges de Souza (coorientador - USP)

Prof. Carlos Henrique Pereira Mello (UNIFEI)

Prof. Joao Batista Turrioni (UNESP)

Itajubá, Junho de 2019

DEDICATÓRIA

“Devemos fazer o melhor, com as condições que temos, enquanto não temos condições melhores, para fazer melhor ainda! A vida é muito curta para ser pequena!”

Mario Sergio Cortella

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, o grande engenheiro do universo, por tantas bênçãos em minha vida. Por me proporcionar mais essa oportunidade de crescimento.

À minha mãe, Maria Auxiliadora Sombra Beutenmüller, por todo incentivo e apoio à minha educação desde sempre. A todos os familiares e amigos que estão sempre comigo e também à minha noiva, Ana Flavia Pereira, por estar ao meu lado me apoiando e me impulsionando em todos os momentos. Meu especial agradecimento a todos os amigos, que ajudaram de alguma forma a realizar este trabalho.

Aos meus professores da UNIFEI, por todo aprendizado, em especial ao meu orientador Carlos Eduardo Sanches da Silva, por toda parceria de sempre, desde meu primeiro ano como graduando na UNIFEI me apresentando a oportunidades de crescimento incríveis. Muito obrigado pela competência, disponibilidade, pelas importantes contribuições no desenvolvimento deste trabalho e também por acreditar sempre no avanço da educação em nossa universidade.

Agradeço também a todos os alunos, profissionais e professores que contribuíram na realização do trabalho, por todo incentivo e exemplo de dedicação.

Muito obrigado a todos!

“Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e muita fé em Deus, que um dia você chega lá!

De alguma maneira você chega lá!

Ayrton Senna da Silva

RESUMO

Com o aumento da complexidade dos problemas de seleção de locais, algumas ferramentas como a Métodos De Tomada De Decisão Multicritério e a Sistemas de Informações Geográficas passaram a ser um recurso para a estruturação, avaliação e priorização de alternativas viáveis. O tema tem sido aplicado nas mais diversas áreas e, devido a sua ampla gama de aplicações, vê-se a necessidade de mapear as atuais publicações, catalogando as áreas de atuação, métodos mais usados, países e áreas mais pesquisadas. Esse mapeamento, por meio da Revisão Sistemática de Literatura, identificou as áreas mais promissoras e de maior tendência, auxiliando estudos futuros. Das análises realizadas constatou-se o número de publicações a respeito do tema entre 1994 e 2018; os principais autores e artigos; periódicos e nacionalidade dos autores; as principais áreas de aplicação do tema, divididas em grupos, assim como seus principais subgrupos; softwares mais utilizados; e por fim, principais tendências para trabalhos futuros. Dentre as conclusões apresentadas, destaca-se: Os periódicos e autores que mais publicam tem como foco as áreas de Locais de Tratamento e Disposição de Resíduos, Centrais de Distribuição e Geração de Energia, Locais para agricultura, e Instalações Urbanas e de Infraestrutura; a tendência no aumento do número de publicações ocorre globalmente; a tendência do desenvolvimento do tema para os próximos anos será focada em atividades que tem impacto econômico, ecológico, ambiental e social, com aprimoramento e extensão dos modelos já existentes na literatura. A revisão bibliográfica culminou em uma proposta para a utilização integrada do GIS e do MCDA composta por 10 etapas, visando a simplificação e a padronização as metodologias existentes.

Palavras-Chaves: *systematic literature review; multi criteria decision analysis; geographical information system.*

ABSTRACT

Tools such as Multi-Criteria Decision Analysis and the Geographical Information System have become resource in structuring, evaluating and delivering viable alternatives with the increasing complexity of site selection problems. The theme has been applied in the most diverse areas and, due to its high versatility, it is necessary to map the current publications, catalog its areas of applications, most used methods, most researched countries, and subject areas. This mapping, through the Systematic Literature Review, identified the areas of greatest potential, helping future studies. The number of publications on the subject was verified between 1994 and 2018. From the analyses carried out, we defined the main authors and articles; main countries, journals, and nationality of authors; the main application groups of the themes, as well as their subgroups; most commonly used software; and finally, main trends for future work. Among the conclusions presented, the following stand out: The main journals and authors have the main focus in the areas of Waste Treatment and Disposal Sites, Energy Distribution and Generation Plants, Farming Sites, and Urban Facilities and Structures Sites; the tendency in the increase of the number of publications has a global scope; the trend of developing the theme for the next few years will be focused on activities that have economic, ecological, environmental and social impact, with improvement and extension of existing models in the literature. The literature review culminated in a proposal for the integrated use of GIS and the MCDA composed of 10 steps, aiming to simplify and standardize the existing methodologies.

Keywords: systematic literature review; multi criteria decision analysis; geographical information system.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Systematic Literature Review (SLR) Phases - Garza	21
Figura 2 – Exemplo de sistemas <i>raster</i> e <i>vector</i>	25
Figura 3 - Classificação dos métodos de decisão multicritério.	29
Figura 4 - Procedimento comum para análise MCDM.....	31
Figura 5 - Estrutura hierárquica do AHP.....	37
Figura 6 - Diferença estrutural entre AHP e ANP.....	41
Figura 7 – Estrutura do MAUT	48
Figura 8 - Artigos utilizados na revisão bibliográfica	59
Figura 9 – Número de publicações por ano	60
Figura 10 – Número de publicações por periódico.....	61
Figura 11 – Países e número de publicações por ano	61
Figura 12 – Periódicos e número de publicações por ano	62
Figura 13 – Países onde as pesquisas foram realizadas.....	62
Figura 14 – País de origem do autor principal	63
Figura 15 – Autores mais citados	63
Figura 16 – Citation Index.....	66
Figura 17 – Domínios de aplicação	67
Figura 18 – Domínios de aplicação – publicações por ano	67
Figura 19 – Subgrupos de Tratamento e Eliminação de Resíduos	68
Figura 20 – Aterro sanitário – publicações por ano.....	68
Figura 21 – Subgrupos de distribuição de energia	69
Figura 22 – Energia solar e eólica – publicações por ano	70
Figura 23 – Subgrupos de agricultura	70
Figura 24 – Principais subgrupos de agricultura – publicações por ano	71
Figura 25 – Tipo de <i>Software</i> GIS utilizado.....	72

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Técnicas MADM/MADA.	32
Quadro 2 - Técnicas MODM/MADA.	33
Quadro 3 – Palavras-chave e suas combinações	54
Quadro 4 – Artigos mais citados	64
Quadro 5 – Trabalhos futuros – possíveis questões de pesquisa.....	73
Quadro 6 – Trabalhos futuros – Melhoria de modelos existentes	74
Quadro 7 – Descrição das etapas propostas pelos artigos	76
Quadro 8 – Proposta de Implementação GIS e MCDA.....	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Pesquisa realizada na base científica SCOPUS.....	57
Tabela 2 - Pesquisa realizada na base científica Web of Science (Base de dados principal)...	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
ANP	<i>Analytic Network Process</i>
ARAS	<i>Additive Ration Assessment</i>
CBR	<i>Case Based Reasoning</i>
COPRAS	<i>Complex Proportional Assessment</i>
CP	<i>Compromise Programming</i>
CRM	Gerenciamento de Relacionamento com o Cliente
DEA	<i>Data Envelopment Analysis</i>
DEMATEL	<i>Decision-Making trial and Evaluation Laboratory</i>
DSS	<i>Decision Support System</i>
ELECTRE	<i>Elimination et Choix Traduisant la Réalité (Elimination and Choice Expressing REality)</i>
EVAMIX	<i>Evaluation of Mixed Data</i>
FAHP	<i>Fuzzy Analytical Hierarchy Process</i>
FMCD A	<i>Fuzzy Multi Criteria Decision Analysis</i>
FMCD M	<i>Fuzzy Multicriteria Decision Making</i>
GA	<i>Genetic Algorithm</i>
GIS	Sistemas de Informações Geográficas
LINMAP	<i>Linear Programming Technique for Multidimensional Analysis and Preference</i>
MADM	Métodos de tomada de decisão com multi-atributo
MAUT	<i>Multi-Attribute Utility Theory</i>
MAVT	<i>Multi-Attribute Value Theory</i>
MCDA	<i>Multi Criteria Decision-Aid</i>
MODM	Métodos de tomada de decisão multi-objetivo
MOORA	<i>Multi-Objective Optimization on the basis of Ration Analysis</i>
MULTIMOORA	<i>Multiplicative form with Multi-Objective Optimization on the basis of Ration Analysis</i>
NAIADE	<i>Novel Approach to Imprecise Assessment and Decision Environments</i>
OEM	<i>Original Equipment Manufacturer</i>
PROMETHEE	<i>The Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations</i>

REMBRANDT	<i>Ratio Estimation in Magnitudes or Decibels to Rate Alternatives which are Non-Dominated</i>
RUSLE	<i>Revised Universal Soil Loss Equation</i>
SA	Análise de Sensibilidade
SAW	<i>Simple Additive Weighting</i>
SCM	Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SMART	<i>Simple Multi-Attribute Rating Technique</i>
SWARA	<i>Step-wise Weight Assessment Ration Analysis</i>
SYMAP	Synergistic Mapping
TOPSIS	<i>Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution</i>
USLE	<i>Universal Soil Loss Equation</i>
VIKOR	<i>Visekriterijumska optimizacija i Kompromisno Resenje(Multicriteria Optimization and Compromise Solution)</i>
WASPAS	<i>Weighted Aggregated Sum Product Assessment</i>
WPM	<i>Weighted Product Method</i>
WSM	<i>Weighted Sum Method</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.1 CONTEXTO DA PESQUISA	17
1.2 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO	19
1.3 OBJETIVOS	20
1.3.1 Objetivo geral	20
1.3.2 Objetivos específicos	20
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	20
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	22
2.1 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEORREFERENCIADAS (SIG)	22
2.1.1 Definições Gerais	22
2.1.2 História e desenvolvimento	24
2.1.3 Aplicações e Softwares.....	25
2.1.4 Limitações	27
2.2 MÉTODOS DE TOMADA DE DECISÃO MULTICRITÉRIO - MCDA	27
2.3 PRINCIPAIS TÉCNICAS MADM/MADA	31
2.3.1 Ponderação aditiva simples (SAW).....	33
2.3.2 Avaliação da relação aditiva (ARAS)	34
2.3.3 Análise passo a passo da relação de avaliação de peso (SWARA).....	34
2.3.4 Técnica para ordem de preferência por semelhança com a solução ideal (TOPSIS)	35
2.3.5 Eliminação e escolha que expressam a realidade (ELECTRE).....	35
2.3.6 Técnica de programação linear para análise multidimensional e preferência (LINMAP)	36
2.3.7 Analytic Hierarchy Process (AHP)	36
2.3.8 Analytic Network Process (ANP)	40
2.3.9 Método de organização de classificação de preferências para enriquecimento de avaliações (PROMETHEE).....	42
2.3.10 Otimização multi-objetivo com base na análise Ration (MOORA).....	43
2.3.11 Formulário multiplicativo com otimização multi-objetivo com base na análise Ration (MULTIMOORA)	43
2.3.12 Data Envelopment Analysis (DEA)	43
2.3.13 Solução de otimização e compromisso multicritério (VIKOR)	44

2.3.14	Avaliação Proporcional Complexa (COPRaS).....	44
2.3.15	Avaliação de dados mistos (EVAMIX).....	45
2.3.16	Laboratório de avaliação e julgamento (DEMATEL).....	45
2.3.17	Avaliação de produto de soma agregada ponderada (WASPAS).....	46
2.3.18	Método da soma ponderada (WSM).....	46
2.3.19	Método do Produto Ponderado (WPM).....	46
2.3.20	Compromise Programming (CP).....	47
2.3.21	Teoria do utilitário de atributos múltiplos (MAUT).....	48
2.3.22	Raciocínio baseado em Casos (CBR).....	48
2.3.23	Algoritmo genético (GA).....	49
2.3.24	Técnica simples de classificação de múltiplos atributos (SMART).....	50
2.3.25	Teoria do valor de atributos múltiplos (MAVT)	50
2.3.26	Ratio Estimation in Magnitudes or Decibels to Rate Alternatives which are Non-Dominated (REMBRANDT)	50
2.3.27	Nova abordagem para avaliação imprecisa e ambientes de decisão (NAIADE)	51
2.3.28	Conclusão sobre as técnicas MADM/MADA	51
2.4	GIS MCDA	52
2.4.1	Definição do GIS MCDA	52
2.4.2	Exemplos de aplicação	53
3.	DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA.....	54
3.1	METODOLOGIA DE PESQUISA	54
4.	REVISÃO SISTEMÁTICA: RESULTADOS E ANÁLISES Erro! Indicador não definido.	
4.1	COLETA DOS DADOS BIBLIOGRÁFICOS	58
4.2	ANÁLISE DAS PUBLICAÇÕES	59
4.2.1	Principais <i>Periódicos</i> e tendência de publicações	59
4.2.2	Principais autores, países e artigos	62
4.2.3	Citation Index	65
4.2.4	Grupos e subgrupos de aplicação do GIS/MCDA.....	66
4.2.5	Principais softwares GIS/MCDA	71
4.2.6	Propostas para continuidade das pesquisas relatadas na bibliografia analisada.	73
4.3	PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO INTEGRADA GIS E MCDA.....	74
5.	CONCLUSÃO.....	79
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO DA PESQUISA

Os problemas de seleção de locais físicos para instalações normalmente envolvem muitas alternativas viáveis e critérios de avaliação múltiplos. Por exemplo, no contexto da procura de um terreno, consideram-se características como tamanho, formato, contiguidade e compacidade (MALCZEWSKI, 2006a). Os problemas de seleção de locais também podem envolver alternativas conflitantes, tal como, a implementação de uma solução que visa minimizar os impactos de enchentes em uma região, podendo impactar positivamente em um local e simultaneamente implicar em consequências negativas em outro. Essas alternativas são avaliadas por um conjunto de indivíduos, como tomadores de decisão, gerentes, e grupos de interesse (MALCZEWSKI, 2006a).

A tomada de decisões com múltiplos critérios é utilizada para simplificação e para a obtenção de uma determinação clara, além de permitir equilibrar de forma prática, uma variedade de critérios, conflitantes ou não (CHAI; LIU; NGAI, 2013; SARKIS; TALLURI, 2002). Segundo *Vahidnia et al.*, (2009) a MCDA (sigla em inglês para *Multi Criteria Decision-Aid*) trata-se de uma ferramenta apropriada para avaliar as alternativas e suas variadas técnicas foram usadas para resolver inúmeros problemas de seleção de locais encontrados na literatura, sendo abordado em artigos relevantes, tais como os de Bosompem; Stemn; Fei-Baffoe, (2016), Hariz; Dönmez; Sennaroglu, (2017) e Rahmat *et al.*, (2017), entre outros. Complementarmente, o MCDA pode ser estendido para o *Fuzzy Multi Criteria Decision Analysis* (FMCDA) em que a palavra Fuzzy adicionada, indica que os dados para a tomada de decisão são vagos ou incompletos (CHANG; PARVATHINATHAN; BREEDEN, 2008; KAHRAMAN; ONAR; OZTAYSI, 2015).

O SIG, desde o início do século, tem sido usado como um sistema para gerenciamento, manipulação, representação e análise de dados geoespaciais com o intuito de facilitar e reduzir custos no processo de seleção de locais, portanto o SIG busca auxiliar a localização que satisfaça vários critérios predefinidos (HEALEY; ILBERY, 1990). O processo de seleção do local normalmente envolve duas fases principais: triagem (identifica um número limitado de locais candidatos) e avaliação (exame aprofundado de alternativas) (CHANG; PARVATHINATHAN; BREEDEN, 2008).

A utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) é comum para planejamento, gerenciamento e seleção de locais devido ao seu caráter interdisciplinar e integrador. Tais abordagens têm sido amplamente utilizadas para diversas aplicações, incluindo: planejamento

regional e urbano (DAI; LEE; ZHANG, 2001; XIE, Y; YE, 2007; XIE *et al.*, 2007), localização de instalações de disposição de resíduos nucleares (EVANS; KINGSTON; CARVER, 2004), gestão de recursos hídricos (JANKOWSKI, PIOTR *et al.*, 2006; MAKROPOULOS *et al.*, 2007), desenvolvimento de habitat (JANKOWSKI, PIOTR, 2000), alocação de recursos de cuidados de saúde (JANKOWSKI, P.; EWART, 1996), análise de adequação da terra (BOROUSHAKI; MALCZEWSKI, 2010; JIANG; EASTMAN, 2000; MALCZEWSKI, 2006b) e riscos naturais (GORSEVSKI; JANKOWSKI, 2010; GORSEVSKI; JANKOWSKI; GESSLER, 2006).

Considerando que o MCDA possui várias técnicas e procedimentos para estruturar problemas, projetar, avaliar e priorizar decisões alternativas (MALCZEWSKI, JACEK, 2006b) e que o sistema de informação geográfica (SIG) é um sistema de gerenciamento de banco de dados digital projetado para grandes volumes de dados espacialmente distribuídos e provenientes de diversas fontes (WANG, GUIQIN *et al.*, 2009). A análise de decisão multicritério baseada em GIS (GIS-MCDA) são áreas que podem se beneficiar uma da outra (AZEVEDO; CANDEIAS; TIBA, 2017; MALCZEWSKI, J, 1999).

A combinação do GIS-MCDA transforma dados geográficos e as preferências das partes interessadas em alternativas que auxiliam a tomada de decisão (MALCZEWSKI, 2006a). Essas ferramentas podem facilitar a seleção de locais nos casos em que os tomadores de decisão não possuem informações confiáveis sobre especificações, alternativas e resultados (CHANG; PARVATHINATHAN; BREEDEN, 2008; WITLOX, 2005; ZUCCA; SHARIFI; FABBRI, 2008). Exemplos práticos ocorrem em casos em que existe alta complexidade dos sistemas socioeconômicos e biofísicos envolvidos na tomada de decisão, como a seleção de aterros sanitários em áreas urbanas (CHANG; PARVATHINATHAN; BREEDEN, 2008); localização de hospitais (VAHIDNIA; ALESHEIKH; ALIMOHAMMADI, 2009); e instalações de geração de energias renováveis (WANG, JIANG-JIANG *et al.*, 2009).

Os métodos MCDA baseados em GIS estão principalmente preocupados em combinar as informações de vários critérios para formar um único índice de avaliação, a partir do qual a escolha final será feita (JIANG; EASTMAN, 2000). Este método combina dados geográficos, critérios de mapas, juízos de valor e preferências de tomadores de decisão, para fornecer diferentes visões dos elementos de um problema de decisão complexo e organizá-los em uma estrutura hierárquica, bem como estudar as relações entre os componentes do sistema (MALCZEWSKI, 2006a). Esses procedimentos incluem dividir os problemas de decisão em partes menores e mais compreensíveis, analisando e integrando cada parte de maneira lógica para uma solução significativa (MALCZEWSKI, J., 1999b; MALCZEWSKI, 2006a). Vários

critérios precisam ser avaliados para identificar um local adequado para um objetivo específico. Os critérios que podem ser medidos e avaliados são a base para uma decisão (CARVER, 1991). O GIS/MCDA na seleção de locais tem o intuito de facilitar e reduzir custos no processo de seleção de locais (HEALEY; ILBERY, 1990). As pesquisas científicas de 1994 a 2018 demonstram a importância do tema, sendo as principais áreas estudadas segundo lista adaptada e ampliada de Malczewski (MALCZEWSKI, 2006a):

- Tratamento e eliminação de resíduos;
- Estruturas Militares;
- Instalações de transporte e logística;
- Estruturas de Captação de Água;
- Reservatórios de Água;
- Instalações de Pesquisa;
- Localização de regiões industriais;
- Aquífero de armazenamento e recuperação;
- Instalações de saúde;
- Agricultura;
- Instalações urbanas e de infraestrutura;
- Centrais de distribuição e geração de energia.

1.2 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

Até o fim da captação dados, período de 1994 a 2018, vários artigos trabalharam sobre o tema GIS/MCDA, com destaque para a análise bibliométrica como o *GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature* (MALCZEWSKI, 2006b), que revisou a literatura e indicou tendências e taxonomia para o tema, pesquisando artigos de 1990 a 2004. Outra pesquisa de relevante é a *Multi-criteria decision analysis (MCDA) in health care: A bibliometric analysis* (DIABY et al., 2013), que é composta por uma revisão bibliométrica com foco na área da saúde. Esta dissertação, por sua vez, busca atualizar os dados para 2018, em uma revisão sistemática da literatura, classificando os artigos, e respondendo as seguintes questões de pesquisa:

- Quais os principais *Periódicos* e a quantidade de artigos publicados por ano?
- Quais os autores, países e artigos que mais contribuem para o desenvolvimento do tema?
- Quais são os problemas de localização, classificados em grupos e subgrupos, que mais utilizam as ferramentas MCDA/SIG?

- Qual o método para tomada de decisão mais utilizado?
- Quais os principais softwares utilizados?
- Quais as principais propostas para continuidade das pesquisas relatadas na bibliografia analisada?
- Qual a proposta de utilização integrada do GIS com o MCDA?

1.3 OBJETIVOS

De acordo com a contextualização apresentada anteriormente, este trabalho foi desenvolvido com o propósito de atingir os objetivos apresentados nesse capítulo.

1.3.1 Objetivo geral

Identificar como os métodos MCDA estão sendo utilizados em conjunto com o GIS, e propor um modelo de aplicação combinada de GIS e MCDA, por meio de uma revisão sistemática.

1.3.2 Objetivos específicos

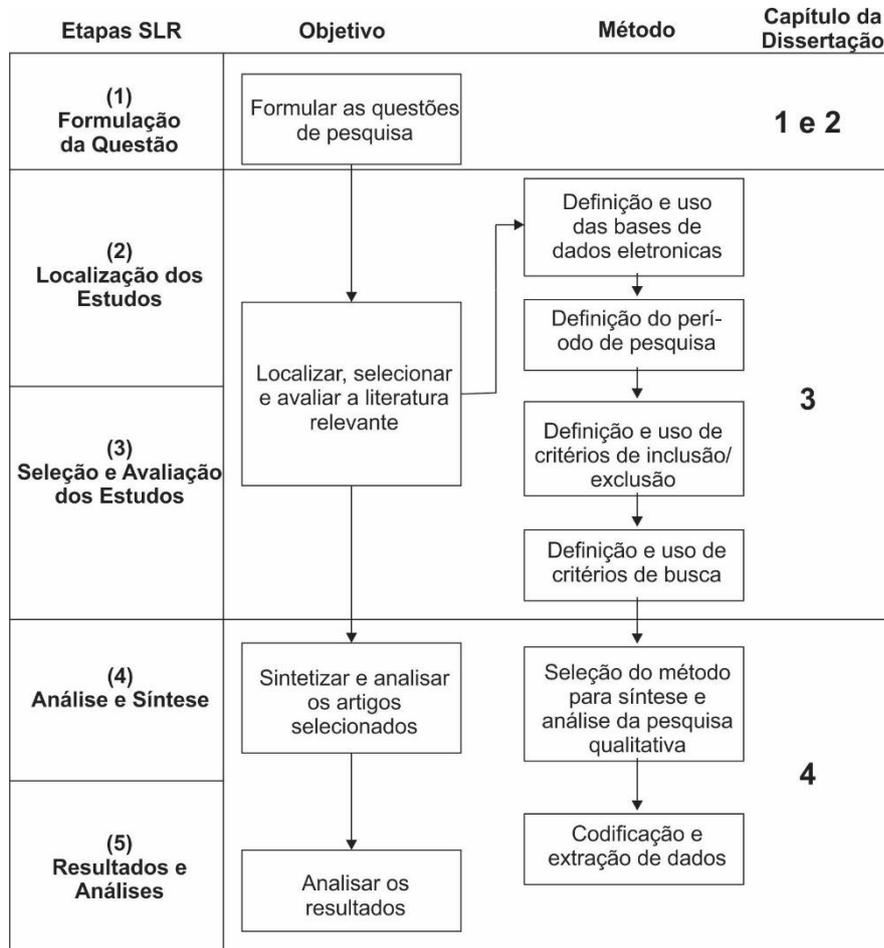
- Identificar o volume de artigos publicados, sua evolução anual e principais revistas;
- Identificar os autores, países e artigos que mais contribuem para o desenvolvimento do tema;
- Classificar em grupos e subgrupos os problemas que utilizam as ferramentas MCDA-SIG;
- Identificar e analisar o principal método para tomada de decisão;
- Identificar e analisar os principais softwares utilizados pelos autores;
- Identificar na literatura consultada as principais tendências para pesquisa;
- Identificar uma proposta de utilização do SIG e MCDA.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho relata uma análise bibliométrica e uma revisão sistemática sobre as abordagens MCDA baseadas em SIG no período de 1994 a 2018. A pesquisa é composta pelas metodologias de revisão sistemática da literatura e análise bibliométrica. c A primeira parte do trabalho é composta por uma análise bibliométrica, que busca identificar tendências para publicações futuras na área. Já a segunda etapa utiliza uma abordagem qualitativa, já que é composta por uma revisão sistemática da literatura na qual os autores realizaram as análises dos artigos coletados buscando conceitos, princípios, relações e significados. A combinação desses métodos tem se provado uma estratégia para eliminar tendências e melhorar a qualidade dos

resultados (ADUNLIN; DIABY; XIAO, 2014). A estrutura metodológica, Figura 1, é baseada nas estruturas propostas por Jahangirian *et al.*, (2010), Diaby, Campbell, & Goeree, (2013b) e Garza-Reyes, (2015).

Figura 1 - Systematic Literature Review (SLR) Phases - Garza



Fonte: Adaptado de (GARZA-REYES, 2015)

Na presente pesquisa a etapa (1) foi reportada nos Capítulos 1 e 2 – Introdução e Fundamentação Teórica, as etapas (2), (3) no Capítulo 3 – Desenvolvimento da Pesquisa, (4), (5) no Capítulo 4 – Revisão Sistemática: Resultados e Análises.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Conforme mencionado de forma breve no Capítulo 1, este capítulo tem o propósito de apresentar os conceitos necessários para o embasamento teórico deste trabalho.

2.1 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEORREFERENCIADAS (SIG)

A manipulação de dados espaciais geralmente envolve processos de aquisição, armazenamento e manutenção, análise e saída de dados. Por muitos anos, essa manipulação foi realizada utilizando fontes de dados analógicas, processamento manual e a produção de mapas em papel. A introdução de tecnologias modernas levou a um aumento do uso de computadores e de informações digitais em todos os aspectos do manuseio de dados espaciais. A tecnologia de software usada neste domínio é de sistemas de informação geográfica (SIG) (ROLF, 2001), ou *Geographic Informations Systems* (GIS) em inglês. Neste trabalho as siglas SIG e GIS são consideradas sinônimos.

Rolf, (2001) explica em seu livro que projetos típicos de planejamento requerem fontes de dados, tanto espaciais quanto não-espaciais, de diferentes institutos, como agência de mapeamento, levantamento geológico, levantamento de solos, levantamento florestal ou o serviço de recenseamento. Essas fontes de dados podem ter registros de data e hora diferentes, e os dados espaciais podem estar em diferentes escalas e projeções. Com a ajuda de um SIG, os mapas podem ser armazenados em formato digital em um banco de dados em coordenadas mundiais (metros ou pés). Isso torna as transformações de escala desnecessárias e a conversão entre projeções de mapa pode ser feita facilmente com o software. As funções de análise espacial do GIS são então aplicadas para executar as tarefas de planejamento. Isso pode acelerar o processo e permite modificações fáceis na abordagem de análise.

O SIG é uma opção de auxílio aos tomadores de decisão, permitindo a execução de análises em dados dispersos, observar tendências e usar essas tendências para planejar estratégias futuras. Auxilia na identificação, na localização adequada das instalações e na busca pelas melhores rotas, se usada em conjunto com técnicas de otimização. O modelo SIG utiliza dados espaciais, integra as preferências dos tomadores de decisão e desenvolve um valor para cada alternativa, assim a melhor opção pode ser escolhida (SUMATHI; NATESAN; SARKAR, 2008).

2.1.1 Definições Gerais

O SIG é um sistema de gerenciamento de banco de dados digital projetado para gerenciar grandes volumes de dados distribuídos espacialmente a partir de uma variedade de fontes. É ideal para estudos preliminares de seleção de locais porque armazena, recupera, analisa e exibe

informações de maneira eficiente e de acordo com as especificações definidas pelo usuário (SIDDIQUI; EVERETT; VIEUX, 1996). Complementarmente, permite que dados geográficos sejam organizados, integrados a outros dados e analisados resultando na criação de informações úteis para a tomada de decisões. Uma das características fundamentais de um SIG são as camadas de dados que representam diferentes características em uma determinada área. Ele permite a criação de critérios específicos para cada camada e as sobrepõe para que a área ideal, que satisfaça todos os critérios, possa ser gerada. Portanto, é amplamente utilizado em problemas de seleção de locais para diferentes propósitos (ROLF, 2001).

Mapas podem ser usados como input para um GIS. Eles podem ser usados para comunicar os resultados das operações, e ao mesmo tempo são ferramentas que fazem com que o GIS execute e suporte operações de análise espacial. Tão logo uma pergunta contenha uma frase como “onde?”, um mapa pode ser a ferramenta mais adequada para resolver a questão e fornecer a resposta (ROLF, 2001). Nesse contexto, o processo de visualização cartográfica é considerado a tradução ou conversão de dados espaciais de um banco de dados em gráficos. Estes são predominantemente produtos semelhantes a mapas. Durante o processo de visualização, métodos e técnicas cartográficas são aplicadas. Para permitir a tradução de dados espaciais em gráficos, assume-se que os dados estão disponíveis e que o banco de dados espacial é bem estruturado (ROLF, 2001).

Corroborando a definição, o sistema de informações geográficas (SIG) é utilizado no gerenciamento de banco de dados digital usado para armazenar, processar, gerenciar, analisar espacialmente, consultar e apresentar grandes volumes de dados coletados de uma variedade de fontes. Devido a esses recursos, as ferramentas de SIG são frequentemente usadas em estudos de seleção de locais (HADIPOUR; VAFAIE; HADIPOUR, 2015). Suas aplicações contemplam, principalmente, as áreas como gestão urbana, planejamento de transportes, gestão ambiental, telecomunicações, planejamento de serviços, defesa nacional, gerenciamento de rede ou marketing (ROLF, 2001).

A utilização do SIG, normalmente, é para o desenho das alternativas - mapas que representam a distribuição espacial das principais características do terreno (distância da rede rodoviária, médias de distâncias, preço por metro quadrado, distribuição da força de trabalho, atividades de criação de animais entre outras (NEJI; TURKI, 2015).

Ainda segundo Neji e Turki, (2015), outra aplicação do SIG é o cálculo dos valores dos diferentes critérios para cada alternativa, pois muitos critérios são baseados em dados alfanuméricos e espaciais, sendo o cálculo é baseado em consultas espaciais realizadas por meio

do SIG, que ainda pode ser ligado a técnicas, procedimentos e algoritmos para facilitar a delimitação de alternativas.

2.1.2 História e desenvolvimento

Em meados da década de 1960, se desenvolveram as aplicações em SIG e técnicas para selecionar, classificar e mapear locais que são adequados ou não à um propósito específico (DAVIS, 1996), como o ramo de inventário de terras do governo canadense e o Harvard Lab para computação gráfica e análise espacial que criaram um SIG para o desenvolvimento dos planos de gestão de terras (MALCZEWSKI, 2004).

Na década de 1970, a tecnologia GIS possibilitou a capacidade de automatizar e analisar uma variedade de dados espaciais. Ela também evoluiu para uma área madura de pesquisa e aplicação de vários campos, como geografia, engenharia civil, ciência da computação, planejamento do uso da terra e ciência ambiental (CHURCH, 2002).

Embora algumas das principais desenvolvedoras de softwares GIS tenham sido estabelecidas no final da década de 1960, não foi até a década de 1980 que a maioria dos sistemas GIS foram desenvolvidos. À medida que o poder de computação aumentava e os preços de hardware despencavam na década de 1980, o GIS tornou-se uma tecnologia viável para os o governo e as instituições de pesquisa (MALCZEWSKI, 2004).

O conceito de sistemas de apoio à decisão evoluiu na década de 1990 de um sistema estático focado na combinação de conhecimento objetivo e subjetivo em um sistema inteligente. Ao contrário do *Decision Support System* (DSS) convencional, o sistema inteligente é caracterizado pela capacidade de lidar com situações novas e novos problemas, para aplicar o conhecimento adquirido da experiência e para usar o poder do raciocínio de forma eficaz como um guia para o comportamento (KLOSTERMAN, 1997).

A variedade de estruturas de dados utilizadas em diferentes SIG e o seu uso crescente são acompanhadas por intensos esforços de padronização dessas estruturas, para assim, facilitar o intercâmbio de dados espaciais. Especialmente em tarefas de planejamento, gerenciamento e tomada de decisão, a integração de dados de diferentes fontes é um requisito central, que é atendido apenas parcialmente pelo atual estado da arte do GIS (MALCZEWSKI, 2004).

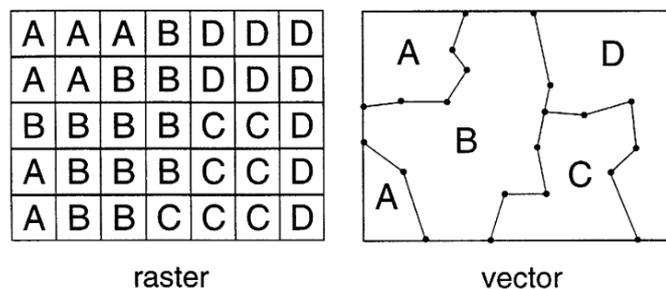
Assim, através da padronização, o desenvolvimento dos softwares e pesquisas científicas, o GIS e suas aplicações tem continuado a evoluir nos últimos anos.

2.1.3 Aplicações e Softwares

Essas técnicas e procedimentos SIG são muito importantes na busca por soluções de problemas de decisão de seleção de locais, especialmente na fase de triagem do local dada pelo o georreferenciamento e análise de alternativas viáveis. O papel do SIG é produzir critérios, restrições e mapas de adequação de acordo com os resultados da análise de decisão e dos julgamentos dos tomadores de decisão (RIKALOVIC; COSIC; LAZAREVIC, 2014).

Church, (2002) explica que existem dois tipos fundamentalmente diferentes de softwares GIS. Eles diferem em termos do modelo de dados, ou seja, os meios para armazenar os dados geográficos. Como o mundo real é muito complexo, para armazenar todas as suas informações com precisão seria necessário um banco de dados infinitamente grande. Os dados, portanto, devem ser generalizados ou abstraídos para reduzi-los a alguma quantidade gerenciável, sendo representados como um conjunto finito de objetos. Os dois principais modelos de dados são *raster* e *vetor*. O modelo *raster* divide a área de estudo em uma grade regular de células, cada célula contém um único valor. Um conjunto de células e valores são associados a uma camada. O banco de dados armazena essas camadas, como a cobertura da terra, elevação, e tipo de solo. Já o modelo de dados vetoriais usa segmentos de linha discretos (ou vetores) e pontos para representar localizações. O modelo de dados vetoriais pode representar pontos, linhas e áreas. As áreas no modelo de dados vetoriais são definidas por uma sequência de vetores, em que o vetor inicial começa no mesmo ponto em que o último vetor da sequência termina, encerrando assim um área. Cada área no modelo *raster* possui tamanho e forma iguais, enquanto o modelo de dados vetoriais pode representar áreas de tamanhos e formas variados. O uso de um sistema específico pode depender da necessidade pretendida, da forma que os dados são coletados e do custo.

Figura 2 – Exemplo de sistemas *raster* e *vector*.



Fonte: (CHURCH, 2002).

Church, (2002) segue a sua explicação afirmando que o uso de uma estrutura de dados ao invés de outra baseia-se em vários fatores: a forma pela qual os dados são coletados ou comprados; o tipo de análise e modelos para os quais os dados podem ser aplicados; o custo do sistema GIS; o tipo de equipamento que pode ser necessário para suportar o software; e o tipo de pessoal necessário para gerenciar o sistema. Os sistemas de varredura tendem a custar menos e serem projetados para lidar com problemas ambientais. Além disso, alguns modelos, como os "*re-spread models*", são projetados para operar em conjunto com um sistema *raster*. Infelizmente, esses sistemas não podem representar redes de ruas com precisão. Os sistemas de vetores são capazes de representar com precisão redes de ruas, linhas de propriedades e padrões de uso da terra, bem como dados ambientais.

O papel do GIS na análise de adequação do uso da terra evoluiu junto com as perspectivas em mudança do planejamento, desde as abordagens científicas até as abordagens com foco em design coletivo. Uma das conclusões de Malczewski (2004), é que a natureza mutável do planejamento tem sido associada ao aumento do envolvimento de não especialistas (públicos, grupos de interesse, comunidades, partes interessadas, organizações não-governamentais, etc.) nos processos de planejamento e tomada de decisões.

A evolução do planejamento tem sido acompanhada pela crescente acessibilidade da tecnologia GIS. Os sistemas GIS evoluíram de uma tecnologia orientada a especialistas para uma tecnologia orientada para usuários comuns. Essa tendência tem democratizado o uso do SIG no processo de planejamento com a participação pública (MALCZEWSKI, 2004)

Existe uma enorme gama de softwares rotulados como GIS e disponíveis para quase todas as plataformas de computadores. Adicionalmente, os softwares GIS podem ser executados em uma grande variedade de sistemas. Por exemplo ArcGIS é um dos softwares mais comuns e possui a capacidade de realizar a maioria das operações básicas e avançadas (MALCZEWSKI, 2006a), apesar de ter como público alvo especialistas da área. Rolf, (2001) ressalta que como em qualquer outra disciplina, o uso de ferramentas para resolver problemas é uma coisa, produzir essas ferramentas é algo diferente. Nem todas as ferramentas são igualmente adequadas para uma aplicação específica, no entanto, elas podem ser aprimoradas e aperfeiçoadas para melhor atender as necessidades ou aplicações requisitadas. A disciplina que fornece a base para a produção das ferramentas no manuseio de dados espaciais é a teoria da informação espacial.

Os sistemas GIS atualmente são muito mais complexos que os do Harvard Laboratory (por exemplo, SYMAP). No entanto, apesar da sua maior complexidade são mais intuitivos. Em

suma, à medida que os sistemas GIS se tornaram gradualmente mais complexos, eles também se tornaram mais fáceis de usar e mais acessíveis ao público (MALCZEWSKI, 2004).

2.1.4 Limitações

Uma vez que um banco de dados SIG é desenvolvido, ele pode fornecer um meio eficiente e econômico de analisar os atributos potenciais do local. No entanto, os SIGs podem ser limitados pela falta de dados disponíveis ou precisos (atualizados), sendo esse um dos principais problemas (TSENG *et al.*, 2001). Além disso, a análise do site resultante é sensível à importância dada às camadas individuais do mapa (SIDDIQUI; EVERETT; VIEUX, 1996). Outras limitações incluem: adequar os modelos para trabalharem com a velocidade de processamento dos computadores disponíveis; participação popular, já que os gerentes nem sempre tem o conhecimento das ferramentas necessárias para acessar grupos amplos de participantes, fazendo com que as decisões sejam tomadas por pequenas equipes de especialistas (KAHILA-TANI; KYTTA; GEERTMAN, 2019); tanto o software quanto os dados podem ser gratuitos ou ter alto custo, assim, dependendo da aplicação, é necessário que sejam investidos altos valores que podem ultrapassar os \$15,000 (MALCZEWSKI, 2004); assim com o aumento no preço dos softwares, vários como o ArcGIS, GIS+, GeoMedia Pro, possuem como público alvo especialistas em GIS, limitando o seu uso entre usuários comuns (MALCZEWSKI, 2004).

2.2 MÉTODOS DE TOMADA DE DECISÃO MULTICRITÉRIO - MCDA

Ouma, Kipkorir, & Tateishi, (2011) explicam que os tomadores de decisão consideram as alternativas existentes que possuem atributos e características diferentes, e a tarefa final é escolher o melhor entre elas. A escolha entre as alternativas é feita considerando o impacto dessas alternativas na qualidade do resultado final, juntamente com as deficiências de todas as alternativas. Portanto, os efeitos de alternativas sobre diferentes questões, como ambientais, financeiras, e considerações de custo-benefício, sociais e problemas técnicos, levam à consideração de vários critérios que desempenham papéis importantes na finalização do projeto. No entanto, os critérios demonstram as características e questões importantes sobre as quais o objetivo final é avaliado (OUMA; KIPKORIR; TATEISHI, 2011). O principal desafio é como avaliar um conjunto de alternativas dentro dos múltiplos critérios (TRANTAPHYLLOU, 2010).

A tomada de decisão efetiva deve abordar e equilibrar uma ampla variedade de considerações como, dados científicos, considerações éticas e políticas e interesses das partes interessadas.

Uma metodologia que é capaz de sintetizar essas considerações heterogêneas é a análise de decisão multicritério, MCDA (CEGAN *et al.*, 2017). Desde a década de 1960, dezenas de técnicas do MCDA foram desenvolvidas (MENDOZA; MARTINS, 2006).

O MCDA está preocupado com a teoria e a metodologia que podem tratar problemas complexos encontrados nos negócios, na engenharia e em outras áreas da atividade humana. Essa complexidade é caracterizada por critérios ou objetivos incomensuráveis e conflitantes, como eficiência, desempenho, custo, confiabilidade, risco, produtividade, acessibilidade, entre outros (ACHILLAS *et al.*, 2013).

A tomada de decisão via MCDA leva em consideração múltiplos critérios e são uma solução alternativa na formação e desenvolvimento de decisões e estratégias. Esses métodos são usados para filtrar soluções alternativas e apontar a melhor matriz de soluções possíveis. Questões sociais, ambientais, políticas e outras que não têm valor monetário podem ser levadas em consideração; esses métodos podem determinar soluções em problemas complexos (RAMANATHAN, 1999).

Segundo (Theodorou, Florides e Tassou, 2010) desde o seu início o MCDA evoluiu tanto em métodos complexos como simples, porém todos eles tem as seguintes características:

- Soluções podem ser avaliadas e classificadas de acordo com a preferência;
- Critérios baseados na natureza do problema;
- Matriz de valores específicos para cada critério;
- Pesos para cada critério;
- Avaliação de cada solução alternativa em relação a outras alternativas.

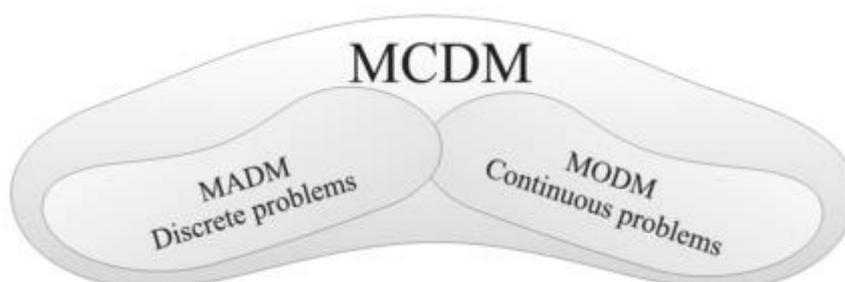
Os métodos do MCDA oferecem uma compreensão muito ampla dos problemas. Os tomadores de decisão que estão familiarizados com o problema ficam mais envolvidos, tomam decisões menos comprometedoras e mais coerentes que são mais fáceis de serem alcançadas e o problema é analisado de forma estruturada e realista (THEODOROU; FLORIDES; TASSOU, 2010).

Problemas envolvendo MCDA geralmente possuem 5 componentes: objetivo, preferencias do decisor, alternativas, critérios e resultados, respectivamente (WANG *et al.*, 2009). Com base no número de alternativas em consideração, as diferenças podem ser satisfeitas entre métodos de tomada de decisão com multi-atributo (MADM) e métodos de tomada de decisão multi-objetivo (MODM), porém, ambos compartilham características semelhantes. O MODM é adequado para avaliação de alternativas contínuas para as quais predefinimos restrições na forma de vetores de variáveis de decisão, um conjunto de funções objetivo é otimizado considerando as

restrições, ao mesmo tempo em que diminui o desempenho de um ou mais objetivos (KUMAR *et al.*, 2017). No MADM, as características inerentes são cobertas levando em consideração um número menor de alternativas e, assim, a avaliação torna-se difícil, pois a priorização se torna mais difícil. O resultado final é decidido pela comparação de várias alternativas em relação a cada atributo considerado (HAYASHI, 2000; WANG, *et al.*, 2009).

Em relação ao número de tomadores de decisão, as metodologias podem ser classificadas como métodos de um único indivíduo ou de um grupo de tomadores de decisão (GAL; STEWART; HANNE, 2013). Independentemente do número de tomadores de decisão a principal diferença entre MODM e MADM está no fato de no MADM, um pequeno número de alternativas é avaliado em relação a um número de parâmetros, e as alternativas são comparadas umas com as outras para formar a melhor solução. Enquanto isso, no MODM as alternativas não são predefinidas, mas uma matriz de objetos que melhor forma uma solução é usada. (THEODOROU; FLORIDES; TASSOU, 2010). Tal abordagem pode ser visualizada conforme Figura 3.

Figura 3 - Classificação dos métodos de decisão multicritério.



Fonte: (THEODOROU; FLORIDES; TASSOU, 2010)

Cada problema tem múltiplos objetivos/critérios geralmente conflitantes. Cada objetivo/critério tem uma unidade de medida diferente. O MCDA pode ser entendido como um processo de avaliação de situações do mundo real baseadas em vários critérios qualitativos e quantitativos em determinados ambientes para encontrar um curso de ação, escolha, estratégia, política adequada entre várias opções disponíveis (THEODOROU; FLORIDES; TASSOU, 2010).

Segundo Hajkowicz e Collins (2007), geralmente as técnicas de MCDA podem ser classificadas como:

1. Multi-Attribute Value Theory: métodos usados para definir uma expressão para as preferências do tomador de decisão, por meio do uso de funções de utilidade / valor. Com base nisso, todos os critérios são transformados em uma escala sem dimensão comum (I. LINKOV *et al.*, 2004). Os métodos populares incluem o *Multi-Attribute Utility Theory* (MAUT) e o *Multi-*

Attribute Value Theory (MAVT), que têm uma natureza compensatória. Isto implica que o fraco desempenho de um critério, pode ser compensado pelo melhor desempenho de outro. Embora MAUT e MAVT tenham bases teóricas bem estabelecidas, a escolha de preferências pode ser cognitivamente desafiadora e demorada (SCHUWIRTH; REICHERT; LIENERT, 2012).

2. *Pairwise comparisons*: abordagem envolve a comparação de pares de critérios, avaliando quão mais importante é um critério em relação a outro, de acordo com uma escala predefinida. Comparações de pares são particularmente úteis quando não é possível definir funções de utilidade; caso contrário, MAUT é recomendado (ISHIZAKA; NEMERY, 2013). As técnicas comuns incluem o AHP (Analytical Hierarchy Process), ANP (Analytical Network Process) e MAC-BETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique). Devido à sua simplicidade e flexibilidade, o AHP é a ferramenta MCDM mais aplicada. No entanto, o AHP tem uma limitação ao lidar com a interdependência entre os critérios, uma vez que assume que eles são independentes (LI, F.; LI, Y., 2011). Além disso, apenas um número limitado de alternativas pode ser considerado ao mesmo tempo.

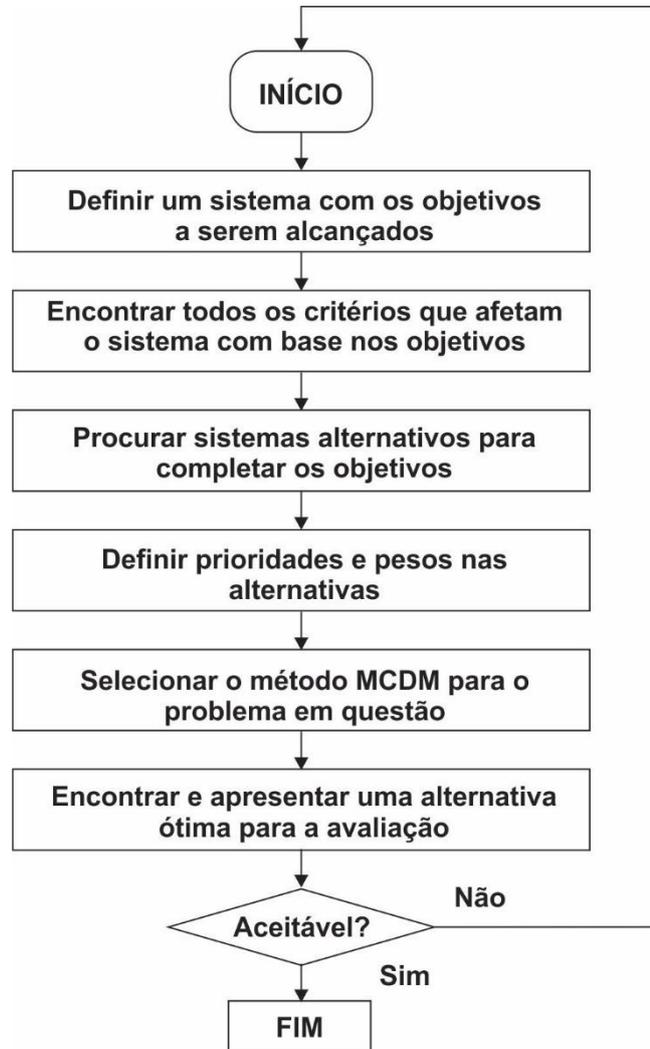
3. *Outranking approaches*: baseiam-se no princípio de que uma alternativa pode ser dominante sobre outra (Kangas, Kangas, Leskinen, & Pykalainen, 2001), em vez de assumir que existe uma única solução ótima. Os métodos comuns incluem o ELECTRE (Elimination and Choice Expressing Reality) e o PROMETHEE (The Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations). Entre suas vantagens é que elas evitam compensação entre critérios e qualquer processo de normalização, o que altera os dados originais (ISHIZAKA; NEMERY, 2013). Portanto, eles são apropriados quando as métricas de critérios não são facilmente agregadas, as escalas de mensuração variam em amplos intervalos e as unidades são incomensuráveis ou incomparáveis (LINKOV et al., 2004).

4. *Distance to ideal point methods*: as alternativas são avaliadas e ordenadas com base na sua distância do ponto ideal, que representa uma alternativa hipotética que melhor se adapta aos objetivos, logo a alternativa mais próxima do ponto ideal é a melhor solução (MALCZEWSKI, 1999). Métodos incluem TOPSIS (*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*) e CP (Compromise Programming). A principal vantagem deste grupo é a capacidade de considerar um número não limitado de alternativas e critérios.

5. *Outros métodos*: existe uma diversidade de técnicas que não podem ser colocadas em nenhuma das categorias descritas. Estes incluem, por exemplo, métodos adaptados que geralmente estendem ou adaptam um método fundamental a uma aplicação particular, bem como abordagens *fuzzy* e híbridas.

Além disso, um problema de MCDA pode ser abordado por diferentes métodos baseados citados acima. Todo método ou modelo tem suas próprias desvantagens e restrições (KUMAR *et al.*, 2017). Um procedimento geral da técnica MCDM é ilustrado na Figura 4, a seguir.

Figura 4 - Procedimento comum para análise MCDM.



Fonte: Adaptado de (KUMAR *et al.*, 2017)

Assim, o MCDA incorpora o conhecimento especializado dos tomadores de decisão na obtenção de soluções que são espacialmente estruturadas e difusas na natureza, inserindo as preferências e julgamentos intuitivos no processo de tomada de decisão (OUMA; KIPKORIR; TATEISHI, 2011).

2.3 PRINCIPAIS TÉCNICAS MADM/MADA

Muitos métodos multicritério são citados por diversos autores, portanto apresenta-se nesse trabalho as técnicas MADA citadas por diversos autores (ANANDA; HERATH, 2009;

GOVINDAN et al., 2015; HO; XU; DEY, 2010; POHEKAR; RAMACHANDRAN, 2004; ZAVADSKAS; TURSKIS; KILDIENĖ, 2014), descritas no Quadro 1.

Quadro 1 - Técnicas MADM/MADA.

Acrônimo	Método	Primeira referência
SAW	Ponderação aditiva simples (<i>Simple Additive Weighting</i>)	(HWANG, 1981)
ARAS	<i>Avaliação da relação aditiva (Additive Ration Assessment)</i>	(KERŠULIENE; ZAVADSKAS; TURSKIS, 2010)
SWARA	<i>Análise passo a passo da relação de avaliação de peso (Step-wise Weight Assessment Ration Analysis)</i>	(KERŠULIENE; ZAVADSKAS; TURSKIS, 2010)
TOPSIS	<i>Técnica para ordem de preferência por semelhança com a solução ideal (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution)</i>	(HWANG, 1981)
ELECTRE	<i>Eliminação e escolha que expressam a realidade (Elimination et Choix Traduisant la Réalité, Elimination and Choice Expressing REality)</i>	(BENAYOUN; B. ROY; SUSSMAN., 1966)
LINMAP	<i>Técnica de programação linear para análise multidimensional e preferência (Linear Programming Technique for Multidimensional Analysis and Preference)</i>	(SRINIVASAN; SHOCKER, 1973)
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>	(WIND; SAATY, 1980)
ANP	<i>Analytic Network Process</i>	(SAATY, 2001)
PROMETHEE	<i>Método de organização de classificação de preferências para enriquecimento de avaliações (The Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations)</i>	(BRANS; VINCKE, 1985)
MOORA	<i>Otimização multi-objetivo com base na análise Ration (Multi-Objective Optimization on the basis of Ration Analysis)</i>	(BRAUERS, WILLEM KAREL M; ZAVADSKAS, 2010)
MULTIMOORA	<i>Formulário multiplicativo com otimização multi-objetivo com base na análise Ration (Multiplicative form with Multi-Objective Optimization on the basis of Ration Analysis)</i>	(BRAUERS, WILLEM KAREL M; ZAVADSKAS, 2010)
DEA	<i>Data Envelopment Analysis</i>	(AHN; CHARNES; COOPER, 1987)
VIKOR	<i>Solução de otimização e compromisso multicritério (Visekriterijumska optimizacija i Kompromisno Resenje, Multicriteria Optimization and Compromise Solution)</i>	(OPRICOVIC, 2002)
COPRaS	<i>Avaliação Proporcional Complexa (Complex Proportional Assessment)</i>	(ZAVADSKAS, E.K.; KAKLAUSKAS; SARKA, 1994)
EVAMIX	<i>Avaliação de dados mistos (Evaluation of Mixed Data)</i>	(VOOGD, 1983)
DEMATEL	<i>Laboratório de avaliação e julgamento (Decision-Making trial and Evaluation Laboratory)</i>	(GABUS; FONTELA, 1973)

Acrônimo	Método	Primeira referência
WASPAS	<i>Avaliação de produto de soma agregada ponderada (Weighted Aggregated Sum Product Assessment)</i>	(ZAVADSKAS, EDMUNDAS KAZIMIERAS <i>et al.</i> , 2012)
WSM	<i>Método da soma ponderada (Weighted Sum Method)</i>	(FISHBURN, 1967)
WPM	<i>Método do Produto Ponderado (Weighted Product Method)</i>	(WANG, MINGXI <i>et al.</i> , 2010)*
CP	<i>Compromise Programming</i>	(SRINIVASAN; SHOCKER, 1973)
MAUT	<i>Teoria do utilitário de atributos múltiplos (Multi-Attribute Utility Theory)</i>	(KEENEY; RAIFFA, 1976)
CBR	<i>Raciocínio baseado em Casos (Case Based Reasoning)</i>	(SCHENK; JAMES R. PINKERT., 1977)
GA	<i>Algoritmo genético (Genetic Algorithm)</i>	(GOLDBERG; HOLLAND, 1988)*
SMART	<i>Técnica simples de classificação de múltiplos atributos (Simple Multi-Attribute Rating Technique)</i>	(KEENEY; RAIFFA, 1976)
MAVT	<i>Teoria do valor de atributos múltiplos (Multi-Attribute Value Theory)</i>	(HOSTMANN <i>et al.</i> , 2005)
REMBRANDT	<i>Ratio Estimation in Magnitudes or Decibels to Rate Alternatives which are Non-Dominated</i>	(LOOTSMA, 1993)
NAIADE	<i>Nova abordagem para avaliação imprecisa e ambientes de decisão (Novel Approach to Imprecise Assessment and Decision Environments)</i>	(MUNDA, 1995)

Fonte: Autores

Ho et al., (2010) apresenta as técnicas MODM/MODA conforme Quadro 2, abaixo.

Quadro 2 - Técnicas MODM/MADA.

<i>Linear Programming</i>
<i>Non-Linear Programming</i>
<i>Integer Linear Programming</i>
<i>Integer Non-Linear Programming</i>
<i>Goal Programming</i>
<i>Multi-objective programming</i>
<i>M.Heuristica</i>
<i>Dynamic Programming</i>

Fonte: (HO; XU; DEY, 2010)

Os tópicos a seguir comentam sucintamente cada uma das técnicas apresentadas no Quadro 1.

2.3.1 Ponderação aditiva simples (SAW)

O *Simple Additive Weighting* (SAW) propõe ser simples, mas eficientes, uma vez que os resultados são semelhantes aos mais complexos (KARNI; FEIGIN; BREINER, 1992). Baseado na média ponderada onde pontuação é calculada para cada alternativa pela multiplicação do

valor dado à alternativa desse atributo pelo peso de importância atribuído diretamente pelo tomador de decisão, seguido pela soma dos produtos para todos os critérios. A primeira etapa do método SAW é definir o conjunto de critérios de avaliação (MALCZEWSKI, 1999). A descrição matemática proposta por Eskandari; Homaei e Mahmodi, (2012) é descrita na Equação 1.

Equação 1 - Simple Additive Weighting

$$V_i = \sum_{j=1}^n W_j V_{ij}$$

Fonte: (ESKANDARI; HOMAEE; MAHMODI, 2012)

Onde:

V_i é o índice de adequação para a área i

W_j é o peso do critério j

V_{ij} é o valor padronizado da área i sob critério j

n é o número total de critérios.

A vantagem desse método é que ele é um método transformação linear proporcional dos dados brutos. Este significa que a ordem relativa de magnitude do padrão as pontuações serão mantidas iguais (AFSHARI; MOJAHED; YUSUFF, 2010).

2.3.2 Avaliação da relação aditiva (ARAS)

O método ARAS propõe a solução de um problema complexo usando comparações relativas simples. Utiliza o conceito básico de grau de otimalidade para selecionar a melhor alternativa entre um conjunto de alternativas, calcula-se a razão entre a soma dos valores dos critérios normalizados e ponderados e a soma dos valores dos critérios normalizados e ponderados (ZAMANI, et al., 2014). Segundo (ZAMANI *et al.*, 2014) o método ARAS possui algumas vantagens:

- Os cálculos definidos no processo de modelagem de um problema de tomada de decisão são diretos;
- Os conceitos possuem uma lógica profunda;
- Este método contém uma simples matemática forma na busca da melhor alternativa;
- Os pesos relativos são incorporados nos procedimentos de comparação.

2.3.3 Análise passo a passo da relação de avaliação de peso (SWARA)

A principal característica do método SWARA é a possibilidade de estimar opinião de especialistas ou grupos de interesse sobre a taxa de significância dos atributos no processo de

determinação de seus pesos (KERŠULIENE; ZAVADSKAS; TURSKIS, 2010). Segundo (Ruzgys *et al.*, 2014) o procedimento para a determinação dos pesos possui 6 passos:

- Estabelecer um lista geral de critérios;
- Fazer uma pesquisa com especialistas (os especialistas organizam os critérios de acordo com a classificação, o índice mais importante é listado como o primeiro, etc.);
- Ranqueamento dos critérios;
- Determinação dos coeficientes;
- Recalcular os pesos;
- Determinação dos pesos por critérios de importância.

2.3.4 Técnica para ordem de preferência por semelhança com a solução ideal (TOPSIS)

Esse método utiliza uma determinada decisão matriz para determinar as melhores e piores alternativas. A classificação das alternativas é então baseada em sua diferenciação desses valores (ACHILLAS *et al.*, 2013).

O método envolve atribuir pesos e pontuar alternativas em múltiplos critérios, onde cada alternativa recebe uma pontuação bruta em cada critério. A pontuação dos critérios são normalizadas entre as alternativas usando uma fórmula que suaviza os valores extremos. Usando essas pontuações normalizadas e respondendo pelos pesos dos diferentes critérios, calcula-se uma distância entre cada alternativa e um ponto hipotético que inclui o melhor valor possível para cada critério. As alternativas são, portanto, avaliadas umas contra as outras em termos de quão próximas estão da melhor alternativa hipotética (CEGAN *et al.*, 2017).

2.3.5 Eliminação e escolha que expressam a realidade (ELECTRE)

Proposto por Benayoun, B. Roy, & Sussman., (1966) e foi desenvolvido e aperfeiçoado por Roy em 1971 a 1978 criando as famílias ELECTRE I, II, III, IV, TRI e outras melhorias. Para a maioria dos métodos existem dois estágios principais, a construção das relações de superação e a exploração dessas relações para obter a classificação final da alternativa (Wang *et al.*, 2009). O ELECTRE concentra a análise nas relações de dominância entre as alternativas, buscando lidar com a relação de superação usando comparações de pares entre alternativas em cada critério separadamente. Baseia-se no estudo de relações de superação, noções de exploração de concordância. Essas relações de superação são construídas de tal forma que é possível comparar alternativas. Ele usa concordância, índices de discordância e valores de limiar para analisar as relações de superação entre as alternativas (WANG *et al.*, 2009).

2.3.6 Técnica de programação linear para análise multidimensional e preferência (LINMAP)

A ideia básica do método tradicional LINMAP é definir os índices de consistência e inconsistência baseados em comparações de pares de alternativas. Com base nos índices de consistência e inconsistência, um modelo de programação linear nítido é construído para derivar a solução ideal e os pesos dos atributos. Assim, a melhor alternativa de compromisso tem a menor distância para a solução ideal de um conjunto de alternativas viáveis (LIU *et al.*, 2015). No método clássico LINMAP, todos os dados de decisão são conhecidos com precisão ou são dados como valores nítidos. Ou seja, o método clássico LINMAP não é aplicável para resolver os problemas MADM ou MAGDM em ambientes complexos de tomada de decisão (Liu, Fan e Gao, 2016).

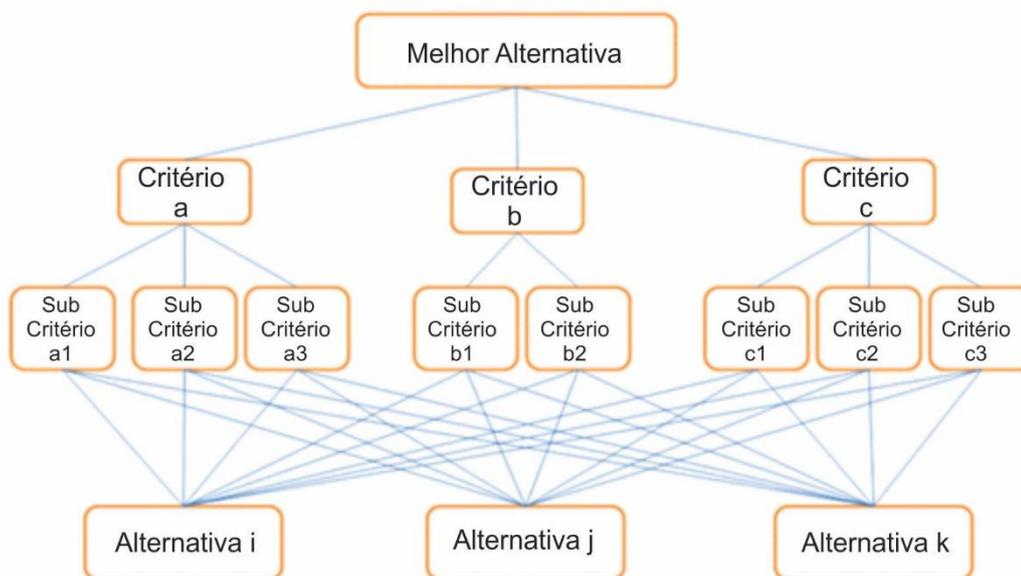
O método faz comparações de pares de alternativas dadas pelos decisores e gera a alternativa de compromisso ideal que está mais próxima da solução ideal. No LINMAP, os dados de decisão são valores nítidos, porém, na maioria dos casos, os dados nítidos são insuficientes para modelar a situação da vida real, as informações são geralmente de natureza vaga ou imprecisa, e não é apropriado representá-los por valores exatos (LIU *et al.*, 2015).

2.3.7 Analytic Hierarchy Process (AHP)

O *Analytic Hierarchy Process* (AHP), desde sua invenção, tem sido uma ferramenta útil para os tomadores de decisão, sendo uma das mais utilizadas. A especialidade do AHP é a sua flexibilidade para ser integrado com diferentes técnicas como Programação Linear, Implantação da Função de Qualidade, Lógica Difusa, etc. Essa flexibilidade permite ao usuário extrair benefícios de todos os métodos combinados e, assim, alcançar o objetivo desejado de uma maneira mais eficiente (VAIDYA; KUMAR, 2006).

O AHP apesar de ser um dos métodos mais antigos ainda é amplamente usado. O termo "analítico" indica que o problema é decomposto em seus elementos constitutivos. O termo "hierarquia" indica que uma hierarquia dos elementos constitutivos é listada em relação ao objetivo principal, enquanto o termo "processo" indica que os dados e julgamentos são processados para alcançar o resultado final (ACHILLAS *et al.*, 2013). Para um melhor entendimento da hierarquia (Figura 5).

Figura 5 - Estrutura hierárquica do AHP.



Fonte: Achillas et al., (2013)

Segundo (WECK *et al.*, 1997) as principais vantagens do AHP são:

- A definição da estrutura hierárquica permite compreender todas as variáveis envolvidas e sua relação;
- O problema decisório é representado de forma estruturada;
- O método não substituir o pessoal envolvido no processo de resolução, mas integra todos os julgamentos de forma estruturadas;
- A partir de uma escolha simples, a decisão torna-se um processo.

Segundo (ACHILLAS *et al.*, 2013) AHP é baseado em quatro pilares:

- Julgamentos recíprocos;
- Elementos homogêneos;
- Estrutura hierárquica ou dependente de feedback;
- Expectativas de ordem de classificação ideia básica.

Realizado em duas fases definição da árvore hierárquica e avaliação numérica da árvore.

A definição da árvore de hierarquias começa a partir da determinação do objetivo proposto, os critérios e subcritérios são definidos usando a experiência dos especialistas. A fase de avaliação é baseada na comparação por pares. Os critérios no mesmo nível da hierarquia são comparados para estabelecer uma importância relativa em comparação com o critério do nível paterno (BERTOLINI; BRAGLIA; CARMIGNANI, 2006).

O processo permite, obter valores que ponderam critérios, definir uma classificação das alternativas enquanto a avaliação é de baixo para cima. O processo de tomada de decisão começa comparando as alternativas com os critérios do último nível. A avaliação continua até os critérios do primeiro nível, que são então comparados com o objetivo (ACHILLAS *et al.*, 2013).

As diretrizes sugeridas pelo AHP podem ser submetidas a uma série de análises de sensibilidade com o objetivo de estabelecer a faixa crítica de prioridades para cada uma das alternativas de estratégia consideradas. Essa abordagem pode ser realizada em qualquer nível da organização e em vários graus de especificidade, incluindo, por exemplo, portfólios de posicionamento de marca específicos por segmentos de mercado, e pontos de distribuição. O procedimento descrito neste documento também pode ser estendido a casos mais complexos, como a construção de hierarquias não-lineares, decisões que dependem da variável tempo, e a ponderação de julgamentos pela experiência dos respondentes (WIND; SAATY, 1980). Por ser um dos métodos mais citados na revisão bibliográfica são descritos exemplos de sua aplicação.

Conceitualmente, o AHP pode ser aplicado a qualquer alocação de recursos (seleção de canais de distribuição) e situações de previsão de escolha (conceito ou teste de produto). Além disso, ele pode ser aplicado a casos em que a decisão de compra ou marketing envolve um número de participantes com percepções ou objetivos conflitantes (WIND; SAATY, 1980).

Vaidya & Kumar, (2006), comentam vários casos de aplicações do AHP em diversas áreas. Dentre estes exemplos, destacam-se:

O AHP aplicado na tomada de decisões em grupo. Lai, Wong, & Cheung, (2002) utilizaram o AHP para seleção de software chamado de Sistema de Autorização Multimídia (MAS). Eles usaram a técnica de tomada de decisão em grupo, que incluiu seis engenheiros de software. Três produtos da MAS foram avaliados. A hierarquia da comparação por pares foi formada e consistia em quatro níveis. Na sessão pós AHP, um questionário foi preparado para os engenheiros de software. Este questionário foi utilizado para determinar as contribuições do AHP para a qualidade da decisão, benefícios indiretos, satisfação prática do usuário e economia. Também foi feita alguma análise do teste t para comparar a aplicabilidade do AHP sobre a técnica Delphi convencional. Os engenheiros de software concordaram que o AHP seria mais aceitável do que o método Delphi.

Al-harbi, (2001) aplicou o AHP na área de gerenciamento de projetos para selecionar empreiteiras. Ele construiu uma estrutura hierárquica para os critérios de pré-qualificação e os empreiteiros que desejavam se qualificar para o projeto. Ao todo, cinco empreiteiros foram

considerados no estudo de caso. Eles foram avaliados com base nos critérios de experiência, estabilidade financeira, desempenho de qualidade, recursos de mão-de-obra, recursos de equipamentos e carga de trabalho atual. Cada um dos deles foi comparado através do *pair-wise* para os critérios mencionados. A classificação entre os diferentes critérios também foi feita para descobrir a prioridade geral de cada contratante. Com base nessa prioridade geral, a melhor empreiteira foi selecionada.

Os exemplos de aplicação, para a seleção de softwares e para o desenvolvimento de produtos mostram como o AHP é versátil. Recentemente o método tem sido amplamente utilizado em conjunto com o GIS e MCDA, como os exemplos citados ao longo do trabalho. Destes, destacam-se:

Kamali, Alesheikh, Khodaparast, & Mahmoud, (2015), realizaram uma pesquisa para identificar e priorizar os critérios e subcritérios de desempenho que envolvem a seleção de grandes unidades industriais extrativistas, como um dos primeiros passos para evitar os efeitos ambientais adversos dessas atividades industriais. Com esse propósito, critérios ambientais (ecológicos, econômicos e sociais) efetivos que podem ter um papel significativo nas avaliações de adequação do local foram determinados usando o método Delphi. Após a triagem dos critérios identificados, *pair comparisons* foram realizadas entre os critérios e subcritérios, respectivamente, com base no AHP. Os resultados do método AHP foram utilizados para realizar uma combinação linear ponderada em GIS, a fim de fazer uma priorização dos locais adequados para o estabelecimento de uma grande unidade industrial extrativa no Irã. Os resultados obtidos mostraram uma alta eficiência da combinação de Delphi-AHP com fuzzy-GIS para priorização e hierarquização dos critérios de influência e identificação dos locais adequados para instalação de unidades industriais extrativistas.

Rahmat et al., (2017), a fim de considerar todos os parâmetros, foi utilizada uma combinação de Sistema de Informação Geográfica (GIS) e o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) para seleção de local para um aterro sanitário. Com esse propósito, um AHP foi elaborado e diferentes parâmetros foram identificados, incluindo a distância até água subterrânea, distância as águas na superfície, ecossistemas sensíveis, cobertura da terra, distância a áreas urbanas e rurais, usos da terra, distância a estradas, declive, tipo de solo e distância a locais de geração de resíduos. Inicialmente, um método de classificação foi utilizado para avaliar cada critério individualmente. Então, a importância relativa dos critérios foi determinada por um processo de hierarquia analítica (AHP). O método do Peso Aditivo Simples (SAW) foi aplicado para avaliar a adequação da terra. Os resultados mostraram que 38% da área de estudo têm alta adequação para a implementação do aterro.

Onden & Eldemir (2015), procuraram em seu estudo, encontrar um local adequado para a instalação de uma fábrica, do ramo da indústria têxtil, tendo como base sete critérios como parâmetros de decisão. Istambul foi o local de estudo, e sete locais candidatos foram considerados para a abertura da fábrica. Durante o processo de avaliação, os Sistemas de Informação Geográfica e o *fuzzy* AHP foram combinados para ordenar os níveis de preferência das opções de terrenos disponíveis. Uma nova metodologia para a indústria têxtil foi proposta para integrar as preferências dos especialistas e as informações geográficas disponíveis.

Y. Chen et al., (2010), apresentaram uma nova abordagem para investigar a dimensão espacial da sensibilidade dos pesos no MCDM. Implementaram uma metodologia genérica de análise de sensibilidade (SA) em um modelo AHP-MCDM baseado em GIS, que serve como uma ferramenta AHP-SA para examinar a sensibilidade de avaliações de MCDM a mudanças de peso de critérios e, subsequentemente, visualizar a dinâmica de mudança espacial relativa à decisão. A abordagem é demonstrada usando o método de MCDM baseado em GIS para a irrigação de plantações na bacia de Macintyre Brook, em Queensland, Austrália. Por fim, os autores demonstraram que a ferramenta é simples e flexível.

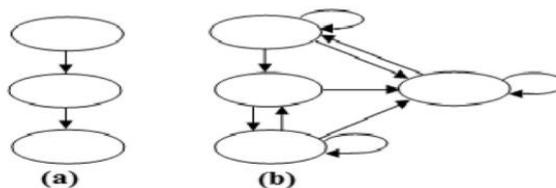
2.3.8 Analytic Network Process (ANP)

Ao tomar uma decisão, é necessário distinguir entre as estruturas hierárquica (ANP) e a de "rede" (AHP). Na estrutura hierárquica, os níveis são organizados em ordem decrescente de importância. Os elementos em cada nível são comparados de acordo com a dominância ou influência em relação aos elementos do nível imediatamente acima. As setas descem do objetivo, e isso pode ser interpretado como um meio de estimular a influência dos elementos dos níveis inferiores nos superiores (SAATY, 2001).

Já na estrutura de rede (network), os componentes que a compõem não são organizados em nenhuma ordem específica, mas são conectados conforme apropriado em pares com linhas direcionadas. As comparações de pares de elementos em um componente são feitas de acordo com a dominância de influência de cada membro de um par em um elemento no mesmo ou em outro componente. A influência pode ser avaliada em termos de importância, preferência ou probabilidade (SAATY, 2001).

O ANP é um método que é uma generalização do processo do AHP, ambos modelos foram propostos por Saaty em 1996 e 2001 (SAATY, 2001). O ANP é uma estrutura não linear com relacionamentos conforme a Figura 6 (Azizi et al., 2014).

Figura 6 - Diferença estrutural entre AHP e ANP.



Fonte: Azizi et al., (2014)

Conforme pode se ver na Figura 6, o ANP pode se formar em uma rede de feedback, que não é linear nem de cima para baixo (por exemplo, não hierárquica), portanto, uma alternativa para os problemas que precisam ser resolvidos por uma estrutura de feedback. O ANP transfere os julgamentos dos especialistas para as super matrizes, que são compostos de todos os critérios, subcritérios (ou fatores) e alternativas (AFZALI *et al.*, 2014), portanto, a principal inovação da ANP é sua estrutura de rede, que permite a interação entre elementos situados em diferentes clusters e as dependências entre os elementos de um mesmo cluster a serem considerados (NEKHAY; ARRIAZA; BOERBOOM, 2009).

Na revisão bibliográfica foram identificados vários exemplos de aplicação, o próprio Saaty (2001), cita a aplicação do ANP em um processo de decisão pelos Estados Unidos na implementação do sistema de defesa nacional contra mísseis (NMD). Outros exemplos recentes demonstram como o ANP pode ser utilizado em conjunto com o GIS e MCDA.

Khademalhosseiny, Ahmadi Nadoushan, e Radnezhad, (2017), para a seleção do local adequado para a construção de um aterro sanitário e uma usina de biogás na cidade de Najaf Abad, utilizou-se o fuzzy analytic hierarchy process, fuzzy analytic network process e o sistema de informações geográficas. Os autores utilizaram fatores como declividade, aspecto, geologia, uso da terra, biomassa e distância das águas subterrâneas, rede elétrica, áreas protegidas e estradas foram usados como os critérios mais importantes para a seleção dos locais. Os resultados de ponderação e sobreposição dos mapas de diferentes critérios mostraram que, com base no ANP, os melhores lugares estão localizados no sul e sudoeste da área de estudo.

Afzali et al., (2014), em um estudo de caso buscaram determinar a possibilidade de implementação de um aterro de resíduos sólidos intermunicipal para a cidade de Khomeynishahr e suas seis cidades adjacentes, com uma população total de meio milhão de pessoas. Um método de avaliação multicritério enfatizando as técnicas de sistemas de informação geográfica (SIG) foi utilizado para identificar aterros sanitários adequados. Uma combinação de lógica booleana, lógica difusa e processo de rede analítica (ANP) foi usada para priorizar os critérios associados e selecionar um aterro adequado. Os resultados mostraram a

importância significativa da proteção da área residencial e dos recursos hídricos na seleção dos aterros sanitários. Este estudo indica que o método integrado pode fornecer aos tomadores de decisão e planejadores ambientais uma ferramenta promissora.

Em um segundo estudo de caso, Karami, Maleknia, & Piran, (2014), tiveram como objetivo a determinação das áreas adequadas para a localização de parques florestais em Badreh, Irã, usando o GIS e um ANP. A integração dos métodos GIS e ANP fornece um mecanismo com o qual questões complexas podem ser completamente exploradas, além de um feedback imediato para os tomadores de decisão. Os autores concluíram que a integração do SIG com o Processo de Rede Analítica demonstrou ser uma ferramenta extremamente útil para a análise e agregação de indicadores ecológicos e ambientais.

O estudo de Nekhay et al., (2009), apresenta uma abordagem que combina informações objetivas, como amostragem ou dados experimentais com informações subjetivas, como opiniões de especialistas. Essa abordagem combinada foi baseada no método Analytic Network Process. Ele foi aplicado para avaliar o risco de erosão do solo e superar uma das desvantagens dos modelos Universal Soil Loss Equation (USLE) / Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), já que eles não consideram as interações entre os fatores de erosão do solo. Outra vantagem deste método é que ele pode ser usado mesmo se houverem dados experimentais insuficientes. A falta de dados experimentais pode ser compensada através do uso de avaliações de especialistas. Como exemplo da abordagem proposta, o risco de erosão do solo foi avaliado em olivais no sul da Espanha, mostrando o potencial do método ANP para modelar um processo físico complexo como a erosão do solo.

2.3.9 Método de organização de classificação de preferências para enriquecimento de avaliações (PROMETHEE)

Segundo Almeida Filho *et al.*, (2018) os métodos PROMETHEE baseiam-se em duas etapas: construir a relação de superação e explorar essa relação para apoiar o processo de decisão. Na primeira etapa, as características dos critérios são avaliadas para indicar o intervalo de diferenças entre as contribuições de cada critério. Assim, cada critério é associado a uma função de preferência para avaliar as diferenças nos valores de atributos mapeados em um intervalo zero um. Essas funções de preferência podem ser uma das seis opções seguintes: usual, quase-critério, critério de preferência linear, critério de nível, critério de preferência linear com uma zona de indiferença e um critério gaussiano.

2.3.10 Otimização multi-objetivo com base na análise Ration (MOORA)

Método MOORA é um MODM considerado simples e computacionalmente fácil, o que ajuda os tomadores de decisão na eliminação das alternativas inadequadas, enquanto seleciona a alternativa mais apropriada para fortalecer os procedimentos de seleção existentes (GADAKH; SHINDE; KHEMNAR, 2013).

MOORA é o processo de otimização simultânea de dois ou mais atributos conflitantes (objetivos) sujeitos a certas restrições. O método, introduzido pela primeira vez por Brauers e Zavadskas, (2006), é uma técnica de otimização multiobjetivo que pode ser aplicada com sucesso para resolver vários tipos de problemas complexos de tomada de decisões no ambiente de produção (GADAKH; SHINDE; KHEMNAR, 2013).

Por exemplo, Gadakh et al., (2013), em que o método MOORA foi aplicado para resolver problemas de otimização de múltiplos critérios (objetivos) na soldagem. Seis problemas de tomada de decisão, que incluem a seleção de parâmetros de soldagem adequados em diferentes processos de soldagem, como a de arco submerso, arco de tungstênio a gás, arco de metal a gás, a laser CO2 e solda por fricção foram consideradas no artigo. Em todos os casos citados, os resultados obtidos com o método MOORA corroboram com aqueles obtidos por pesquisadores anteriores que comprovam a aplicabilidade, potencialidade e flexibilidade deste método, resolvendo vários problemas complexos de tomada de decisão no ambiente fabril.

2.3.11 Formulário multiplicativo com otimização multi-objetivo com base na análise Ration (MULTIMOORA)

O MULTIMOORA é composto de MOORA e da Forma Multiplicativa Completa de Múltiplos Objetivos. Desta forma, até agora nenhuma outra abordagem é conhecida satisfazendo todas as condições de robustez para otimização multiobjetivo e incluindo três ou mais métodos, MULTIMOORA torna-se o sistema mais robusto de otimização de múltiplos objetivos (BRAUERS, WILLEM KAREL M; ZAVADSKAS, 2010).

2.3.12 Data Envelopment Analysis (DEA)

O DEA é uma abordagem que enfoca principalmente a eficiência do sistema. Essa abordagem considera os fornecedores e seus processos como um sistema, no qual a saída (benefício) é identificada como a soma ponderada das saídas (por exemplo, desempenho de entrega, qualidade etc.) dos fornecedores e os insumos são a soma ponderada de insumos. (custos). Usando as saídas e entradas, a eficiência do sistema é determinada (AGARWAL *et al.*, 2011).

Como exemplo de aplicação da abordagem temos o artigo de Mondal e Chakraborty (2013), em que são aplicados quatro modelos de *data envelopment analysis* (DEA), e modelos de *coneratio* para identificar robôs viáveis com métricas de desempenho ótimas, satisfazendo simultaneamente os objetivos organizacionais em relação ao processo de otimização. Além disso, o método de classificação de eficiência global ponderada da teoria de tomada de decisão de múltiplos atributos também é empregada para se chegar à melhor decisão de seleção de robôs dentre as alternativas competentes pré-selecionadas pelos autores. A fim de demonstrar a relevância e distintividade da abordagem baseada em DEA adotada, dois problemas de seleção de robôs industriais em tempo real foram estudados e solucionados.

2.3.13 Solução de otimização e compromisso multicritério (VIKOR)

Este método é desenvolvido para resolver problemas do MCDM com conflitos e critérios não comensuráveis (atributos com diferentes unidades), assumindo que o compromisso pode ser aceitável para conflitos resolução, e quando o decisor quer uma solução que é o mais próximo da solução ideal, as alternativas podem ser avaliados de acordo com todos os critérios estabelecidos (OPRICOVIC; TZENG, 2004). VIKOR fornece utilidade máxima de grupo de maioria e mínimo de arrependimento individual do oponente (OPRICOVIC, 2011). A solução de compromisso é viável solução, que é o mais próximo da solução ideal positiva e mais distante da solução ideal negativa, e um compromisso significa um acordo estabelecido por mútuo concessões feitas entre as alternativas (KABIR; HASIN, 2013).

Os principais pontos fortes do VIKOR são os seguintes:

- Aplicável mesmo quando o decisor não é capaz, ou não sabe expressar sua preferência no momento início do design do sistema (KABIR; HASIN, 2013).
- O algoritmo VIKOR pode ser executado sem participação interativa dos decisores.

A normalização linear é necessária para resolver multidimensional problemas que podem ser considerados a fraqueza do método.

2.3.14 Avaliação Proporcional Complexa (COPRaS)

A avaliação proporcional complexa é uma ferramenta analítica para resolver problemas de decisão multicritério. Originalmente, o método COPRaS foi desenvolvido para a tomada de decisão sob um ambiente determinista (ZAVADSKAS, E.K.; KAKLAUSKAS; SARKA, 1994).

A título de exemplo, HajiagHa, HaSHemi, & ZavadSKaS, (2013), sugerem uma forma estendida do método COPRaS usado para problemas de tomada de decisão em grupo em um

ambiente incerto, em que essa incerteza é capturada por meio de uma forma generalizada de conjuntos difusos - os chamados conjuntos difusos intuicionistas com valor de intervalo. Um esquema algorítmico para o método COPRaS-iviF foi introduzido, examinando assim sua aplicação em dois exemplos numéricos. Os autores concluíram que a estrutura recomendada do COPRaS-iviF pode ser satisfatoriamente implementada em problemas de tomada de decisão sob condições ambíguas e mal definidas.

2.3.15 Avaliação de dados mistos (EVAMIX)

EVAMIX é uma abordagem de avaliação multicritério capaz de lidar com dados quantitativos e qualitativos. O objetivo do Voogd (1983), foi criar um método para representar a estrutura de uma técnica analítica pela qual conjuntos de dados mistos multicritérios podem ser resumidos de maneira direta. Essa abordagem que inclui três técnicas baseadas em diferentes interpretações de pressupostos básicos é discutida. Em seguida, foi demonstrado que existem algumas maneiras práticas de lidar com o problema de ponderação que surge na avaliação dos critérios ao utilizar o método. A título de exemplo, os autores ilustraram a abordagem de dados mistos por meio de uma aplicação empírica para um problema de alocação de moradias. As suposições mais importantes por trás dessa abordagem estão relacionadas à definição das várias funções. Por fim, mostrou-se que é possível distinguir pelo menos três técnicas diferentes, baseadas em diferentes definições. Essas técnicas são a técnica de soma subtrativa, a técnica de intervalo de desvio subtrativo e a técnica de intervalo aditivo.

2.3.16 Laboratório de avaliação e julgamento (DEMATEL)

O laboratório de avaliação (DEMATEL) foi desenvolvido por Gabus & Fontela, (1973) para resolver problemas globais complicados. A técnica é apresentada da seguinte forma: em primeiro lugar, os especialistas relacionados são solicitados a indicar os graus de influência entre os critérios, isto é, indicar o quanto os critérios afetam uns aos outros na matriz de influência. Assim, a matriz A é obtida, o método segue através do cálculo de outras matrizes até a obtenção dos resultados (CHEN; HUANG; TSUEI, 2014; GABUS; FONTELA, 1973). Como exemplo de sua aplicação, temos o estudo de Azizi et al., (2014), avaliaram a possibilidade de estabelecer parques eólicos na província de Ardabil, no noroeste do Irã, usando uma combinação de processos de rede analítica (ANP) e métodos de julgamento e avaliação de laboratório (DEMATEL) em um sistema de informações geográficas (GIS). O DEMATEL foi usado para determinar as relações entre os critérios. Os pesos dos critérios foram determinados utilizando ANP e o processo de sobreposição foi feito em GIS. Utilizando 13 camadas de

informação em três critérios principais, incluindo ambiental, técnico e econômico, o mapa de adequação da terra foi produzido e reclassificado em 5 divisões igualmente pontuadas das áreas menos adequadas às mais adequadas. Por fim, a eficiência e precisão do modelo híbrido (ANP-DEMATEL) foram avaliadas e os resultados foram comparados ao modelo ANP.

2.3.17 Avaliação de produto de soma agregada ponderada (WASPAS)

O modelo de soma ponderada (WSM) é um dos métodos de decisão de critérios múltiplos mais conhecidos e frequentemente aplicados para avaliar várias alternativas em termos de número de critérios de decisão (ZAVADSKAS, et al., 2014).

Edmundas Kazimieras Zavadskas, Antucheviciene, et al., (2014), propõem-se uma versão estendida do método WASPAS, que pode ser aplicada mesmo em um ambiente de tomada de decisões incerto. No método WASPAS-IVIF proposto, a incerteza dos decisores em afirmar seus julgamentos e avaliações quanto à importância dos critérios e desempenho alternativo, são expressadas por números *fuzzy*. Dois exemplos numéricos de decisões de reaproveitamento de edifícios abandonados, e alternativas de investimento, são apresentados.

2.3.18 Método da soma ponderada (WSM)

Inicialmente proposto por (FISHBURN, 1967), O WSM é usado extensivamente não apenas para fornecer várias soluções, variando os pesos de forma consistente, mas também para fornecer um único ponto de solução que reflita as preferências presumivelmente incorporadas na seleção de um único conjunto de pesos (MARLER; ARORA, 2010).

Marler & Arora, (2010), investigaram o significado fundamental dos pesos das variáveis em termos de preferências, o conjunto ótimo de Pareto e os valores da função objetivo. Os autores ainda determinaram os fatores que ditam qual ponto de solução resulta de um conjunto específico de pesos. Por fim, deficiências fundamentais foram identificadas em termos de uma articulação a priori de preferências, e diretrizes foram fornecidas para ajudar a evitar o *blind use* do método.

2.3.19 Método do Produto Ponderado (WPM)

O método da soma ponderada é um método simples, especialmente usado em problemas unidimensionais. Se houver m alternativas e n critérios, então a melhor alternativa é aquela que satisfaz a Equação 2.

Equação 2 – *Weighted Product Method*

$$A_{wsm}^* = \text{Max} \sum_i^j a_{ij} w_j$$

Fonte: (WANG, et al., 2010).

Na Equação 2, $i = 1, 2, \dots, m$ onde A_{wsm}^* é o escore do método da soma ponderada da melhor alternativa, n é o número de critérios de decisão, a_{ij} é o valor real da i -ésima alternativa em termos do j -ésimo critério e w_j é o peso de importância do critério j , sendo o valor total de cada alternativa é igual à soma dos seus produtos (WANG, et al., 2010).

Sua aplicabilidade pode ser demonstrada através de estudos como o de Iyappan & Kasinatha Pandian, (2016) em que Uma combinação de lógica booleana, lógica difusa e o método de produto ponderado foi utilizada em conjunto com o GIS para identificar localizações geográficas, e o de M. Wang et al., (2010), que para eliminar os problemas computacionais envolvidos na avaliação de propostas de múltiplos atributos com diferentes medidas, os autores primeiramente normalizam as variáveis e usaram o *weighted product method* para propor um modelo complementar de conversão de variáveis.

2.3.20 Compromise Programming (CP)

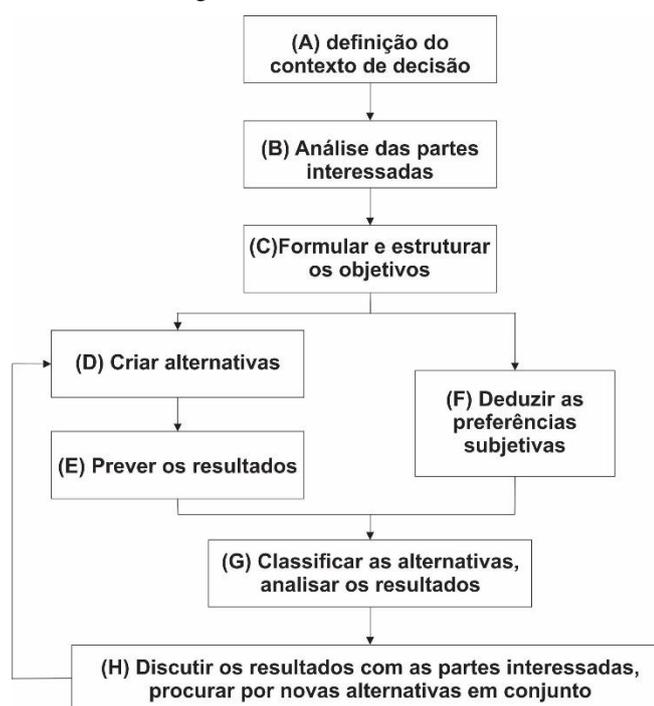
Compromise Programming é uma metodologia para analisar diferenças individuais em julgamentos de preferência em relação a um conjunto de estímulos pré-especificados em um espaço de atributos multidimensionais. O indivíduo é modelado como possuidor de um "ponto ideal" denotando suas preferências de localização e um conjunto de pesos que revelam a importância relativa dos atributos. (SRINIVASAN; SHOCKER, 1973). Os autores seguem afirmando que o *Compromise Programming* pode ser usado para uma "análise externa", isto é, a estimativa das coordenadas de seu ponto ideal e dos pesos (envolvidos na medida de distância euclidiana), através da análise de comparação pareada, pré-especificados por suas localizações coordenadas no espaço multidimensional. A abordagem é não métrica, flexível, e usa julgamentos de comparação pareados diretamente. Os pesos podem ser restringidos como não-negativos ou não restringidos. Generalizações do modelo para considerar dados de preferência ordinais ou intervalares, e para permitir uma transformação ortogonal do espaço de atributos, foram discutidas pelos autores. A metodologia foi estendida para realizar uma "análise interna", ou seja, para determinar os *stimuli locations* além de pesos e pontos ideais, analisando os julgamentos de preferência de todos os sujeitos simultaneamente.

2.3.21 Teoria do utilitário de atributos múltiplos (MAUT)

A MAUT apoia processos de decisão, fornecendo uma estrutura transparente que ajuda a focalizar os objetivos e graus correspondentes de realização por diferentes alternativas. (KEENEY; RAIFFA, 1976). Um processo de apoio à decisão para assessoria de políticas baseado no MAUT pode ser estruturado de acordo com a Figura 7.

Schuwirth et al., (2012), sugerem um procedimento simplificado de elicitação que combina (a) a elicitação de valores em vez de utilidades em níveis mais baixos da hierarquia de objetivos e a conversão para utilitários para considerar atitudes de risco em níveis superiores apropriados, (b) o uso de funções de valor linear para sub-objetivos com efeitos menores no valor global, e (c) análises de sensibilidade para verificar a robustez dos resultados em relação a essas premissas e ao processo de elicitação em geral. Além disso, os autores desenvolveram um procedimento modificado, chamado *Reversed Swing*, para elicitar pesos para casos em que as alternativas são hipotéticas.

Figura 7 – Estrutura do MAUT



Fonte: Adaptado de (SCHUWIRTH; REICHERT; LIENERT, 2012)

2.3.22 Raciocínio baseado em Casos (CBR)

Inicialmente proposto por Schenk & James R. Pinkert., (1977), *case-based reasoning* é uma teoria psicológica da cognição humana. Aborda questões de memória, aprendizado, planejamento e solução de problemas. O raciocínio baseado em casos também fornece uma

base para uma nova tecnologia de sistemas computacionais inteligentes que podem resolver problemas e se adaptar a novas situações (SLADE, 1991).

Choy, Lee, & Lo, (2002) propuseram um modelo genérico de CBR integrando o gerenciamento de relacionamento com o cliente (CRM) e o gerenciamento da cadeia de suprimentos (SCM) para identificar o fornecedor adequado para os produtos, serviços e distribuição. Vários critérios de avaliação foram agrupados em três categorias: capacidade técnica, sistema de qualidade e perfil organizacional. O modelo foi implementado em uma empresa de fabricação de produtos de consumo, que armazenou o desempenho de fornecedores passados e seus atributos em um sistema de banco de dados. O modelo proposto recupera ou seleciona um fornecedor que atende à especificação predefinida pela empresa.

2.3.23 Algoritmo genético (GA)

Goldberg & Holland, (1988) definem os algoritmos genéticos como procedimentos de busca probabilística projetados para trabalhar em grandes espaços envolvendo estados que podem ser representados por *strings*. Esses métodos são inerentemente paralelos, usando um conjunto distribuído de amostras do espaço (uma população de *strings*) para gerar um novo conjunto de amostras. Eles também exibem um paralelismo implícito mais sutil. Por exemplo, ao processar uma população de cadeias de caracteres, um algoritmo genético avalia implicitamente mais *substrings* de componentes m^3 . Em seguida, ele polariza automaticamente populações futuras para explorar os componentes acima da média como blocos de construção a partir dos quais ele constrói estruturas que explorarão as regularidades no ambiente (espaço do problema). Embora existam vários tipos diferentes de sistemas "*learning machine*" baseados em "*genetics*", os autores se restringiram a sistemas classificadores e seus derivados. Os sistemas classificadores são sistemas de produção paralela que foram projetados para explorar o paralelismo implícito de algoritmos genéticos. Todas as interações são feitas por meio de mensagens padronizadas, para que as condições sejam simplesmente definidas em termos das mensagens que eles aceitam e as ações são definidas em termos das mensagens que eles enviam. Os sistemas resultantes são computacionalmente completos, e a sintaxe simples torna fácil para um algoritmo genético descobrir blocos de construção apropriados para a construção de novas regras candidatas. Como os sistemas classificadores dependem da concorrência para resolver conflitos, eles não precisam de algoritmos para determinar a consistência global de um conjunto de regras. Como consequência, novas regras podem ser inseridas em um sistema existente, como tentativas ou hipóteses, sem perturbar as capacidades estabelecidas. Essa característica possibilita que o

sistema opere de maneira incremental, testando novas estruturas e hipóteses enquanto melhora continuamente seu desempenho.

2.3.24 Técnica simples de classificação de múltiplos atributos (SMART)

A técnica SMART é baseada em um modelo aditivo linear. Isso significa que o valor total de uma determinada alternativa é calculado como a soma total da pontuação de desempenho (valor) de cada critério (atributo) multiplicada pelo peso desse critério. (KEENEY; RAIFFA, 1976).

Huang e Keskar (2007), apresentaram um mecanismo de integração para formar uma métrica abrangente e configurável organizada hierarquicamente, que considera o tipo de produto, o fabricante do equipamento original (*original equipment manufacturer* - OEM) / fornecedor e o nível de integração do fornecedor. O modelo consistiu em encontrar o melhor ajuste estratégico entre as empresas e a estratégia do fornecedor com base no conjunto de métricas. O modelo foi desenvolvido de tal forma que a melhor decisão possível poderia ser tomada com base no conjunto de métricas escolhido e validado. Os pesquisadores apresentaram um total de cento e uma métricas para seleção de fornecedores.

2.3.25 Teoria do valor de atributos múltiplos (MAVT)

A principal contribuição do método MAVT é prever as escolhas das partes interessadas (validade preditiva). Desse modo, o método MAVT pode ser usado como uma estrutura para prever fontes de discordância e conflito interpessoal entre diferentes grupos de stakeholders. Além disso, o método MAVT facilita as negociações entre as partes interessadas de maneira interativa. Isto é, produz mudanças nas preferências das partes interessadas em direção a decisões mais orientadas para o consenso. (HOSTMANN *et al.*, 2005).

Hostmann *et al.*, (2005), analisaram a contribuição da MAVT para tomada de decisão e resolução de conflitos em projetos de planejamento ambiental. Os autores descobriram que a principal vantagem do método não era a previsão das preferências finais dos stakeholders, mas sim a capacidade do método de facilitar decisões mais orientadas para o consenso.

2.3.26 Ratio Estimation in Magnitudes or Decibels to Rate Alternatives which are Non-Dominated (REMBRANDT)

Proposto por (LOOTSMA, 1993), REMBRANDT é uma variante do AHP composto por uma classe *one-parametric* de escalas geométricas para quantificar o julgamento comparativo humano e com uma estrutura multiplicativa. A estrutura é composta por uma regressão

logarítmica que calcula as pontuações de impacto das alternativas no primeiro nível de avaliação e uma regra de agregação de média geométrica para calcular as pontuações finais no segundo nível. Em seu artigo, os Lootsma (1993), explica que o *multiplicative* AHP é uma versão exponencial da técnica simples de classificação multi-atributo (SMART), e que enquanto o *multiplicative* AHP se preocupa com proporções de intervalos na dimensão de desejabilidade, o SMART analisa diferenças nas ordens de magnitude correspondentes.

2.3.27 Nova abordagem para avaliação imprecisa e ambientes de decisão (NAIADE)

NAIADE é um método multicritério discreto cuja matriz de impacto (ou avaliação) pode incluir medições nítidas, estocásticas ou difusas do desempenho de uma alternativa e em relação a um critério de julgamento (MUNDA, 1995).

Segundo Munda, (1995), de um ponto de vista empírico, este modelo é particularmente adequado para modelagem econômico-ecológica incorporando vários graus de precisão das variáveis levadas em consideração. Do ponto de vista metodológico, duas questões principais são avaliadas: o problema da equivalência dos procedimentos utilizados, a fim de padronizar as avaliações, do desempenho de alternativas de acordo com diferentes critérios; e o problema de comparação de números *fuzzy* típicos de todos os métodos multicritério *fuzzy*. Em resumo, todo o procedimento pode ser dividido em três etapas principais: comparação de alternativas em pares, agregação de todos os critérios, avaliação de alternativas

2.3.28 Conclusão sobre as técnicas MADM/MADA

Independente de classificação o MCDA pode ser ligado a arte da Teoria da Escolha Racional. Assume-se que as pessoas são motivadas pelo dinheiro e lucro, o que permite a geração de modelos preditivos formais e abrangentes do comportamento humano. No entanto as ações humanas envolvem elementos racionais e não racionais (SCOTT, 2000). A teoria da escolha racional afirma que os indivíduos buscam alcançar o que é melhor para eles.

Como não é possível para os indivíduos alcançar tudo o que desejam, é preciso fazer escolhas em relação aos seus objetivos e meios para alcançar esses objetivos. Indivíduos racionais escolhem a alternativa que provavelmente lhes dará maior satisfação. Embora o modelo de utilidade esperado tenha muitos possíveis fundadores, Von Neumann & Morgenstern (1947), são geralmente creditados como a primeira base axiomática da medição de utilidade esperada. Hoje, o modelo de utilidade esperado é amplamente utilizado como a pedra angular normativa da análise de decisão (KEENEY; RAIFFA, 1976).

2.4 GIS MCDA

Os problemas de decisão espacial aumentaram consideravelmente sendo aplicados na adequação da seleção de locais usando a análise multicritério baseada em GIS (GIS - MCA). Portanto, a integração do GIS e a análise de decisão multicritério (MCDA) fornece uma solução única e útil para os problemas associados a análise de problemas de decisão espacial (VAIDYA; KUMAR, 2006). A combinação de um SIG com técnicas do MCDM facilita a seleção de locais nos casos em que os tomadores de decisão não possuem informações confiáveis sobre especificações, alternativas e resultados (CHANG; PARVATHINATHAN; BREEDEN, 2008; WITLOX, 2005; ZUCCA; SHARIFI; FABBRI, 2008).

2.4.1 Definição do GIS MCDA

O método MCDA baseado em GIS está principalmente preocupado em combinar as informações de vários critérios para formar um único índice de avaliação, a partir do qual a escolha final será feita (CHEN, Y; YU; KHAN, 2010). Este método combina dados geográficos (critérios de mapas) e juízos de valor (preferências de tomadores de decisão) para fornecer diferentes visões dos elementos de um problema de decisão complexo e organizá-los em uma estrutura hierárquica, bem como estudar as relações entre os componentes do sistema (MALCZEWSKI, 2006b). Esses procedimentos incluem dividir os problemas de decisão em partes menores e mais compreensíveis, analisando e integrando cada parte de maneira lógica para uma solução significativa (MALCZEWSKI, 1999a). Vários critérios precisam ser avaliados para identificar um local adequado para um objetivo específico. Os critérios que podem ser medidos e avaliados são a base para uma decisão (CARVER, 1991). Assim, resumidamente, pode-se dizer que o método MCDA baseado em GIS tem como principal foco a combinação das informações de vários critérios para formar um único índice de avaliação, a partir do qual a escolha final é feita. (JIANG; EASTMAN, 2000).

O MCDM baseado em GIS envolve um conjunto de unidades básicas geograficamente definidas e um conjunto de critérios de avaliação representados como camadas ou atributos de mapa. Baseado em um esquema de classificação, ele informa um processo de decisão espacialmente complexo derivando uma utilidade dessas entidades espaciais por meio da sobreposição dos mapas de critério de acordo com os valores de atributos e preferências do tomador de decisão usando um conjunto de pesos. Portanto, além da seleção de critérios, os pesos dos critérios afetam severamente os resultados do MCDM (CHEN, Y; YU; KHAN, 2010).

As técnicas de MCDA são reconhecidas por permitir a integração de diferentes preferências entre os tomadores de decisão. Desta forma, antes de decidir quais as áreas mais viáveis, é importante identificar as opções alternativas. O SIG desempenha um papel importante na geração de dados e na eliminação das alternativas inadequadas (ATICI *et al.*, 2015).

De acordo com J. Malczewski (1999a), para combinar o MCDA e o GIS, cada um dos critérios deve ser representado como um mapa no banco de dados do GIS. Deve-se notar que dentre os mapas de critérios, existem os mapas de fator e mapas de restrição, e eles não são os mesmos. Um mapa de fatores representa a capacidade de atingir um objetivo por meio de uma distribuição espacial. No entanto, um mapa de restrição representa limitações no problema de tomada de decisão que não permitem que determinadas ações sejam tomadas.

Os métodos descritos serão posteriormente utilizados para a classificação dos artigos identificados na revisão sistemática. Apesar da existência de vários métodos os mais utilizados são o AHP e o ANP.

2.4.2 Exemplos de aplicação

A Capítulo 4 – Revisão Sistemática: Resultados e Análises, estuda os artigos científicos publicados nas bases selecionadas entre os anos de 1994 e 2018 a respeito da aplicação do GIS em conjunto com o MCDA. Os processos de avaliação SIG e *Multi-criteria* são frequentemente usados em processos de planejamento regional, como a gestão de recursos naturais, planejamento regional, desenvolvimento urbano, aterros sanitários, gestão de depósitos, vulnerabilidade da água subterrânea, recarga de aquíferos e gestão de utilidades (QADDAH; ABDELWAHED, 2015).

3. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA E ANÁLISE DAS PUBLICAÇÕES

3.1 METODOLOGIA DE PESQUISA

O trabalho é composto pela combinação dos métodos de análise bibliométrica e revisão sistemática. Combinando múltiplas metodologias aumenta o mérito e reforça os resultados do estudo por explorar múltiplas perspectivas do problema (ADUNLIN; DIABY; XIAO, 2014). Como principais vantagens do método de múltiplas metodologias são: maior relevância, aplicabilidade, menor risco de se obter resultados tendenciosos e melhor compreensão do tema (CHOI; CHENG; ZHAO, 2016).

Antes de realizar a análise bibliométrica e uma revisão sistemática da literatura, as palavras-chave da pesquisa foram definidas, a fim de alcançar a maioria dos trabalhos publicados sobre o assunto e evitar a quantidade indesejada de ruído. Para coletar palavras-chave relacionadas ao MCDA, analisamos os artigos mais citados sobre as revisões do MCDA em diferentes campos de estudo (Quadro 3), apresenta-se acrônimos, sinônimos e palavras correspondentes ao MCDA e os métodos mais citados (ANANDA; HERATH, 2009; GOVINDAN et al., 2015; HO; XU; DEY, 2010; MALCZEWSKI, Jacek, 2006b; MARDANI; JUSOH; ZAVADSKAS, 2015; MENDOZA; MARTINS, 2006; POHEKAR; RAMACHANDRAN, 2004; RIBEIRO, 1996; STEWART, 1992; WANG, et al., 2009; ZAVADSKAS; TURSKIS; KILDIENĖ, 2014). As palavras-chave relacionadas ao SIG e Seleção do Local foram sistematicamente selecionadas com base nos 10 artigos mais citados com a palavra-chave MCDM.

Assim, um total de 128 variações das palavras-chave foram utilizadas, o que pode ser resumido como uma combinação booleana de 60 acrônimos e sinônimos para “MCDM”, como “MCDA”, “MADM”, “MADA”, “*Mulicriteria Decision Marking*” e 55 outros] OU [63 acrônimos e sinônimos de métodos MCDM conhecidos, como “AHP”, “Processo hierárquico analítico”, “ANP”, “PROMETHEE” e outras 60 palavras-chave] E “GIS” OR “GIScience” e outras 3 palavras] e outras 5 palavras relacionadas a aplicação como seleção de locais, avaliação de locais, resultando em um total de 3.575 combinações.

Grupo	GIS (Palavras-Chave)	Código de combinação	MCDM (palavras-chave)
#1	("GIS" OR "GISciencie" OR "geographic" OR "Geoinformatic" OR "geospatial")	AND	("MCDM" OR "multicriteria decision making" OR "multicriteria decision making" OR "multi criteria decision making" OR "multiplecriteria decision making" OR "multiple-criteria decision making" OR "multiple criteria decision making" OR "MCDA" OR "multicriteria decision analysis" OR "multicriteria decision analysis" OR "multi criteria decision analysis" OR "multiplecriteria decision analysis" OR "multiple-criteria decision analysis" OR "multiple criteria decision analysis" OR "multicriteria decision aiding" OR "multi-criteria decision aiding" OR "multi criteria decision aiding" OR "multiplecriteria decision aiding" OR "multiple-criteria decision aiding" OR "multiple criteria decision aiding"))
#2			("MADM" OR "multiattribute decision making" OR "multiattribute decision making" OR "multi attribute decision making" OR "multipleattribute decision making" OR "multiple-attribute decision making" OR "multiple attribute decision making" OR "MADA" OR "multiattribute decision analysis" OR "multi-attribute decision analysis" OR "multi attribute decision analysis" OR "multipleattribute decision analysis" OR "multiple-attribute decision analysis" OR "multiple attribute decision analysis" OR "multiattribute decision aiding" OR "multi-attribute decision aiding" OR "multi attribute decision aiding" OR "multipleattribute decision aiding" OR "multiple-attribute decision aiding" OR "multiple attribute decision aiding"))
#3			("MODM" OR "multiobjective decision making" OR "multiobjective decision making" OR "multi objective decision making" OR "multipleobjective decision making" OR "multiple-objective decision making" OR "multiple objective decision making" OR "MODA" OR "multiobjective decision analysis" OR "multi-objective decision analysis" OR "multi objective decision analysis" OR "multipleobjective decision analysis" OR "multiple-objective decision analysis" OR

Grupo	GIS (Palavras-Chave)	Código de combinação	MCDM (palavras-chave)
			"multiple objective decision analysis" OR "multiobjective decision aiding" OR "multi-objective decision aiding" OR "multi objective decision aiding" OR "multipleobjective decision aiding" OR "multiple-objective decision aiding" OR "multiple objective decision aiding"))
#4			("Simple Additive Weighting" OR "Additive Ration Assessment" OR "SWARA" OR "Step-wise Weight Assessment Ration Analysis" OR "TOPSIS" OR "Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution" OR "ELECTRE" OR "Elimination et Choix Traduisant la Réalité" OR "Elimination and Choice Expressing REALity" OR "LINMAP" OR "Linear Programming Technique for Multidimensional Analysis and Preference" OR "AHP" OR "Analytic Hierarchy Process" OR "ANP" OR "Analytic Network Process" OR "PROMETHEE" OR "The Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations" OR "MOORA" OR "Multi-Objective Optimization on the basis of Ration Analysis" OR "MULTIMOORA" OR "Multiplicative form with Multi-Objective Optimization on the basis of Ration Analysis" OR "DEA" OR "Data Envelopment Analysis" OR "VIKOR" OR "Visekriterijumska optimizacija i Kompromisno Resenje" OR "Multicriteria Optimization and Compromise Solution" OR "COPRAS" OR "Complex Proportional Assessment" OR "EVAMIX" OR "Evaluation of Mixed Data" OR "DEMATEL" OR "Decision-Making trial and Evaluation Laboratory" OR "WASPAS" OR "Weighted Aggregated Sum Product Assessment" OR "WSM" OR "Weighted Sum Method" OR "WPM" OR "Weighted Product Method" OR "Compromise Programming" OR "MAUT" OR "Multi-Attribute Utility Theory" OR "CBR" OR "Case Based Reasoning" OR "Genetic Algorithm" OR "SMART" OR "Simple Multi-Attribute Rating Technique" OR "MAVT" OR "Multi-Attribute Value Theory" OR "REMBRANDT" OR

Grupo	GIS (Palavras- Chave)	Código de combinação	MCDM (palavras-chave)
			"Ratio Estimation in Magnitudes or Decibels to Rate Alternatives which are Non-Dominated" OR "NAIADE" OR "Novel Approach to Imprecise Assessment and Decision Environments" OR "Linear Programming" OR "Non-Linear Programming" OR "Non Linear Programming" OR "Multi-Objective Programming" OR "Multi Objective Programming" OR "Multiobjective programming" OR "Goal Programming" OR "Integer Linear Programming" OR "Integer Non-Linear Programming" OR "Integer Non Linear Programming" OR "Integer Programming"))

Fonte: Autores

A busca foi realizada com artigos das duas principais bases de dados disponíveis, Web of Science® (Core Collection) e Scopus®. Esta escolha justifica-se porque o Scopus® possui um banco de dados multidisciplinar, incluindo aproximadamente 15.000 periódicos revisados por pares e mais de 4.000 publicadores (JAHANGIRIAN *et al.*, 2010). Por outro lado, o Web of Science inclui 10.000 periódicos revisados por pares e foi o único banco de dados de citação e publicação que abrangeu todos os domínios da ciência por muitos anos (CHADEGANI *et al.*, 2013). Ainda, essas bases de dados possibilitam que os pesquisadores exportem os metadados, o que facilita no processo de construção de uma revisão de literatura e, principalmente, de análises bibliométricas por meio de softwares específicos. As Tabela 1 e Tabela 2 descrevem os resultados de ambas as execuções, no Scopus® e no Web of Science® Core Collection, respectivamente. Depois de combinar operadores booleanos e palavras-chave relacionadas a (“GIS” E “MCDM” E “Seleção de Sites”), um total de 376 artigos foram encontrados no Scopus® e 401 no Web of Science®. Considerando apenas artigos em inglês e publicados em periódicos revisados por pares de 1994 a 2018, um conjunto de 267 e 304 foram selecionados do Scopus® e Web of Science®, respectivamente. Os resultados parciais da pesquisa também são descritos nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Pesquisa realizada na base científica SCOPUS

AND	“Site Selection”	“Site Evaluatio n”	“Site Location”	“Site Suitability ”	“Siting”	OR (Columns)
#1	141	3	3	21	68	203

#2	4	0	0	1	2	7
#3	3	0	0	0	1	3
#4	213	8	15	29	115	305
OR (Lines)	283	8	17	41	137	376

Fonte: Autores

Tabela 2 - Pesquisa realizada na base científica Web of Science (Base de dados principal)

AND	“Site Selection”	“Site Evaluation”	“Site Location”	“Site Suitability”	“Siting ”	OR (Columns)
#1	168	4	3	21	59	185
#2	6	0	0	1	0	5
#3	3	0	0	0	0	3
#4	234	6	6	46	104	310
OR (Lines)	287	7	8	55	134	401

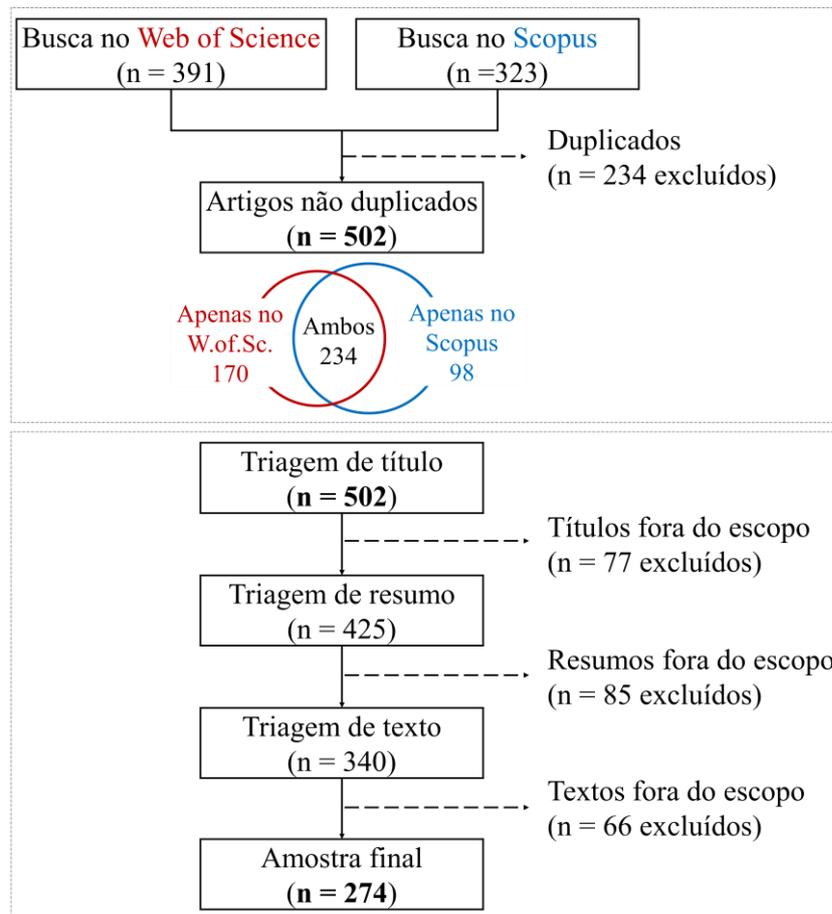
Fonte: Autores

Especificamente no Capítulo 3 – Desenvolvimento da Pesquisa os dados que compuseram os gráficos foram separados e ordenados de modo que os artigos pudessem ser classificados de acordo com os seus grupos e subgrupos. As análises, no Capítulo 4 – Revisão Sistemática: Resultados e Análises, foram realizadas através da leitura dos artigos, possibilitando a resposta das questões de pesquisa. Por fim, com a triangulação da teoria, dos dados coletados e das análises realizadas, obteve-se o Capítulo 5 – Conclusões.

3.2 COLETA DOS DADOS BIBLIOGRÁFICOS

A coleta dos dados bibliográficos (Figura 8), resultou em 714 registros onde foram excluídos 234 artigos duplicados (32.8%) restando 502 registros bibliográficos no banco de dados. Logo após a pesquisa inicial, foi realizada uma análise dos títulos onde foram eliminados aproximadamente 77 artigos (10.8%), que estão fora do escopo da pesquisa. Após a análise dos resumos, mais 85 artigos (11.9%) foram eliminados, resultando em 340 artigos (47.6%) para serem avaliados. Posteriormente, como último critério de seleção, foram lidos os artigos, em sua maioria os resumos e conclusões, e em alguns casos integralmente, buscando identificar os seus alinhamentos com o escopo da pesquisa. Ao fim, dessa última análise finalizou-se com 274 artigos, representando 38.4% dos dados bibliográficos iniciais.

Figura 8 - Artigos utilizados na revisão bibliográfica



Fonte: Autores

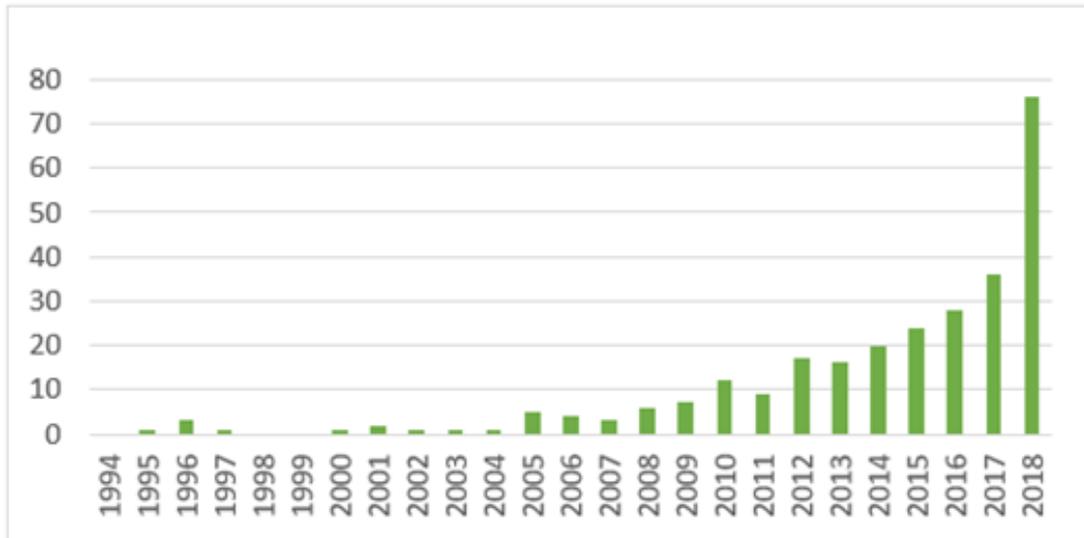
A partir do conjunto final, os artigos foram classificados e analisados para compor as figuras e explicações do Capítulo 3 a seguir.

3.3 ANÁLISE DAS PUBLICAÇÕES

3.3.1 Principais *Periódicos* e tendência de publicações

A partir do ano de 1994 identificou-se uma tendência no crescimento, Figura 9, das publicações. Destaca-se um alto crescimento no ano de 2018, evidenciando a demanda maior pela aplicação do GIS/MCDA.

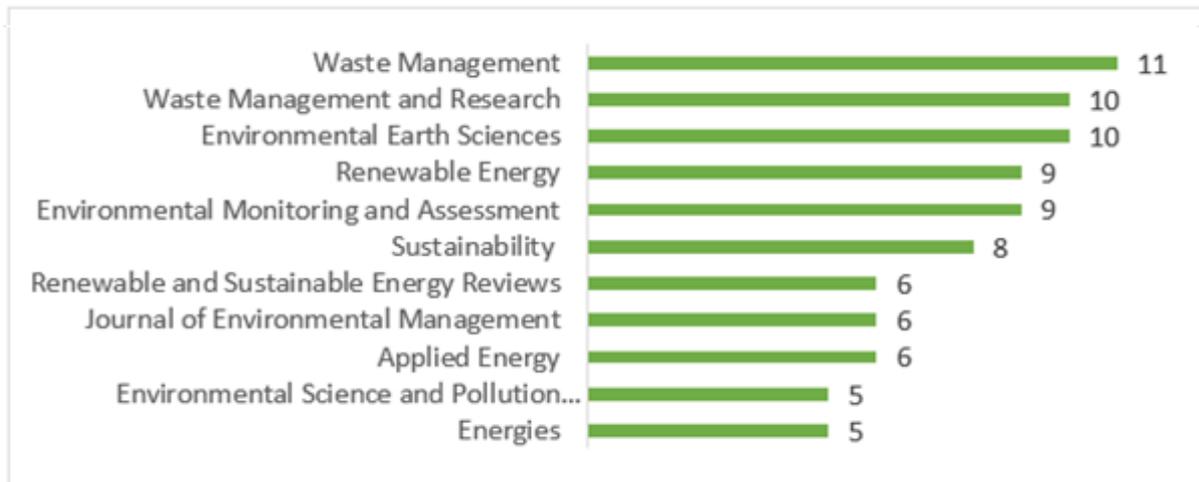
Figura 9 – Número de publicações por ano



Fonte: Autores

Complementarmente, a Figura 10 destaca os *Periódicos* de maior relevância no tema, sendo os 3 principais relacionados ao meio ambiente e gerenciamento de resíduos: *Waste Management*, com *Impact Factor* (IF) of 4.723; *Waste Management and Research*, com IF of 1.631; e *Environmental Earth Sciences*, com IF of 1.435. O alto fator de impacto (IF) dos periódicos indica que o assunto é relevante e tem sido cada vez mais abordado na literatura, embora ainda possua um baixo número de artigos publicados em relação ao GIS e MCDA se pesquisados separadamente. A título de exemplo, até o ano de 2018, a busca pela palavra-chave GIS nos tópicos dos artigos publicados entre 1994 e 2018 no Web of Science foram 67.232, e para o MCDA, 2.807 resultados.

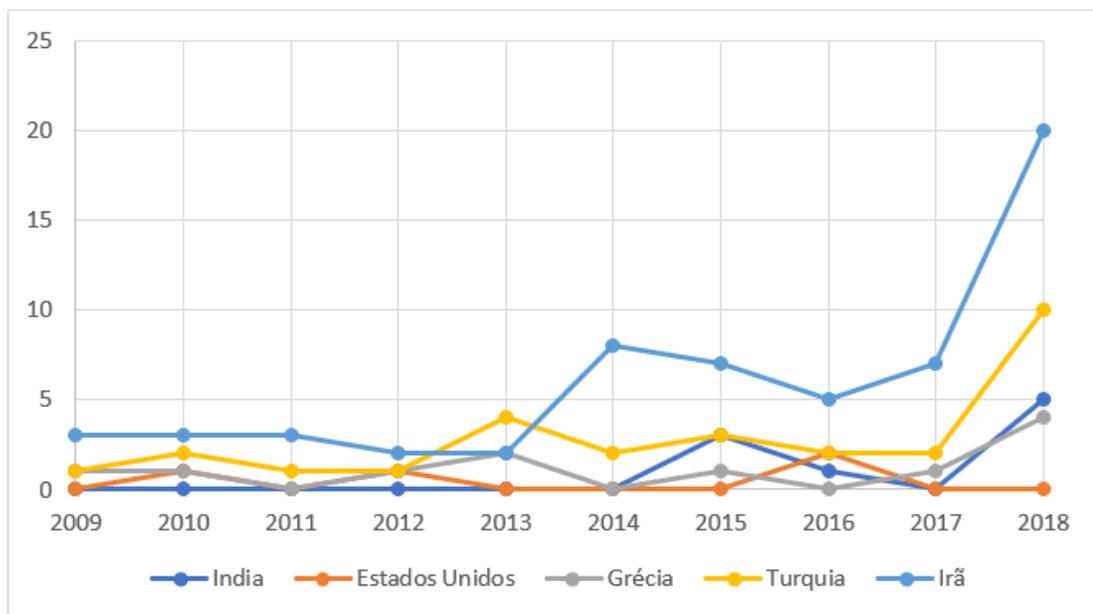
Figura 10 – Número de publicações por periódico



Fonte: Autores

A tendência das publicações ao longo dos últimos anos pode ser visualizada através da Figura 11 e Figura 12.

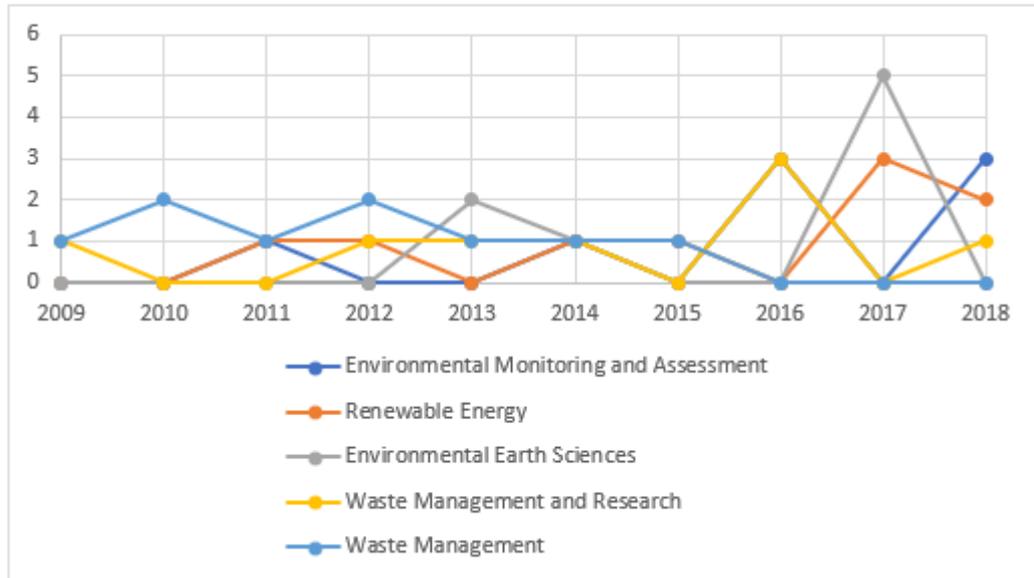
Figura 11 – Países e número de publicações por ano



Fonte: Autores

Na Figura 11 os 5 países com mais publicações nos últimos 10 anos são exibidos, sendo estes o Irã, Turquia, Índia, Grécia e Estados Unidos.

Figura 12 – Periódicos e número de publicações por ano



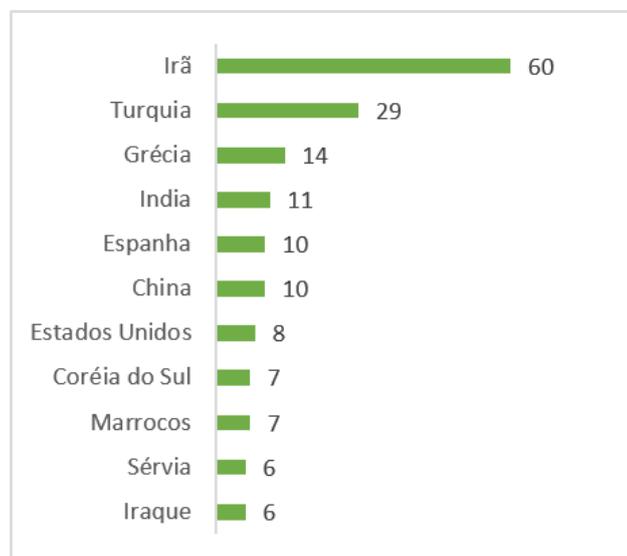
Fonte: Autores

Já a Figura 12 exibe as revistas que mais publicaram sobre o tema nos últimos 10 anos, como não há uma clara tendência, evidencia-se que os autores não tem preferência por uma revista específica.

3.3.2 Principais autores, países e artigos

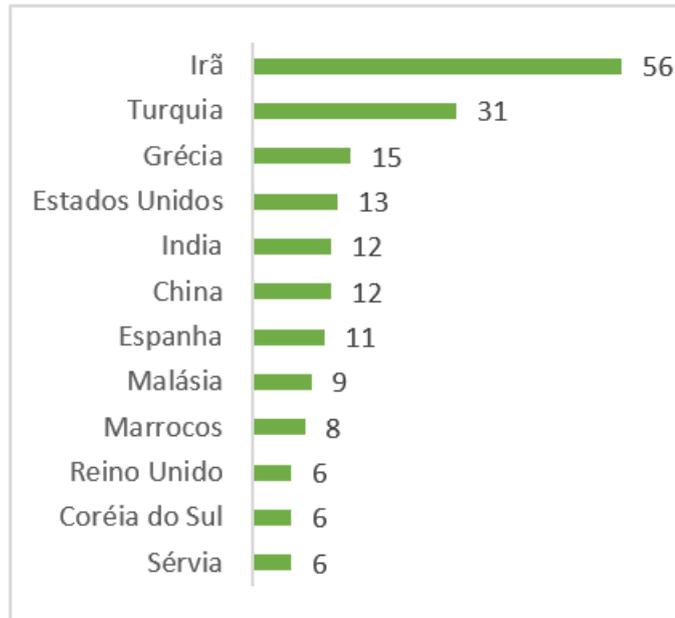
A figuras a seguir resumem os principais países em que as pesquisas foram realizadas, Figura 13, o país de origem do autor principal, Figura 14, e os principais autores de acordo com o número de citações, Figura 15.

Figura 13 – Países onde as pesquisas foram realizadas



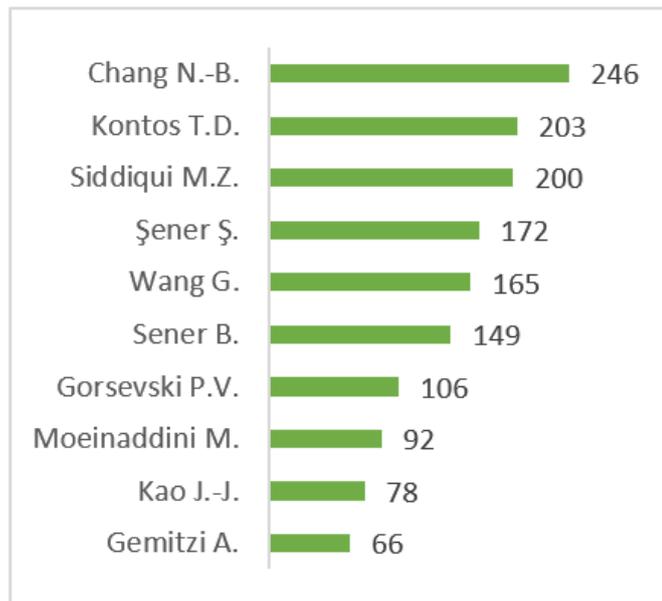
Fonte: Autores

Figura 14 – País de origem do autor principal



Fonte: Autores

Figura 15 – Autores mais citados



Fonte: Autores

Observa-se, na Figura 13, que os principais países de onde originaram-se as publicações na sequência são Irã (60), Turquia (29) e Grécia (14). Quando não mencionado em que país a pesquisa foi realizada, considerou-se este como sendo o país de origem do autor principal. Assim sendo, os países de origem dos autores, Figura 14, são em 86% dos artigos, os mesmos da Figura 13, indicando que a maioria dos autores realizaram as pesquisas nos seus próprios países.

Os artigos mais relevantes, considerando o número de citações a respeito do GIS/MCDA são os de: Chang N.-B.(239), Wang G. (159), Vahidnia M.H. (145). Apesar da realização de uma posterior análise pelo *Citation Index* (Figura 16), o número absoluto de citações não deixa de ser a principal métrica para a mensuração da relevância de um artigo. Assim, ressalta-se a necessidade da análise dos artigos com maior número absoluto de citações dos últimos 10 anos.

Quadro 4 – Artigos mais citados

Título	Autores	Year	Citations
Hospital site selection using fuzzy AHP and its derivatives	(VAHIDNIA; ALESHEIKH; ALIMOHAMMADI, 2009)	2009	145
Landfill site selection using spatial information technologies and AHP: A case study in Beijing, China	(WANG, GUIQIN <i>et al.</i> , 2009)	2009	159
Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region	(CHANG; PARVATHINATHAN; BREEDEN, 2008)	2008	239

Fonte: Autores

O artigo mais citado, Quadro 4, é o do Chang N.-B com 239 citações (CHANG; PARVATHINATHAN; BREEDEN, 2008), cujo título é “*Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region*”. O artigo apresenta a combinação dos métodos GIS e FMCDM (fuzzy multicriteria decision-making) para a seleção de locais de aterros sanitários em 2 etapas. A primeira é a aplicação do GIS em conjunto com variáveis ecológicas, biofísicas, ambientais e socioeconômicas, enquanto que a segunda foca na aplicação do *Fuzzy* MCDM. Nota-se o emprego da palavra *fuzzy* pelo fato de os dados relacionados as variáveis estarem incompletos (KAHRAMAN; ONAR; OZTAYSI, 2015).

Assim, o artigo difere dos métodos convencionais GIS/MCDM pela simplificação da abordagem, tendo essa apenas duas etapas ao invés de várias. As etapas tradicionais são consideradas pelos próprios autores (CHANG; PARVATHINATHAN; BREEDEN, 2008), e também pelos outros 2 autores mais citados, (VAHIDNIA; ALESHEIKH; ALIMOHAMMADI, 2009; WANG, et al., 2009), como sendo: definir o problema; determinar os critérios (fatores e restrições); padronizar o fatores; estabelecer o seu peso; executar a combinação linear ponderada; ranquear os mapas padronizados; estabelecer os pesos dos objetivos; interativamente solucionar os conflitos.

O segundo artigo mais citado, “*Landfill site selection using spatial information technologies and AHP: A case study in Beijing, China*” (WANG, et al., 2009), propõe uma metodologia para a elaboração de um modelo hierárquico para resolver o problema de seleção de locais para aterros sanitários na China. Sua metodologia consistiu na combinação do AHP com o GIS para a elaboração do modelo, agregando os melhores locais através de *criteria weights*.

O terceiro artigo mais citado, “*Hospital site selection using fuzzy AHP and its derivatives*” (VAHIDNIA; ALESHEIKH; ALIMOHAMMADI, 2009), tem como problema de pesquisa a criação de uma rede bem distribuída de hospitais minimizando o custo do terreno, contaminação e poluição regional, e tempo necessário para as pessoas chegarem ao hospital. Os autores desenvolveram um processo de MCDA combinando GIS com o *Fuzzy Analytical Hierarchy Process* (FAHP). Sendo o GIS utilizado para calcular e classificar a área de governança enquanto que o FAHP foi utilizado para avaliar os fatores de decisão e seus impactos nos locais alternativos para implementação dos hospitais. Três principais métodos foram utilizados para priorizar os possíveis locais: *fuzzy extent analysis*, *center-of-area defuzzification* e o *a-cut method*. Finalmente, os autores avaliaram a utilidade dos locais para construção de hospitais através da criação de um *accessibility index*.

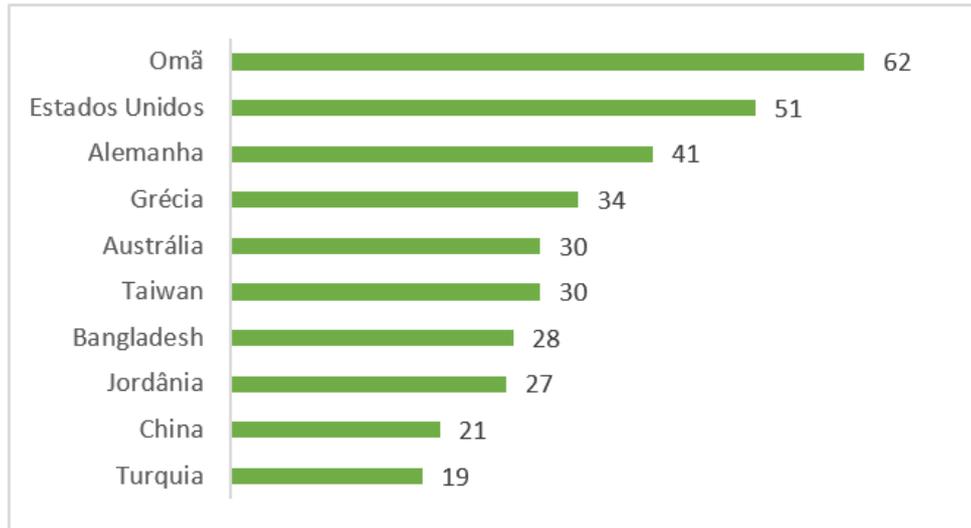
Assim como os três artigos mais citados, 142 artigos (51.8%) do total analisado, utilizam o *Analytical Hierarchy Process* (AHP), ou o *Fuzzy AHP* como principal regra de decisão. A regra de decisão é definida como sendo o procedimento que permitirá a seleção de uma ou mais alternativas pelo tomador de decisões (MALCZEWSKI, 2006a). O método AHP, é baseado no modelo de ponderação aditiva e geralmente empregado de duas maneiras em conjunto com o GIS. A primeira, caso exista um grande número de alternativas, na derivação dos pesos associados às camadas do mapa de atributos. A segunda, caso existam poucas alternativas, consiste em priorizar todos os níveis da estrutura hierárquica incluindo o nível em que as alternativas são apresentadas (MALCZEWSKI, 2006a). Dada a incerteza associada as variáveis, diversos autores tem optado pela aplicação do *Fuzzy AHP*, utilizando o princípio *fuzzy* na priorização das alternativas (CHANG; PARVATHINATHAN; BREEDEN, 2008).

3.3.3 Citation Index

Observou-se que alguns países haviam grande número de citações, e, simultaneamente, um grande número de artigos publicados, dificultando a avaliação da real contribuição dos mesmos acerca do tema. Com o objetivo de determinar quais são os principais contribuintes para o desenvolvimento da área em relação a qualidade das publicações, foi criado o *Citation Index*, Figura 16, em que o número de citações é dividido pelo número de publicações por país dos

autores. Assim, observamos que a *Omã*, *United States* e *Germany* obtiveram um *Citation Index* com valor mais alto. No caso da Omã, devido ao fato de que apesar de ter publicado apenas dois artigos, os mesmos apresentaram alto volume de citações.

Figura 16 – Citation Index



Fonte: Autores

Os artigos da Omã, (AL-YAHYAI *et al.*, 2012; CHARABI; GASTLI, 2011) tratam da utilização das ferramentas MCDM, AHP e GIS para a seleção de locais ótimos para a implementação de “fazendas eólicas” e “fonte de energia solar”. Assim, os artigos estão relacionados ao grupo “*Centrais de Distribuição e Geração de Energia*” e subgrupos *Wind e Solar*.

Os artigos dos Estados Unidos, (CHANG; MAKKEASORN, 2010; CHANG; PARVATHINATHAN; BREEDEN, 2008; HADDAD; ANDERSON, 2008; MIRHADI FARD; KIBERT; CHINI, 2016; OMITAOMU *et al.*, 2012; SADLER, 2016; SIDDIQUI; EVERETT; VIEUX, 1996) apresentam a combinação do GIS com o *Fuzzy Multicriteria Decision Making* (FMCDM). Os principais grupos estudados são o de *Locais de Tratamento e Disposição de Resíduos*, *Centrais de Distribuição e Geração de Energia*, *Healthcare Building Sites*, e *Industry Location Sites*.

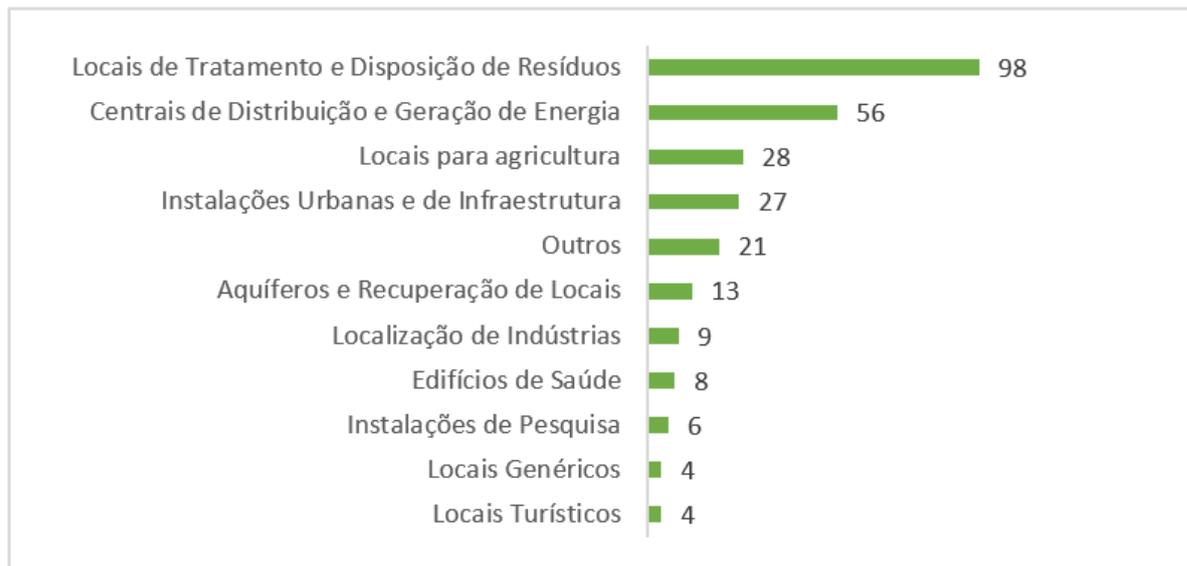
3.3.4 Grupos e subgrupos de aplicação do GIS/MCDA

Os grupos de aplicação do GIS/MCDA mais representativos, dentre os apresentados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, foram: Tratamento e Eliminação de Resíduos (CHABUK *et al.*, 2017; CHANG; PARVATHINATHAN; BREEDEN, 2008; EVERETT; MEMBER; VIEUX, 1996; WANG, GUIQIN *et al.*, 2009), Distribuição de Energia (CHARABI; GASTLI, 2011; PAMUCAR *et al.*, 2017; TEGOU; POLATIDIS;

HARALAMBOPOULOS, 2010; UYAN, 2014), Locais para agricultura (ANANE *et al.*, 2012; BASNET; APAN; RAINE, 2001; DÍAZ *et al.*, 2017; HOSSAIN *et al.*, 2009) e Instalações Urbanas e Estruturas (LI, XIA; YEH, 2005; LIU, NAN; HUANG; CHANDRAMOULI, 2006; MUSAKWA *et al.*, 2015; ROIG-TIERNO *et al.*, 2013).

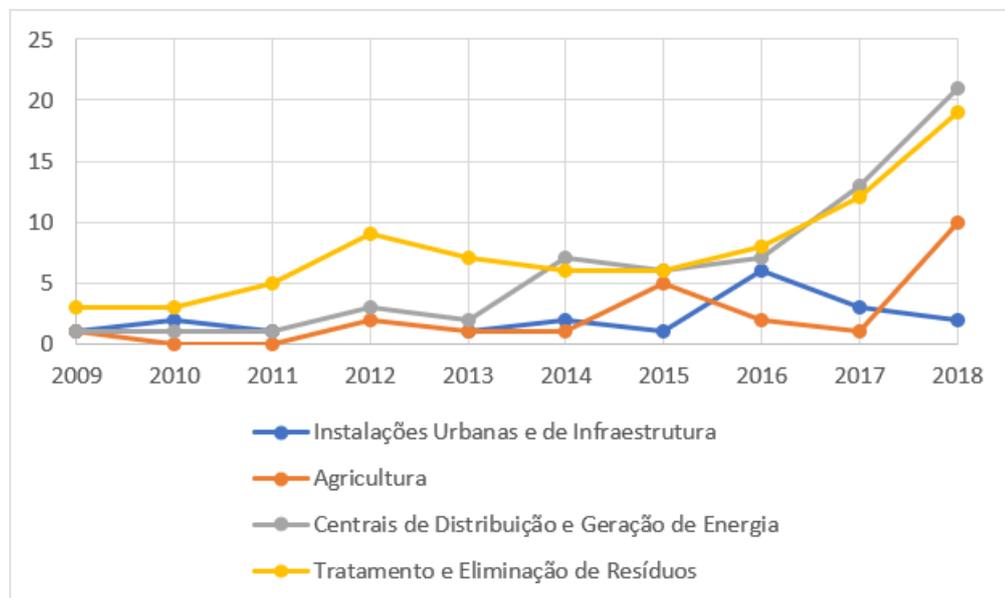
Optou-se pelo detalhamento dos quatro principais grupos da Figura 17 devido ao grande número de publicações e alta quantidade de artigos publicados nos últimos 10 anos, Figura 18.

Figura 17 – Domínios de aplicação



Fonte: Autores

Figura 18 – Domínios de aplicação – publicações por ano



Fonte: Autores

Ressalta-se que o grupo “Tratamento e Eliminação de Resíduos” não aparece na Figura 19, Figura 21, ou Figura 23, devido ao fato de que o mesmo não foi dividido em subgrupos, assim como os outros grupos com menor número de artigos. Identificou-se uma tendência crescente nos grupos de Centrais de Distribuição e Geração de Energia, Tratamento e Eliminação de Resíduos e Agricultura, enquanto que houve uma tendência decrescente para o grupo de Instalações Urbanas e de Infraestrutura.

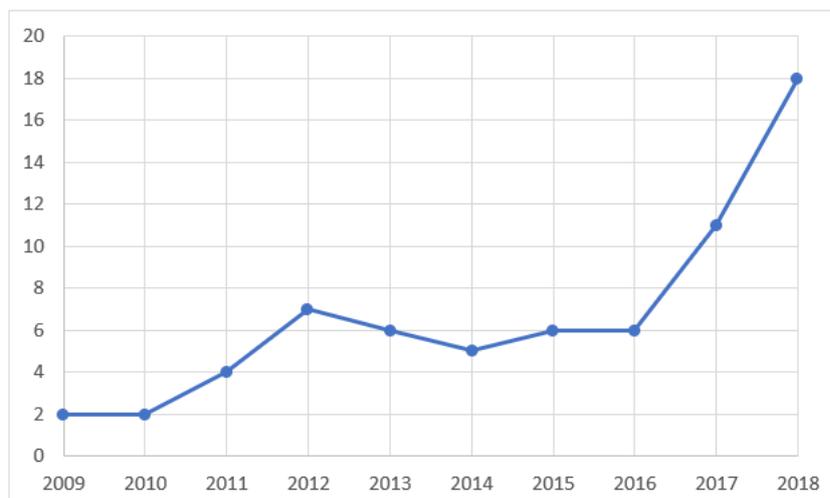
Figura 19 – Subgrupos de Tratamento e Eliminação de Resíduos



Fonte: Autores

O grupo de Tratamento e Eliminação de Resíduos tem como característica principal, Figura 19, a escolha de locais apropriados para o tratamento e eliminação de resíduos. O seu principal subgrupo é o de aterros sanitários, que apresentou forte tendência de crescimento no número de publicações nos últimos 10 anos, Figura 20.

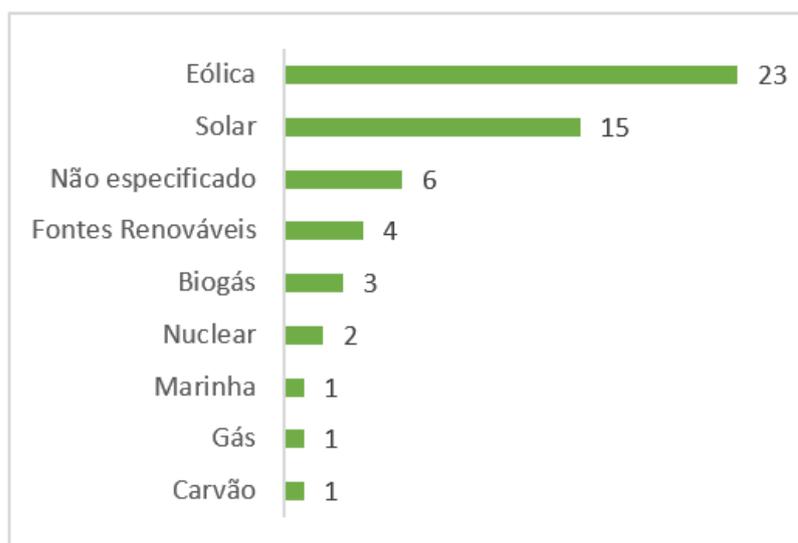
Figura 20 – Aterro sanitário – publicações por ano



Fonte: Autores

A importância desse subgrupo se justifica, já que a escolha dos locais para os aterros tem grande impacto econômico, ecológico e ambiental na região em que são implantados (CHANG; PARVATHINATHAN; BREEDEN, 2008). Esse subgrupo corresponde a cerca 84%, dos artigos selecionados, no grupo em questão, destacando-se os artigos (FEO; DE GISI, 2014; GORSEVSKI *et al.*, 2012; KAHVAND *et al.*, 2015; RAHMAT *et al.*, 2017). Nota-se que 22 artigos abordam estudos de caso, em um total de 40%, (DEMESOUKA; VAVATSIKOS; ANAGNOSTOPOULOS, 2013; GBANIE *et al.*, 2013; GORSEVSKI *et al.*, 2012; KAHVAND *et al.*, 2015; MOEINADDINI *et al.*, 2010; ŞENER; SENER; KARAGÜZEL, 2011; ŞENER *et al.*, 2010; ZELENović VASILJEVIĆ *et al.*, 2012). Os demais subgrupos incluem plantas de incineração, gerenciamento do lixo, eliminação de resíduos perigosos, instalações de tratamento de água poluída, lixeiras, entre outros.

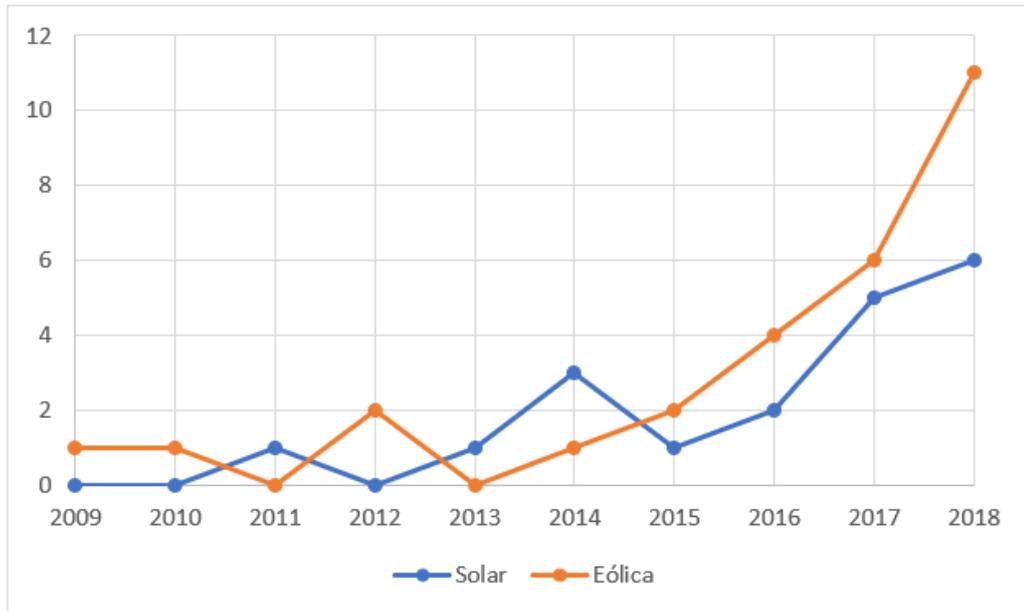
Figura 21 – Subgrupos de distribuição de energia



Fonte: Autores

O grupo de Distribuição de Energia, Figura 21, tem sua relevância destacada pela inclusão de temas como energia eólica (AL-YAHYAI *et al.*, 2012; LATINOPOULOS; KECHAGIA, 2015), solar (KESHAVARZ ESHKALAG *et al.*, 2014; SÁNCHEZ-LOZANO *et al.*, 2014), que correspondem juntos a mais de 70% do total de artigos, energias renováveis em geral (OMITAOMU *et al.*, 2012; YONCA; KENTEL; DUZGUN, 2013). Esses subgrupos também apresentaram forte tendência de crescimento no número de publicações nos últimos 10 anos, Figura 22.

Figura 22 – Energia solar e eólica – publicações por ano



Fonte: Autores

Biogás, nuclear, marítima, e demais listadas na Figura 21 compõem o restante dos subgrupos estudados. A seleção de locais apropriados para a inclusão das fontes geradoras baseadas nessas energias deve compreender os aspectos econômicos, técnicos, sociais e ambientais (TEGOU; POLATIDIS; HARALAMBOPOULOS, 2010). Dos aspectos ambientais se destacam os possíveis impactos como o visual, geração de barulho, interferência eletromagnética e questões de segurança (TEGOU; POLATIDIS; HARALAMBOPOULOS, 2010).

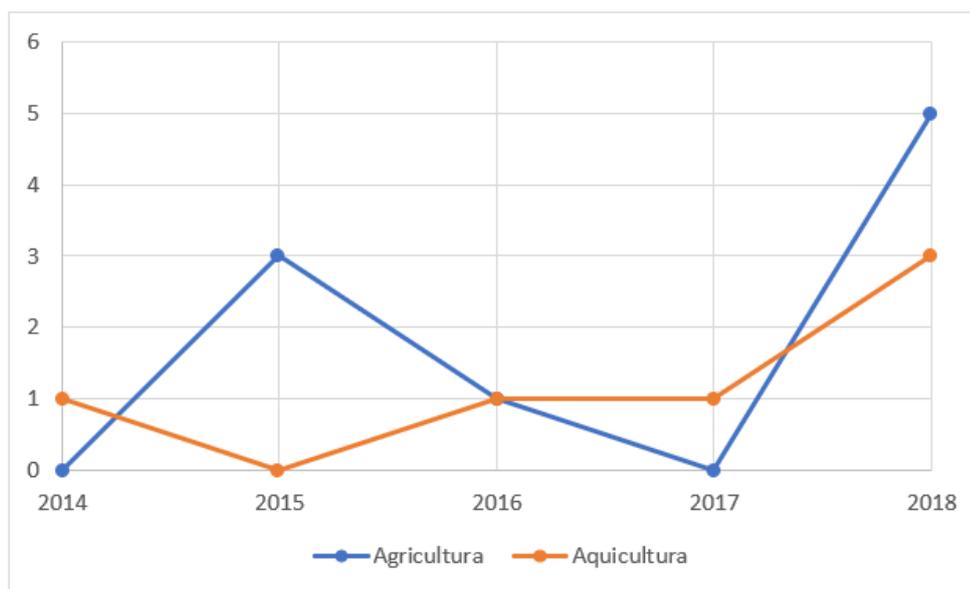
Figura 23 – Subgrupos de agricultura



Fonte: Autores

Os Locais de Cultivo aparecem na terceira posição, Figura 18, quanto a aplicação das ferramentas MCDA e SIG. Seu principais subgrupos, Figura 23, compreendem a aquicultura (AGARWAL *et al.*, 2011; MIGHTY, 2015), agricultura (AGUILAR-MANJARREZ, 1995; PÉREZ; TELFER; ROSS, 2005), criação animal, instalações agrícolas genéricas e outras não especificadas. Diferente das últimas tendências apresentadas, o volume de publicações desses subgrupos apresentou número expressivo apenas nos últimos 5 anos (Figura 24).

Figura 24 – Principais subgrupos de agricultura – publicações por ano



Fonte: Autores

No entanto, não há clara tendência de aumento no número de publicações, já que as estas se mantiveram constantes ou decresceram em 2017. As aplicações das ferramentas mencionadas são muito importantes pois os Locais de Cultivo podem gerar impactar diretamente no sucesso e na sustentabilidade dos projetos (HOSSAIN *et al.*, 2009).

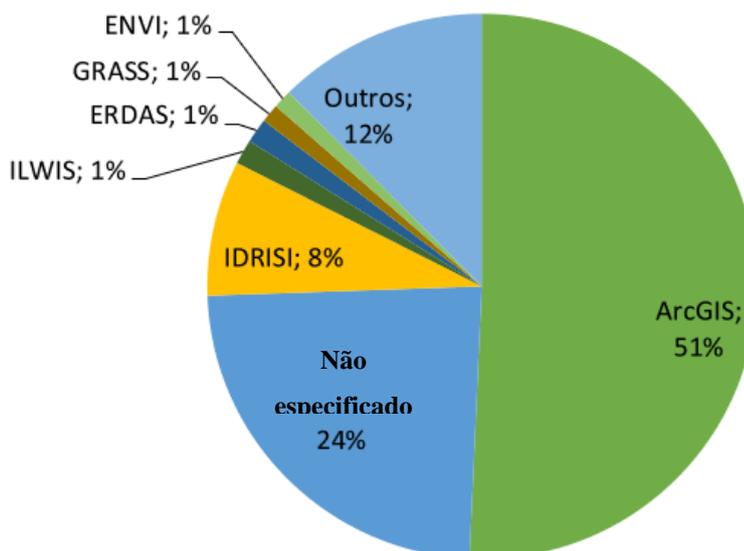
Por fim, as Instalações Urbanas e Estruturadas, apesar de não estarem classificadas em subgrupos, utilizam amplamente as ferramentas MCDA e SIG. As suas aplicações podem variar desde a localização de estações de bombeiros (LIU, NAN; HUANG; CHANDRAMOULI, 2006) a armazéns de distribuição do setor varejista (ROIG-TIERNO *et al.*, 2013).

3.3.5 Principais softwares GIS/MCDA

Os autores ressaltam a importância dos softwares utilizados para a seleção de locais GIS-MCDA nos trabalhos considerados, Figura 25. O grande destaque, nesse caso, é o ArcGIS, que é utilizado em 51% dos artigos analisados. Observa-se que em 24% dos trabalhos, o software

utilizado não é especificado e o software Idrisi (8%) teve seu nome alterado e atualmente se chama TerrSet, como consta no site da empresa.

Figura 25 – Tipo de *Software* GIS utilizado



Fonte: Compilado pelos Autores.

Resolver os problemas complexos para seleção de locais requerem um uso integrado de informação, domínio sobre conhecimentos específicos e meios eficientes de comunicação, o ArcGIS foi desenvolvido para auxiliar nesses aspectos. O software é uma ferramenta integrada para a aplicação profissional do GIS, desenvolvido pela *Environmental systems Research Institute* e baseado em uma biblioteca de componentes modulares chamada *ArcObjects* (ELDRANDALY, 2007).

Os autores justificaram o uso do ArcGIS pelo fato de o software oferecer ferramentas que permitem o uso de diferentes métodos de interpolação (NEKHAY; ARRIAZA; BOERBOOM, 2009), a adição de pacotes de extensões associadas a funções GIS que permitem a realização de tarefas específicas (BOROUSHAKI; MALCZEWSKI, 2010), ferramentas como a '*Topo to Raster*' (GBANIE *et al.*, 2013), entre outras.

Observa-se que com exceção do GVSig e o QGIS, 4,38% do total, todos os outros softwares são pagos.

3.3.6 Propostas para continuidade das pesquisas relatadas na bibliografia analisada

Em busca de tendências para publicações futuras, foram analisados todos os artigos do ano de 2018, representando 28% da amostra total. Desses, nem todos apresentaram propostas para trabalhos futuros. Apesar de ao longo desta dissertação possíveis caminhos para publicações tenham sido apresentados, esse tópico apresenta sugestões de questões de pesquisa para trabalhos futuros, sendo estas apresentadas no Quadro 5. As questões são baseadas nas publicações de 2018 e nas tendências evidenciadas nesta dissertação.

Quadro 5 – Trabalhos futuros – possíveis questões de pesquisa

Questões de pesquisa sugeridas para trabalhos futuros com base nos artigos analisados		
Grupo	Subgrupo	Questão de pesquisa sugerida
Ecoturismo		Quais são os locais ideais para diferentes tipos de turismo, como “turismo de religião, turismo de caça, etc” para um planejamento turístico eficaz? (What are the optimum locations for different types of tourism as “Religion tourism, hunting tourism, golf tourism” for effective tourism planning?)
Centrais de Distribuição e Geração de Energia	Eólica	Como as partes interessadas e a participação do público podem ser envolvidas na etapa de avaliação? (How can the stakeholders and public participation be involved in the evaluation stage?)
		Para classificar as alternativas, qual modelo seria o modelo baseado em GIS mais eficiente usando o processo de hierarquia fuzzy do intervalo tipo 2, TOPSIS ou MARBAC? (In order to rank alternatives, which model would be more efficient GIS-based model using interval type-2 fuzzy hierarchy process, TOPSIS or MARBAC?)
Cultivo	Aquacultura	Como as partes interessadas e a participação do público podem estar envolvidas no processo de seleção do peso e na avaliação quantitativa da incerteza nos outros estágios da análise, especialmente na produção de mapas de superfície e na seleção de métodos? (How can the stakeholders and public participation be involved in the weight’s selection process and quantitative assessment of uncertainty in the other stages of the analysis, especially surface maps production and method selection?)
	Criação animal	Qual a influência de fatores infraestruturais e socioeconômicos na criação animal? Por exemplo, na criação de camarão. (What is the influence of infrastructural and socioeconomic factors on prawn farming?)
Tratamento e disposição de resíduos	Aterro Sanitário	Como as partes interessadas e a participação do público podem estar envolvidas na avaliação do desempenho e funcionamento de aterros selecionados cientificamente? (How can the stakeholders and public participation be involved in assessing the performance and functioning of scientifically selected landfill sites?)
		Para localizar locais adequados para a instalação em aterros, qual é o impacto de critérios estratégicos e econômicos, como questões políticas, projetos de visão de futuro e serviços públicos? (To locate suitable places for landfill sitting, what is the impact of strategic and economic criteria such as political issue, future vision project, and public utilities?)

Fonte: Compilado pelos Autores

Notou-se que vários artigos sugerem como proposta para trabalhos futuros, a extensão e desenvolvimento dos seus próprios modelos. Os principais modelos, de acordo com as tendências identificadas, foram compilados no Quadro 6.

Quadro 6 – Trabalhos futuros – Melhoria de modelos existentes

Melhoria dos Métodos Propostos		
Grupo	Subgrupo	Referência
Armazenamento e Recuperação de Aquíferos		(KAZAKIS, 2018)
Centrais de Distribuição e Geração de Energia	Eólica	(DÍAZ-CUEVAS <i>et al.</i> , 2018; LOUKOGEORGAKI; VAGIONA; VASILEIOU, 2018; SOLANGI <i>et al.</i> , 2018)
	Solar	(FANG; LI; SONG, 2018; YOUSEFI; HAFEZNIYA; YOUSEFI-SAHZABI, 2018)
Cultivo	Aquacultura	(BAGDANAVIČIŪTĖ <i>et al.</i> , 2018; SZALAJ <i>et al.</i> , 2018; YIN <i>et al.</i> , 2018)
	Agricultura	(KAHSAY, A <i>et al.</i> , 2018; KAHSAY, ARAYA <i>et al.</i> , 2018)
Localização Industrial		(DEVECI; AKYURT; YAVUZ, 2018)
Instalações de transporte e logística		(NEISANI SAMANI; KARIMI; ALESHEIKH, 2018; ÖNDEN; ACAR; ELDEMIR, 2018)
Instalações e estruturas urbanas		(RASTANDEH; BROWN; PEDERSEN ZARI, 2018; ROIG-TIERNO <i>et al.</i> , 2018)
Tratamento e disposição de resíduos	Aterro Sanitário	(AL-ANBARI; THAMEER; AL-ANSARI, 2018; AL-RUZOUQ <i>et al.</i> , 2018; SPIGOLON <i>et al.</i> , 2018)
Reservatórios de água		(JOZAGHI <i>et al.</i> , 2018; WONDIM; DZWAIRO, 2018)

Fonte: Autores

3.4 PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO INTEGRADA GIS E MCDA

Por meio da leitura e análise dos artigos selecionados nos capítulos 2 e 4, notou-se a necessidade da elaboração de uma proposta de implementação integrada entre o GIS e o MCDA. O Quadro 7 descreve as etapas propostas pelos artigos mencionados, os quais detalharam as suas metodologias, no Quadro 6.

Pela a análise dos artigos mencionados no Quadro 7, pode-se compreender os possíveis problemas da aplicação em métodos conjuntos, assim como vantagens, ganhos, dificuldades e principais contribuições.

Considerando a contribuição dos métodos conjuntos, Spigolon et al. (2018) destaca que as principais vantagens de se utilizar o AHP e o GIS, foram: a facilidade de manipulação e

compreensão; e a produção de dados qualitativos e quantitativos. O uso do MCDA por meio de um AHP permite a identificação de soluções para problemas complexos e envolve interesses e opiniões diferentes das partes interessadas. Os GISs e os AHPs são versáteis, o que permite a incorporação de novas informações e a subsequente aplicação em outras áreas de estudo. Sendo esta última fundamental para a aplicação em estudos acadêmicos.

Loukogeorgaki; Vagiona, e Vasileiou (2018), argumentam que, especificamente, considerando um conjunto de critérios de avaliação relacionados a fatores econômicos, técnicos e sócio-políticos e calculando o valor do desempenho ambiental em um estágio inicial de planejamento em procedimentos multidimensionais para a seleção de locais, a integração de ferramentas analíticas, como GIS e análise de decisão multicritério, contribuem para a obtenção da solução ótima.

Por fim, observou-se no trabalho de Al-Ruzouq et al. (2018), que a integração do GIS e do MCDA compõem uma ferramenta ideal para a seleção de locais de aterro sanitário, uma vez que um GIS pode gerenciar grandes volumes de dados espaciais de várias fontes, além de fornecer uma apresentação eficiente dos dados, enquanto que o MCDA produz uma coletânea consistente de possíveis alternativas, compondo um catálogo de opções ótimas.

As principais vantagens foram apresentadas por Yin et al. (2018) e Deveci; Akyurt; Yavuz, (2018). Yin et al. (2018), cita que, pelo uso de questionários, os pesos atribuídos a cada critério puderam trazer para o MCDA e ao GIS, além de maior participação, o conhecimento dos *stakeholders* no processo de tomada de decisão. Essa integração promove o engajamento das partes interessadas ao projeto. Já Deveci; Akyurt; Yavuz, (2018), com foco no aspecto técnico, argumentaram que o GIS aliado a técnicas de MCDA fornece uma ferramenta poderosa para facilitar qualquer processo de seleção de locais. O GIS possui recursos exclusivos para automação e análise espacial, enquanto que, o MCDA é usado para lidar com informações complexas em grandes quantidades, permitindo uma avaliação consistente de áreas potenciais com base em vários critérios.

Quadro 7 – Descrição das etapas propostas pelos artigos

Etapas (MDCA = 1/ GIS = 2)	(YOUSEFI; HAFEZNIA; YOUSEFI- SAHZABI, 2018)	(SZALA J <i>et al.</i> , 2018)	(YIN <i>et al.</i> , 2018)	(SOLANGI <i>et al.</i> , 2018)	(BAGDANA VIČIŪTĖ <i>et</i> <i>al.</i> , 2018)	(DEVECI; AKYURT; YAVUZ, 2018)	(AL- RUZOUQ <i>et al.</i> , 2018)	Método Proposto
(1) Definir objetivos	X	X	X	X	X	X	X	X
(1) Identificar parâmetros importantes para escolha do local (Literatura)	X	X	X	X	X	X	X	X
(1) Identificar parâmetros importantes para escolha do local (Survey)				X				X
(1) Definição dos pesos dos parâmetros	X	X			X	X	X	X
(1) Utilização de métodos combinados (ex. Fuzzy, Boolean)	X			X		X		
(1) Aplicação de uma das metodologias do MDCA (ex. AHP)			X	X	X		X	X
(2) Preparo dos dados coletados	X	X	X		X	X	X	X
(2) Criação das camadas do GIS	X	X	X	X	X	X	X	X
(2) Processar os dados das camadas do GIS	X	X			X	X	X	X
(2) Preparar mapas de fatores e restrições	X	X	X	X	X		X	X
(2) Adicionar mapas gerados pelos métodos combinados	X			X		X		
(2) Priorização das alternativas de locais				X				X
(2) Realizar análise e escolha dos locais apropriados	X	X	X	X	X	X	X	X

*Nota: a ordem das etapas mencionadas no quadro variam de acordo com o artigo estudado.

As maiores dificuldades citadas pelos autores, concentram-se: na delimitação do tamanho das amostras de stakeholders entrevistados (YIN et al., 2018); falta de sazonalidade, já que as variáveis podem incluir padrões de produtividade que variam com a época do ano, como por exemplo, épocas de reprodução animal (SZALAJ et al., 2018); dificuldade de integração de diferentes tipos de dados, disciplinas e instituições (SZALAJ et al., 2018). Mesmo o fato de o ambiente GIS suportar a integração da análise espacial com outras ferramentas, a falta de séries temporais acaba impedindo a inclusão de modelos preditivos estatísticos com capacidade de reduzir a incerteza relacionada à variabilidade das variáveis analisadas (SZALAJ et al., 2018), ainda, para se obter uma alta capacidade preditiva são necessários conjuntos de dados com alta precisão e resolução, na prática representando uma limitação especialmente em países em desenvolvimento, em que há falta de dados precisos, confiáveis e oportunos (YIN et al., 2018).

O Quadro 8 indica as etapas propostas.

Quadro 8 – Proposta de Implementação GIS e MCDA

Estágios	Etapa	Descrição
(1) MDCA	1. Definir objetivos	Realizar uma survey com as partes interessadas para a avaliação dos locais pré-selecionados e determinar o peso dos critérios de seleção.
(2) GIS	2. Coletar dados	Coleta de dados no GIS para elaboração dos mapas.
	3. Processar dados	Conversão e adequação dos mapas através de um software GIS.
	4. Aplicar Critérios	Aplicação dos critérios de seleção da etapa 1.
	5. Sobrepor Camadas	Sobreposição dos mapas criados.
	6. Selecionar Locais	Identificação dos locais ótimos.
(3) MDCA	7. Determinar Pesos	Determinar o peso dos critérios de seleção.
	8. Avaliar impactos	Avaliação dos impactos na população, no meio ambiente, meio econômico, transporte, entre outros.
	9. Aplicar técnica MCDA	Aplicação de uma das técnicas MDCA, como o AHP, para calcular a pontuação de cada um dos locais pré-selecionados de acordo com os critérios da etapa 1.
	10. Realizar análise e escolha dos locais apropriados	Classificação e priorização dos melhores locais.

Fonte: Autores

A implementação é realizada em três estágios, iniciando-se pela aplicação da etapa 1 do MDCA, seguido pelo GIS, com cinco etapas, e novamente com o MCDA, com quatro etapas finais. O

modelo proposto possui a mesma quantidade de etapas que o de Chang; Parvathinathan; e Breeden (2008), no entanto, os métodos diferem já que os critérios selecionados a priori na etapa 1 são aplicados duas vezes na proposta, nas etapas 4 e 9. A etapa 1 busca aumentar a eficiência do modelo, uma vez que os critérios das partes interessadas passam a ter um peso desde a coleta de dados na etapa 2. Ainda, temos que a proposta apresenta uma consideração mais abrangente que a do Deveci; Akyurt; e Yavuz (2018), tendo como principal diferença a inclusão da etapa 8, os métodos combinados foram retirados do método devido a não serem necessários em todas as aplicações conjuntas de GIS e MCDA. Por fim, sugere-se a aplicação e teste da proposta de implementação integrada GIS e MCDA para um refinamento da mesma, adicionando propostas para aplicações específicas como as dos principais domínios de aplicação citados na Figura 17.

As etapas propostas no Quadro 8 visam aumentar a eficiência na aplicação do GIS e MCDA com base nas etapas, vantagens e limitações apresentadas pelos autores do Quadro 7 e da fundamentação teórica. Sugere-se para trabalhos futuros, que o modelo seja testado empiricamente para que seja otimizado.

4. CONCLUSÕES E PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

O estudo identificou que os principais Periódicos os quais os autores tem publicado sobre o tema estão diretamente relacionados ao meio ambiente e gerenciamento de resíduos. Os países que mais tem publicado na área, assim como o aumento do número de publicações nos últimos anos, indicam um forte crescimento, principalmente no ano de 2018, do tema na Ásia Ocidental. No entanto, o *Citation Index*, aponta para uma tendência global, com países da América do Norte, Europa e Ásia.

Todos os artigos selecionados foram analisados por meio de uma leitura transversal, e em alguns casos completa, e não apenas com o uso de softwares. Os artigos mais relevantes, evidenciam a aplicabilidade prática do tema, exemplificado pela escolha de locais para aterros sanitários e hospitais. Complementarmente, os principais grupos, em termos de áreas de aplicação, são os relacionados aos Locais de Tratamento e Disposição de Resíduos, Centrais de Distribuição e Geração de Energia, Locais para agricultura, e Instalações Urbanas e de Infraestrutura. Esses grupos evidenciam que o uso das ferramentas MCDA e SIG estão diretamente relacionados com atividades que tem impacto econômico, ecológico, ambiental e social, sendo está a tendência do desenvolvimento do tema para os próximos anos. Mais especificamente, as tendências apontam para o desenvolvimento de artigos com foco em Aterros Sanitários, Energia Solar e Eólica, Aquicultura e Agricultura. Utilizando o software ArcGIS como principal ferramenta de trabalho e com o objetivo final de aprimoramento e extensão dos modelos já existentes na literatura.

A proposta de implementação integrada do GIS e do MDCA, composta por 10 etapas, visa simplificar e padronizar as metodologias existentes, assim como atender as necessidades apresentadas pelos artigos analisados no trabalho. No entanto, sugere-se que o método proposto seja empiricamente testado por meio de aplicações em estudos de caso e modelagem.

Outras propostas de trabalhos futuros incluem a aplicação de revisões sistemáticas e de literatura via softwares e fazer a comparação dos resultados com o método aplicado na dissertação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACHILLAS, Charisios *et al.* The use of multi-criteria decision analysis to tackle waste management problems: A literature review. *Waste Management and Research*, v. 31, n. 2, p. 115–129, 2013.
- ADUNLIN, Georges; DIABY, Vakaramoko; XIAO, Hong. Application of multicriteria decision analysis in health care: A systematic review and bibliometric analysis. *Health Expectations*, v. 18, n. 6, p. 1894–1905, 2014.
- AFSHARI, Alireza; MOJAHED, Majid; YUSUFF, Rosnah Mohd. Simple Additive Weighting approach to Personnel Selection problem. *International Journal of Innovation, Management and Technology*, v. 1, n. 5, p. 511–515, 2010.
- AFZALI, Afsaneh *et al.* Inter-Municipal Landfill Site Selection Using Analytic Network Process. *Water Resources Management*, v. 28, n. 8, p. 2179–2194, 2014.
- AGARWAL, Prince *et al.* A review of multi-criteria decision making techniques for supplier evaluation and selection. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, v. 2, n. 4, p. 801–810, 2011.
- AGUILAR-MANJARREZ, Jose. Geographical information system (GIS) environmental models for aquaculture development in Sinaloa State , Mexico Aguilar-Manjarrez , J ., and Ross , L . G . 1995 . Geographical Information System (GIS) environmental models for aquaculture development . v. 115, n. May 2017, p. 103–115, 1995.
- AHN, T.; CHARNES, A.; COOPER, W.W. USING DATA ENVELOPMENT ANALYSIS TO MEASURE THE EFFICIENCY OF NOT-FOR-PROFIT ORGANIZATION A CRITICAL EVALUATION-COMMENT. *CENTER FOR CYBERNETIC STUDIES*, 1987.
- AL-ANBARI, Mohammad A.; THAMEER, Mohanad Y.; AL-ANSARI, Nadhir. Landfill site selection by weighted overlay technique: Case study of Al-Kufa, Iraq. *Sustainability (Switzerland)*, v. 10, n. 4, p. 1–11, 2018.
- AL-HARBI, Kamal M Al-subhi. Application of the AHP in project management. *International Journal of Project Management*, v. 19, p. 19–27, 2001.
- AL-RUZOUQ, Rami *et al.* 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-YAHYAI, Sultan *et al.* Wind farm land suitability indexing using multi-criteria analysis.

Renewable Energy, v. 44, p. 80–87, 2012.

ANANDA, Jayanath; HERATH, Gamini. A critical review of multi-criteria decision making methods with special reference to forest management and planning. *Ecological Economics*, v. 68, n. 10, p. 2535–2548, 2009.

ANANE, Makram *et al.* Ranking suitable sites for irrigation with reclaimed water in the Nabeul-Hammamet region (Tunisia) using GIS and AHP-multicriteria decision analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 65, p. 36–46, 2012.

ATICI, Kazim Baris *et al.* A GIS-based Multiple Criteria Decision Analysis approach for wind power plant site selection. *Utilities Policy*, v. 37, p. 86–96, 2015.

AZEVÊDO, Verônica Wilma B.; CANDEIAS, Lúcia B.; TIBA, Chigueru. Location study of solar thermal power plant in the state of Pernambuco using geoprocessing technologies and Multiple-Criteria analysis. *Energies*, v. 10, n. 7, 2017.

AZIZI, Ali *et al.* Land suitability assessment for wind power plant site selection using ANP-DEMATEL in a GIS environment: case study of Ardabil province, Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 186, n. 10, p. 6695–6709, 2014.

BAGDANA VIČIŪTĖ, Ingrida *et al.* GIS-based multi-criteria site selection for zebra mussel cultivation: Addressing end-of-pipe remediation of a eutrophic coastal lagoon ecosystem. *Science of the Total Environment*, v. 634, p. 990–1003, 2018.

BASNET, BADRI B.; APAN, ARMANDO A.; RAINE, STEVEN R. Selecting suitable sites for animal waste application using a raster GIS. *Environmental Management*, v. 28, n. 4, p. 519–531, 2001.

BENAYOUN, R.; B. ROY; SUSSMAN., B. ELECTRE: Une méthode pour guider le choix en présence de points de vue multiples. *SEMA-METRA International*, 1966.

BERTOLINI, M; BRAGLIA, M.; CARMIGNANI, G. Application of the AHP methodology in making a proposal for a public work contract. *International Journal of Project Management*, v. 24, p. 422–430, 2006.

BOROUSHAKI, Soheil; MALCZEWSKI, Jacek. Computers & Geosciences Using the fuzzy majority approach for GIS-based multicriteria group. *Computers and Geosciences*, v. 36, n. 3, p. 302–312, 2010.

BOSOMPEM, Christian; STEMN, Eric; FEI-BAFFOE, Bernard. Multi-criteria GIS-based siting of transfer station for municipal solid waste: The case of Kumasi Metropolitan Area,

- Ghana. *Waste Management and Research*, v. 34, n. 10, p. 1054–1063, 2016.
- BRANS, J P; VINCKE, Ph. A Preference Ranking Organisation Method. *Management Science*, n. May 2019, 1985.
- BRAUERS, Willem Karel M; ZAVADSKAS, Edmundas Kazimieras. Project management by multimoora as an instrument for transition economies. *Technological and Economic Development of Economy*, v. 8619, 2010.
- BRAUERS, Willem; ZAVADSKAS, Edmundas. The MOORA method and its application to privatization in a transition economy. *Control and Cybernetics*, v. 35, n. 2, 2006.
- CARVER, Stephen J. Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems. *International Journal of Geographical Information Systems*, v. 5, n. 3, p. 321–339, 1991.
- CEGAN, Jeffrey C. *et al.* Trends and applications of multi-criteria decision analysis in environmental sciences: literature review. *Environment Systems and Decisions*, v. 37, n. 2, p. 123–133, 2017.
- CHABUK, Ali Jalil *et al.* GIS-based assessment of combined AHP and SAW methods for selecting suitable sites for landfill in Al-Musayiab Qadhaa, Babylon, Iraq. *Environmental Earth Sciences*, v. 76, n. 5, 2017.
- CHADEGANI, Arezoo Aghaei *et al.* A Comparison between Two Main Academic Literature Collections : Web of Science and Scopus Databases. *Asian Social Science*, v. 9, n. 5, p. 18–26, 2013.
- CHAI, Junyi; LIU, James N K; NGAI, Eric W T. Expert Systems with Applications Application of decision-making techniques in supplier selection : A systematic review of literature. *Expert Systems With Applications*, v. 40, n. 10, p. 3872–3885, 2013.
- CHANG, Ni Bin; MAKKEASORN, Ammarin. Optimal Site Selection of Watershed Hydrological Monitoring Stations Using Remote Sensing and Grey Integer Programming. *Environmental Modeling and Assessment*, v. 15, n. 6, p. 469–486, 2010.
- CHANG, Ni Bin; PARVATHINATHAN, G.; BREEDEN, Jeff B. Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region. *Journal of Environmental Management*, v. 87, n. 1, p. 139–153, 2008.
- CHARABI, Yassine; GASTLI, Adel. PV site suitability analysis using GIS-based spatial fuzzy multi-criteria evaluation. *Renewable Energy*, v. 36, n. 9, p. 2554–2561, 2011.

- CHEN, Chao-Rong; HUANG, Chi-Chen; TSUEI, Hung-Jia. A Hybrid MCDM Model for Improving GIS-Based Solar Farms Site Selection. *International Journal of Photoenergy*, v. 2014, p. 1–9, 2014.
- CHEN, Y; YU, J; KHAN, S. Environmental Modelling & Software Spatial sensitivity analysis of multi-criteria weights in GIS-based land suitability evaluation. *Environmental Modelling & Software*, v. 25, p. 1582–1591, 2010.
- CHOI, Tsan-Ming; CHENG, T. C. E.; ZHAO, Xiande. Multi-Methodological Research in Operations Management. *Production and Operations Management*, v. 25, n. 3, p. 379–389, 2016. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/poms.12534>>.
- CHOY, K L; LEE, W B; LO, Victor. An intelligent supplier management tool for benchmarking suppliers in outsource manufacturing. *Expert Systems with Applications*, v. 22, p. 213±224, 2002.
- CHURCH, RichardL. Geographical Information Systems and Science. *Computers & Operations Research*, v. 29, p. 541–562, 2002.
- DAI, F C; LEE, C F; ZHANG, X H. GIS-based geo-environmental evaluation for urban land-use planning : a case study. *Engineering Geology*, v. 61, p. 257±271, 2001.
- DAVIS, B. *GIS - a visual approach. Chapter 10: Site suitability and models. On Word Press*. 1. ed. Santa Fe, New Mexico.: [s.n.], 1996.
- DE ALMEIDA FILHO, Adiel T. *et al.* Preference modeling experiments with surrogate weighting procedures for the PROMETHEE method. *European Journal of Operational Research*, v. 264, n. 2, p. 453–461, 2018.
- DEMESOUKA, O. E.; VAVATSIKOS, A. P.; ANAGNOSTOPOULOS, K. P. Suitability analysis for siting MSW landfills and its multicriteria spatial decision support system: Method, implementation and case study. *Waste Management*, v. 33, n. 5, p. 1190–1206, 2013.
- DEVECI, Muhammet; AKYURT, Ibrahim Zeki; YAVUZ, Selahattin. A GIS-based interval type-2 fuzzy set for public bread factory site selection. *Journal of Enterprise Information Management*, v. 31, n. 6, p. 820–847, 2018.
- DIABY, V; CAMPBELL, K; GOEREE, R. Operations Research for Health Care Multi-criteria decision analysis (MCDA) in health care : A bibliometric analysis. *Operations Research for Health Care*, v. 2, p. 20–24, 2013.
- DIABY, Vakaramoko; CAMPBELL, Kaitryn; GOEREE, Ron. Multi-criteria decision

analysis (MCDA) in health care: A bibliometric analysis. *Operations Research for Health Care*, v. 2, n. 1–2, p. 20–24, 2013.

DÍAZ-CUEVAS, Pilar *et al.* Developing a wind energy potential map on a regional scale using GIS and multi-criteria decision methods: the case of Cadiz (south of Spain). *Clean Technologies and Environmental Policy*, v. 20, n. 6, p. 1167–1183, 2018.

DÍAZ, Ismael *et al.* Multiscalar land suitability assessment for aquaculture production in Uruguay. *Aquaculture Research*, v. 48, n. 6, p. 3052–3065, 2017.

ELDRANDALY, Khalid A. Integrating Expert Systems and GIS for Spatial Decision Making : Current. *Expert Systems Research Trends*, 2007.

ESKANDARI, Mahnaz; HOMAEE, Mehdi; MAHMUDI, Shahla. An integrated multi criteria approach for landfill siting in a conflicting environmental, economical and socio-cultural area. *Waste Management*, v. 32, n. 8, p. 1528–1538, 2012.

EVANS, Andrew J; KINGSTON, Richard; CARVER, Steve. Democratic input into the nuclear waste disposal problem : The influence of geographical data on decision making examined through a Web-based GIS. *J Geograph Syst (2004)*, v. 6, p. 117–132, 2004.

EVERETT, Jess W; MEMBER, Associate; VIEUX, Baxter E. Landfill siting using geograpic information systems: *Journal of Environmental Engineering*, v. 122, n. 6, p. 515–523, 1996.

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

FEO, Giovanni De; DE GISI, Sabino. Using MCDA and GIS for hazardous waste landfill siting considering land scarcity for waste disposal. *Waste Management*, v. 34, n. 11, p. 2225–2238, 2014.

FISHBURN, Peter C. Methods of Estimating Additive Utilities. *Management Science*, n. October 2015, 1967.

GABUS, A.; FONTELA, E. Perceptions of the world problematique: Communication procedure, communicating with those bearing collective responsibility. p. 11–18, 1973.

GADAKH, V S; SHINDE, V B; KHEMNAR, N S. Optimization of welding process parameters using MOORA method. *Int J Adv ManufTechnol*, 2013.

GAL, Tomas; STEWART, Theodor; HANNE, Thomas. *Multicriteria decision making:*

advances in MCDM models, algorithms, theory, and applications. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2013.

GARZA-REYES, Jose Arturo. Lean and green-a systematic review of the state of the art literature. *Journal of Cleaner Production*, v. 102, p. 18–29, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.064>>.

GBANIE, Solomon Peter *et al.* Modelling landfill location using Geographic Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA): Case study Bo, Southern Sierra Leone. *Applied Geography*, v. 36, p. 3–12, 2013.

GOLDBERG, D. E.; HOLLAND, J. H. Genetic Algorithms and Machine Learning. *Machine Learning*, p. 95–99, 1988.

GORSEVSKI, Pece V. *et al.* Integrating multi-criteria evaluation techniques with geographic information systems for landfill site selection: A case study using ordered weighted average. *Waste Management*, v. 32, n. 2, p. 287–296, 2012.

GORSEVSKI, Pece V; JANKOWSKI, Piotr. Computers & Geosciences An optimized solution of multi-criteria evaluation analysis of landslide susceptibility using fuzzy sets and Kalman filter. *Computers and Geosciences*, v. 36, n. 8, p. 1005–1020, 2010.

GORSEVSKI, Pece V; JANKOWSKI, Piotr; GESSLER, Paul E. An Heuristic approach for mapping landslide hazard integrating fuzzy logic with analytic hierarchy process. *Control and Cybernetics*, v. 35, n. 1, 2006.

GOVINDAN, Kannan *et al.* Multi criteria decision making approaches for green supplier evaluation and selection : a literature review. *Journal of Cleaner Production*, v. 98, p. 66–83, 2015.

HADDAD, Mônica A.; ANDERSON, Paul F. A GIS methodology to identify potential corn stover collection locations. *Biomass and Bioenergy*, v. 32, n. 12, p. 1097–1108, 2008.

HADIPOUR, Abouzar; VAFAIE, Freydoon; HADIPOUR, Vahid. Land suitability evaluation for brackish water aquaculture development in coastal area of Hormozgan, Iran. *Aquaculture International*, v. 23, n. 1, p. 329–343, 2014.

HAJIAGHA, Seyed Hossein Razavi; HASHEMI, Shide Sadat; ZAVADSKAS, Edmundas Kazimieras. A COMPLEX PROPORTIONAL ASSESSMENT METHOD FOR GROUP DECISION MAKING IN AN INTERVAL-VALUED INTUITIONISTIC FUZZY ENVIRONMENT. *Technological and economic development of economy*, v. 19, n. 1, p. 22–

37, 2013.

HAJKOWICZ, Stefan; COLLINS, Kerry. A Review of Multiple Criteria Analysis for Water Resource Planning and Management. *Water Resour Manage*, p. 1553–1566, 2007.

HARIZ, Husna Ali; DÖNMEZ, Cem Çağrı; SENNAROGLU, Bahar. Siting of a central healthcare waste incinerator using GIS-based Multi-Criteria Decision Analysis. *Journal of Cleaner Production*, v. 166, p. 1031–1042, 2017.

HAYASHI, Kiyotada. Multicriteria analysis for agricultural resource management : A critical survey and future perspectives. *European Journal of Operational Research*, v. 122, p. 486–500, 2000.

HEALEY, M.; ILBERY, B. Location and Change: Perspectives on Economic Geography. *Oxford University Press*, 1990.

HO, William; XU, Xiaowei; DEY, Prasanta K. Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review. *European Journal of Operational Research*, v. 202, n. 1, p. 16–24, 2010.

HOSSAIN, M. Shahadat *et al.* Integration of GIS and multicriteria decision analysis for urban aquaculture development in Bangladesh. *Landscape and Urban Planning*, v. 90, n. 3–4, p. 119–133, 2009.

HOSTMANN, Markus *et al.* Multi-Attribute Value Theory as a Framework for Conflict Resolution in River Rehabilitation. *JOURNAL OF MULTI-CRITERIA DECISION ANALYSIS*, v. 102, n. 2005, p. 91–102, 2005.

HUANG, Samuel H; KESKAR, Harshal. Comprehensive and configurable metrics for supplier selection. *Int. J. Production Economics*, v. 105, p. 510–523, 2007.

HWANG, C.-L. METHODS FOR MULTIPLE ATTRIBUTE DECISION MAKING. *Multiple Attribute Decision Making*. [S.l: s.n.], 1981. .

I. LINKOV, A. *et al.* MULTI-CRITERIA DECISION ANALYSIS : A FRAMEWORK FOR STRUCTURING REMEDIAL DECISIONS AT CONTAMINATED SITES. *Comparative Risk Assessment and Environmental Decision Making*, p. 15–54, 2004.

ISHIZAKA, A.; NEMERY, P. *Multi-criteria decision analysis: methods and software*. Wiley: Chichester, 2013.

IYAPPAN, L.; KASINATHA PANDIAN, P. Geoprocessing model for identifying potential wind farm locations. *IET Renewable Power Generation*, v. 10, n. 9, p. 1287–1297, 2016.

- JAHANGIRIAN, Mohsen *et al.* Simulation in manufacturing and business : A review. *European Journal of Operational Research*, v. 203, n. 1, p. 1–13, 2010.
- JANKOWSKI, P.; EWART, G. Spatial decision support system for health practitioners: selecting a location for rural health practice. *International Journal of Geographical Information Systems*, n. 3, p. 279–299, 1996.
- JANKOWSKI, P *et al.* Design Considerations and Evaluation of a Collaborative , Spatio-Temporal Decision Support System. *Transactions in GIS*, v. 10, n. 3, p. 335–354, 2006.
- JANKOWSKI, Piotr. Collaborative spatial decision making in environmental restoration management : an experimental approach. *Journal of Hydroinformatics* |, v. 2, n. 3, p. 197–206, 2000.
- JIANG, Hong; EASTMAN, J Ronald. Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS. *Int J. Geographical Information Science*, v. 14, n. 2, p. 173–184, 2000.
- JOZAGHI, Ali *et al.* 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, p. 494, 2018.
- KABIR, Golam; HASIN, M. Ahsan Akhtar. Multi-criteria inventory classification through integration of fuzzy analytic hierarchy process and artificial neural network Multi-criteria inventory classification through integration of fuzzy analytic hierarchy process and artificial neural network Gol. *Int. J. Industrial and Systems Engineering*, v. 13, n. October, 2013.
- KAHILA-TANI, Maarit; KYTTA, Marketta; GEERTMAN, Stan. Landscape and Urban Planning Does mapping improve public participation ? Exploring the pros and cons of using public participation GIS in urban planning practices. *Landscape and Urban Planning*, v. 186, p. 45–55, 2019.
- KAHRAMAN, Cengiz; ONAR, Sezi Cevik; OZTAYSI, Basar. Fuzzy Multicriteria Decision-Making: A Literature Review. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, v. 8, n. 4, p. 637–666, 2015.
- KAHSAY, A *et al.* 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.
- KAHSAY, Araya *et al.* GIS-based multi-criteria model for land suitability evaluation of rainfed teff crop production in degraded semi-arid highlands of Northern Ethiopia. *Modeling*

Earth Systems and Environment, v. 4, n. 4, p. 1467–1486, 2018.

KAHVAND, Meghdad *et al.* Urban solid waste landfill selection by SDSS. Case study: Hamadan. *Environment Protection Engineering*, v. 41, n. 2, p. 47–56, 2015.

KAMALI, Mohammadreza *et al.* Application of Delphi-AHP and Fuzzy-GIS Approaches for Site Selection of Large Extractive Industrial Units in Iran. *Journal of Settlements and Spatial Planning*, v. 6.1, n. July, p. 9–17, 2015.

KANGAS, Jyrki *et al.* MCDM Methods in Strategic Planning of Forestry on State-Owned Lands in Finland : Applications and Experiences. *JOURNAL OF MULTI-CRITERIA DECISION ANALYSIS*, v. 10, p. 257–271, 2001.

KARAMI, Omid; MALEKNIA, Rahim; PIRAN, Heshmat. An integrated GIS-based analytic network process to land suitability evaluation for forest park location, case study: Badreh country, Ilam, Iran. *Advances in Environmental Biology*, v. 8, n. 2, p. 342–350, 2014.

KARNI, Reuven; FEIGIN, Paul; BREINER, Avishai. Case Study Multicriterion issues in energy policymaking. *European Journal of Operational Research*, v. 56, p. 30–40, 1992.

KAZAKIS, Nerantzis. Delineation of suitable zones for the application of Managed Aquifer Recharge (MAR) in coastal aquifers using quantitative parameters and the analytical hierarchy process. *Water (Switzerland)*, v. 10, n. 6, 2018.

KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. *Decision with multiple objectives: preferences and value trade-offs*. New York: John Wiley & Sons, 1976.

KERŠULIENE, Violeta; ZAVADSKAS, Edmundas Kazimieras; TURSKIS, Zenonas. Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (Swaru). *Journal of Business Economics and Management*, v. 11, n. 2, p. 243–258, 2010.

KESHAVARZ ESHKALAG, Mahsa *et al.* Assessment of regions priority for implementation of solar projects in Iran: New application of a hybrid multi-criteria decision making approach. *Energy Conversion and Management*, v. 86, p. 653–663, 2014.

KHADEMALHOSEINY, Mohammad Saeed; AHMADI NADOUSHAN, Mozghan; RADNEZHAD, Hadi. Site selection for landfill gas extraction plant by fuzzy analytic hierarchy process and fuzzy analytic network process in the city of Najafabad, Iran. *Energy and Environment*, v. 28, n. 7, p. 763–774, 2017.

KLOSTERMAN, Richard E. Planning support systems: A new perspective on computer-

- aided planning. *Journal of Planning Education and Research*, v. 17, n. 1, p. 45–54, 1997.
- KUMAR, Abhishek *et al.* A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 69, n. June 2016, p. 596–609, 2017.
- LAI, Vincent S; WONG, Bo K; CHEUNG, Waiman. Group decision making in a multiple criteria environment : A case using the AHP in software selection. *European Journal of Operational Research*, v. 137, p. 134–144, 2002.
- LATINOPOULOS, D.; KECHAGIA, K. A GIS-based multi-criteria evaluation for wind farm site selection. *Renewable Energy*, v. 78, p. 550–560, 2015.
- LI, Feng; LI, Zong-kun; YANG, Chuan-bin. Risk Assessment of Levee Engineering Based on Triangular Fuzzy Number and Analytic Network Process and Its Application. *Computational Risk Management*, 2011.
- LI, Xia; YEH, Anthony Gar On. Integration of genetic algorithms and GIS for optimal location search. *International Journal of Geographical Information Science*, v. 19, n. 5, p. 581–601, 2005.
- LIU, Nan; HUANG, Bo; CHANDRAMOULI, Magesh. Optimal Siting of Fire Stations Using GIS and ANT Algorithm. *Journal of Computing in Civil Engineering*, v. 20, n. 5, p. 361–369, 2006.
- LIU, Xiaodi *et al.* Integrating LINMAP and TOPSIS methods for hesitant fuzzy multiple attribute decision making. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems* 28, v. 28, p. 257–269, 2015.
- LIU, Yun Zhi; FAN, Zhi Ping; GAO, Guang Xin. An extended LINMAP method for MAGDM under linguistic hesitant fuzzy environment. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, v. 30, n. 5, p. 2689–2703, 2016.
- LOOTSMA, F. A. Scale Sensitivity in the Multiplicative AHP and SMART. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, v. 2, n. February 1992, p. 87–110, 1993.
- LOUKOGEORGAKI, Eva; VAGIONA, Dimitra G.; VASILEIOU, Margarita. Site selection of hybrid offshore wind and wave energy systems in Greece incorporating environmental impact assessment. *Energies*, v. 11, n. 8, 2018.
- MAKROPOULOS, C. K. *et al.* A suitability evaluation tool for siting wastewater treatment facilities in new urban developments. *Urban Water Journal*, v. 4, n. 2, p. 61–78, 2007.
- 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, J. *GIS and multicriteria decision analysis*. . New York: John Wiley and Sons Inc. , 1999
- MALCZEWSKI, Jacek. GIS-based land-use suitability analysis : a critical overview. *Progress in Planning*, v. 62, p. 3–65, 2004.
- MALCZEWSKI, Jacek. GIS-based multicriteria decision analysis: A survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*, v. 20, n. 7, p. 703–726, 2006.
- MARDANI, Abbas; JUSOH, Ahmad; ZAVADSKAS, Edmundas Kazimieras. Fuzzy multiple criteria decision-making techniques and applications - Two decades review from 1994 to 2014. *Expert Systems with Applications*, v. 42, n. 8, p. 4126–4148, 2015.
- MARLER, R Timothy; ARORA, Jasbir S. The weighted sum method for multi-objective optimization : new insights. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, n. June, 2010.
- MENDOZA, G. A.; MARTINS, H. Multi-criteria decision analysis in natural resource management: A critical review of methods and new modelling paradigms. *Forest Ecology and Management*, v. 230, n. 1–3, p. 1–22, 2006.
- MIGHTY, Mario A. Site suitability and the analytic hierarchy process: How GIS analysis can improve the competitive advantage of the Jamaican coffee industry. *Applied Geography*, v. 58, p. 84–93, 2015.
- MIRHADI FARD, Maryam; KIBERT, Charles J.; CHINI, Abdol R. Decision-making for sustainable location of a cement plant in the state of Florida. *International Journal of Sustainable Engineering*, v. 9, n. 2, p. 76–92, 2016.
- MOEINADDINI, Mazaher *et al.* Siting MSW landfill using weighted linear combination and analytical hierarchy process (AHP) methodology in GIS environment (case study: Karaj). *Waste Management*, v. 30, n. 5, p. 912–920, 2010.
- MONDAL, Suprakash; CHAKRABORTY, Shankar. A solution to robot selection problems using data envelopment analysis. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, v. 4, p. 355–372, 2013.
- MUNDA, G. MULTICRITERIA EVALUATION IN A FUZZY ENVIRONMENT: THE NAIADE METHOD. *Multicriteria Evaluation in a Fuzzy Environment*. [S.l.]: Physica-Verlag Heidelberg, 1995. .
- MUSAKWA, Walter *et al.* The strategically located land index support sys- tem for human

settlements land reform in South Africa 1 . 1 Overview of land reform in South Africa. v. 60, p. 91–101, 2015.

NEISANI SAMANI, Zeinab; KARIMI, Mohammad; ALESHEIKH, Ali. A Novel Approach to Site Selection: Collaborative Multi-Criteria Decision Making through Geo-Social Network (Case Study: Public Parking). *ISPRS International Journal of Geo-Information*, v. 7, n. 3, p. 82, 2018.

NEJI, Hella Ben Brahim; TURKI, Sami Yassine. GIS - based multicriteria decision analysis for the delimitation of an agricultural perimeter irrigated with treated wastewater. *Agricultural Water Management*, v. 162, p. 78–86, 2015.

NEKHAY, Olexandr; ARRIAZA, Manuel; BOERBOOM, Luc. Evaluation of soil erosion risk using Analytic Network Process and GIS : A case study from Spanish mountain olive plantations. *Journal of Environmental Management*, v. 90, n. 10, p. 3091–3104, 2009.

OMITAOMU, Olufemi A. *et al.* Adapting a GIS-based multicriteria decision analysis approach for evaluating new power generating sites. *Applied Energy*, v. 96, p. 292–301, 2012.

ÖNDEN, İsmail; ACAR, Avni Zafer; ELDEMİR, Fahrettin. Evaluation of the logistics center locations using a multi-criteria spatial approach. *Transport*, v. 33, n. 2, p. 322–334, 2018.

ÖNDEN, İsmail; ELDEMİR, Fahrettin. GIS and f-AHP integration for locating a new textile manufacturing facility. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, v. 23, n. 5, p. 18–22, 2015.

OPRICOVIC, Serafim. Expert Systems with Applications Fuzzy VIKOR with an application to water resources planning. *Expert Systems With Applications*, v. 38, n. 10, p. 12983–12990, 2011.

OPRICOVIC, Serafim. Multicriteria Planning of Post-Earthquake Sustainable Reconstruction. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, v. 17, p. 211–220, 2002.

OPRICOVIC, Serafim; TZENG, Gwo-Hshiung. Compromise solution by MCDM methods : A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*, v. 156, p. 445–455, 2004.

OUMA, Yashon O.; KIPKORIR, Emmanuel C.; TATEISHI, Ryutaro. Mcda-gis integrated approach for optimized landfill site selection for growing urban regions: An application of neighborhood-proximity analysis. *Annals of GIS*, v. 17, n. 1, p. 43–62, 2011.

PAMUCAR, Dragan *et al.* Location selection for wind farms using GIS multi-criteria hybrid model: An approach based on fuzzy and rough numbers. *Sustainability (Switzerland)*, v. 9, n.

8, 2017.

PÉREZ, Oscar M.; TELFER, Trevor C.; ROSS, Lindsay G. Geographical information systems-based models for offshore floating marine fish cage aquaculture site selection in Tenerife, Canary Islands. *Aquaculture Research*, v. 36, n. 10, p. 946–961, 2005.

POHEKAR, S. D.; RAMACHANDRAN, M. Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 8, n. 4, p. 365–381, 2004.

QADDAH, Atef A.; ABDELWAHED, Mohamed F. GIS-based site-suitability modeling for seismic stations: Case study of the northern Rahat volcanic field, Saudi Arabia. *Computers and Geosciences*, v. 83, p. 193–208, 2015.

RAHMAT, Zeinab Ghaed *et al.* Landfill site selection using GIS and AHP: a case study: Behbahan, Iran. *KSCE Journal of Civil Engineering*, v. 21, n. 1, p. 111–118, 2017.

RAMANATHAN, R. Selection of appropriate greenhouse gas mitigation options. *Global Environmental Change*, v. 9, n. June 1998, 1999.

RASTANDEH, Amin; BROWN, Daniel K.; PEDERSEN ZARI, Maibritt. 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.

RIBEIRO, Rita Almeida. Fuzzy multiple attribute decision making: A review and new preference elicitation techniques. *Fuzzy Sets and Systems*, v. 78, n. 2, p. 155–181, 1996.

RIKALOVIC, Aleksandar; COSIC, Ilija; LAZAREVIC, Djordje. GIS based multi-criteria analysis for industrial site selection. *Procedia Engineering*, v. 69, p. 1054–1063, 2014.

ROIG-TIERNO, Norat *et al.* Assessing food retail competitors with a multi-criteria GIS-based method. *Economia Agraria y Recursos Naturales*, v. 18, n. 1, p. 5–22, 2018.

ROIG-TIERNO, Norat *et al.* The retail site location decision process using GIS and the analytical hierarchy process. *Applied Geography*, v. 40, p. 191–198, 2013.

ROLF, A. *Principles of Geographic Information Systems An introductory textbook*. [S.l.]: ITC EDUCATIONAL TEXTBOOK SERIES 1, 2001.

RUZGYS, Audrius *et al.* Integrated evaluation of external wall insulation in residential buildings using SWARA-TODIM MCDM method. *Journal of Civil Engineering and Management*, n. November, p. 37–41, 2014.

SAATY, Thomas L. DECISION MAKING WITH THE ANALYTIC NETWORK PROCESS

(ANP) AND ITS “ SUPER-DECISIONS ” SOFTWARE THE NATIONAL MISSILE DEFENSE (NMD) EXAMPLE. *Proceedings – 6th ISAHP 2001*, p. 365–382, 2001.

SADLER, Richard Casey. Integrating expert knowledge in a GIS to optimize siting decisions for small-scale healthy food retail interventions. *International Journal of Health Geographics*, v. 15, n. 1, p. 1–13, 2016.

SÁNCHEZ-LOZANO, Juan M. *et al.* GIS-based photovoltaic solar farms site selection using ELECTRE-TRI: Evaluating the case for Torre Pacheco, Murcia, Southeast of Spain. *Renewable Energy*, v. 66, p. 478–494, 2014.

SARKIS, Joseph; TALLURI, Srinivas. A Model for Strategic. *The Journal of Supply Chain Management*, p. 18–28, 2002.

SCHENK, Kathryn L; JAMES R. PINKERT. An algorithm for servicing multi-relational queries. *Proceedings of the 1977 ACM SIGMOD international conference on Management of data*, p. 10–20, 1977.

SCHUWIRTH, N; REICHERT, P; LIENERT, J. Methodological aspects of multi-criteria decision analysis for policy support : A case study on pharmaceutical removal from hospital wastewater. *European Journal of Operational Research*, v. 220, n. 2, p. 472–483, 2012.

SCOTT, J. *Rational choice theory, in Browning, G. (Ed.). From understanding contemporary society: theories of the present.* [S.l: s.n.], 2000.

ŞENER, Şehnaz *et al.* Combining AHP with GIS for landfill site selection: A case study in the Lake Beyşehir catchment area (Konya, Turkey). *Waste Management*, v. 30, n. 11, p. 2037–2046, 2010.

ŞENER, Şehnaz ; SENER, Erhan; KARAGÜZEL, Remzi. Solid waste disposal site selection with GIS and AHP methodology: A case study in Senirkent-Uluborlu (Isparta) Basin, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 173, n. 1–4, p. 533–554, 2011.

SIDDIQUI, Muhammad.; EVERETT, Jess.; VIEUX, Baxter. Landfill Siting Using Geographic Information Systems: A Demonstration. *Journal of environmental engineering*, v. 122, n. 6, p. 515–523, 1996.

SLADE, Stephen. Case-Based Reasoning : A Research Paradigm. *AI Magazine*, v. 12, n. 1, 1991.

SOLANGI, Yasir Ahmed *et al.* The selection of wind power project location in the Southeastern Corridor of Pakistan: A factor analysis, AHP, and fuzzy-TOPSIS application.

Energies, v. 11, n. 8, 2018.

SPIGOLON, Luciana M.G. *et al.* Landfill siting based on optimisation, multiple decision analysis, and geographic information system analyses. *Waste Management and Research*, v. 36, n. 7, p. 606–615, 2018.

SRINIVASAN, V.; SHOCKER, ALLAN D. Linear programming techniques for multidimensional analysis of preferences. *PSYCHOMETRIKA*, n. 3, 1973.

STEWART, T. J. A Critical Survey on the Status of Multiple Criteria Decision Making Theory and Practice. *Omega*, v. 20, n. 5–6, p. 569–586, 1992.

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

SZALAJ, D. *et al.* A GIS-based framework for addressing conflicting objectives in the context of an ecosystem approach to fisheries management—a case study of the Portuguese sardine fishery. *ICES Journal of Marine Science*, v. 75, n. 6, p. 2070–2087, 2018.

TEGOU, Leda Ioanna; POLATIDIS, Heraclides; HARALAMBOPOULOS, Dias A. Environmental management framework for wind farm siting: Methodology and case study. *Journal of Environmental Management*, v. 91, n. 11, p. 2134–2147, 2010.

THEODOROU, Savvas; FLORIDES, Georgios; TASSOU, Savvas. The use of multiple criteria decision making methodologies for the promotion of RES through funding schemes in Cyprus, A review. *Energy Policy*, v. 38, n. 12, p. 7783–7792, 2010.

TRIANANTAPHYLLOU, E. *Multi-criteria decision making methods: a comparative study*. [S.l: s.n.], 2010.

TSENG, Chen Te *et al.* GIS-assisted site selection for artificial reefs. *Fisheries Science*, v. 67, n. 6, p. 1015–1022, 2001.

UYAN, Mevlut. MSW landfill site selection by combining AHP with GIS for Konya, Turkey. *Environmental Earth Sciences*, v. 71, n. 4, p. 1629–1639, 2014.

VAHIDNIA, Mohammad H.; ALESHEIKH, Ali A.; ALIMOHAMMADI, Abbas. Hospital site selection using fuzzy AHP and its derivatives. *Journal of Environmental Management*, v. 90, n. 10, p. 3048–3056, 2009.

VAIDYA, Omkarprasad S.; KUMAR, Sushil. Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of Operational Research*, v. 169, n. 1, p. 1–29, 2006.

VON NEUMANN, J.; MORGENSTERN, O. *Theory of games and economic behavior*. 2. ed.

Princeton: Princeton University Press, 1947.

VOOGD, Henk. Multicriteria Evaluation with Mixed Qualitative and Quantitative Data. *International Institute for Applied Systems Analysis*, 1983.

WANG, Guiqin *et al.* Landfill site selection using spatial information technologies and AHP: A case study in Beijing, China. *Journal of Environmental Management*, v. 90, n. 8, p. 2414–2421, 2009.

WANG, Jiang-jiang *et al.* Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 13, n. 9, p. 2263–2278, 2009.

WANG, Mingxi *et al.* A WEIGHTED PRODUCT METHOD FOR BIDDING STRATEGIES IN MULTI-ATTRIBUTE AUCTIONS *. *J Syst Sci Complex*, n. 200159, p. 194–208, 2010.

WECK, M *et al.* Evaluating alternative production cycles using the extended fuzzy AHP method. *European Journal of Operational Research*, v. 100, n. 2, p. 351–366, 1997.

WIND, Yoram; SAATY, Thomas L. Marketing Applications of the Analytic Hierarchy Process. *Management Science*, n. July 1980, 1980.

WITLOX, Frank. Expert systems in land-use planning : An overview. *Expert Systems with Applications*, v. 29, p. 437–445, 2005.

WONDIM, Tilik Tena; DZWAIRO, Bloodless. A scenario-based multiple attribute decision-making approach for site selection of a wastewater treatment plant: Bahir Dar City (Ethiopia) case study. *Water SA*, v. 44, n. 4, p. 782–794, 2018.

XIE, Y; YE, X. Comparative tempo-spatial pattern analysis: CTSPA. *International Journal of Geographical Information Science*, v. 21, n. 1, p. 37–41, 2007.

XIE, Yichun; BATTY, Michael; ZHAO, Kang. Simulating Emergent Urban Form Using Agent-Based Modeling: Desakota in the Suzhou-Wuxian Region in China. *Annals of the Association of American Geographers*, v. 97, n. August 2005, p. 477–495, 2007.

YIN, Shengle *et al.* Selection of suitable coastal aquaculture sites using Multi-Criteria Decision Analysis in Menai Strait, UK. *Ocean and Coastal Management*, v. 165, n. July, p. 268–279, 2018.

YONCA, Nazli; KENTEL, Elcin; DUZGUN, H Sebnem. Energy Conversion and Management GIS-based site selection methodology for hybrid renewable energy systems : A case study from western Turkey. *Energy Conversion and Management*, v. 70, p. 90–106, 2013.

YOUSEFI, Hossein; HAFEZNIA, Hamed; YOUSEFI-SAHZABI, Amin. 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.

ZAMANI, Mahmoud *et al.* An integrated model for extending brand based on fuzzy ARAS and ANP methods. *Journal of Business Economics and Management*, v. 15, n. 3, p. 403–423, 2014.

ZAVADSKAS, E.K.; KAKLAUSKAS, A; SARKA, V. The new method of multicriteria complex proportional assessment of projects. *Technological and economic development of economy*, v. 1, n. 3, p. 131–139, 1994.

ZAVADSKAS, Edmundas Kazimieras *et al.* Extension of weighted aggregated sum product assessment with interval-valued intuitionistic fuzzy numbers (WASPAS-IVIF). *Applied Soft Computing*, v. 24, p. 1013–1021, 2014.

ZAVADSKAS, Edmundas Kazimieras *et al.* Optimization of Weighted Aggregated Sum Product Assessment ation of Weighte ed Aggre egated Sum Pro duct Ass sessment t. *ELECTRONICS AND ELECTRICAL ENGINEERING*, n. July 2015, 2012.

ZAVADSKAS, Edmundas Kazimieras; TURSKIS, Zenonas; KILDIENĖ, Simona. State of Art Surveys of Overviews on Mcdm/Madm Methods. *Technological and Economic Development of Economy*, v. 20, n. 1, p. 165–179, 2014.

ZELENOVIĆ VASILJEVIĆ, Tamara *et al.* GIS and the analytic hierarchy process for regional landfill site selection in transitional countries: A case study from Serbia. *Environmental Management*, v. 49, n. 2, p. 445–458, 2012.

ZUCCA, Antonella; SHARIFI, Ali M; FABBRI, Andrea G. Application of spatial multi-criteria analysis to site selection for a local park : A case study in the Bergamo Province , Italy. *Journal of Environmental Management* 88, v. 88, p. 752–769, 2008.