LII Simpóso Brasileiro de Pesquisa Operacional
João Pessoa-PB, 3 a 5 de novembro de 2020

Análise de trabalhos desenvolvidos em MCDA com suporte GIS

Jessyca Samarithana Ferreira Aires
Universidade Federal de Pernambuco
jessycaferrer@gmail.com

Amanda Gadelha Ferreira Rosa
Universidade Federal de Pernambuco
amandagadelharosa@hotmail.com

Caroline Maria de Miranda Mota
Universidade Federal de Pernambuco
caroline.mota@ufpe.br

Ciro Figueiredo
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
ciro.figueiredo@ufersa.edu.br

RESUMO

Tendo em vista as aplicações dos modelos multicritério (MCDA) em diferentes contextos de tomada de decisão, deve-se considerar o uso dessa abordagem em conjunto com outras ferramentas que auxiliam no processo decisório. Uma dessas ferramentas são os sistemas de informação geográfica (GIS) que auxiliam visualmente na tomada de decisões em caráter espacial, considerando nesse processo não apenas as relações de preferências do decisor, mas também os aspectos espaciais característicos de uma dada região. Nesse sentido, o presente trabalho traz um breve compilado de estudos desenvolvidos na área de GIS-MCDA, e aponta uma generalização da construção de modelos.

PALAVRAS CHAVE. GIS-MCDA, REVISÃO DE LITERATURA, ESTRUTURAÇÃO DE MODELO.

Tópicos. ADM – Apoio à Decisão Multicritério
AO – Outras Aplicações em PO

ABSTRACT

In view of the applications of multicriteria models (MCDA) in different decision-making contexts, the use of this approach should be considered in conjunction with other tools that assist in the decision-making process. One of these tools is the geographic information systems (GIS) that visually assist in making decisions in a spatial character, considering in this process not only the relations of preferences of the decision-maker, but also the spatial aspects characteristic of a given region. In this sense, the present work brings a brief compilation of studies developed in the area of GIS-MCDA, and points out a generalization of the construction of models.

KEYWORDS. GIS-MCDA, LITERATURE REVIEW, MODEL STRUCTURE

Paper topics. MDS - Multicriteria Decision Support
OA - Other PO Applications

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

1 Introdução

O processo de tomada de decisão é uma tarefa complexa, uma vez que, diferentes elementos do processo de avaliação possuem caráter divergente seja em objetivos ou disponibilidades de informações. Nesse sentido, torna-se interessante a avaliação das consequências relacionadas a cada decisão [De Almeida 2013] por meio do espelhamento da realidade em modelos simplificados [Jelohkhani-Niaraki e Malczewski 2015].

Sob essa lógica, os métodos multicritério em conjunto com os sistemas de informação geográfica (GIS-MCDA) vêm se mostrando úteis em diferentes aplicações algumas das quais pode-se mencionar o desenvolvimento de metodologia para identificação de locais adequados à captação de água e recarga artificial [Sing et al. 2017], apontamento de locais adequados para construção de usina nuclear [Baskurt e Aydin 2018], análise de riscos em sistemas urbanos urbanos pluviais [Shariat et al. 2019] e vulnerabilidade de regiões ao aumento do nível do mar [Mohamed 2020].

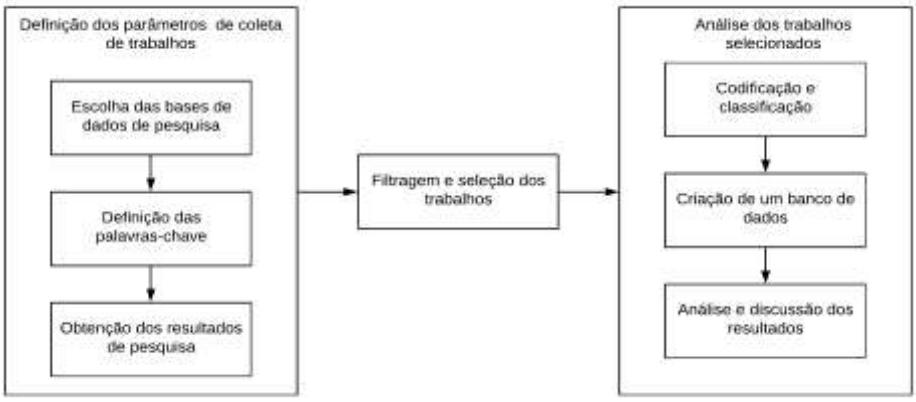
Tendo em vista que as aplicações dos métodos GIS-MCDA suportam decisões a serem tomadas em âmbito público ou privado, e que estas medidas são limitadas à disponibilidade de recursos escassos, o presente trabalho tem por objetivo identificar e definir uma estrutura metodológica da integração GIS-MCDA por meio da revisão de trabalhos em diferentes contextos de aplicação.

Este trabalho se divide em 4 seções. Na seção 2, a metodologia de coleta e seleção de artigos é apresentada, a seção 3 apresenta os resultados obtidos da análise dos artigos filtrados e à seção 4 cabe as considerações.

2 Metodologia

O trabalho desenvolvido conta com a revisão de artigos extraídos das bases bibliográficas *Web of Science*, *Scopus* e *Science Direct*. Como parte do processo de seleção foram admitidos artigos na língua inglesa publicados entre janeiro de 2015 e abril de 2020. A Figura 1 traz uma apresentação genérica dos procedimentos realizados no levantamento bibliográfico.

Figura 1 - Metodologia de revisão de trabalhos



Fonte: Adaptado de [Cheng et al. 2020] e [Hu et al. 2019]

Conforme se verifica na Figura 1, a metodologia se fundamenta em dois eixos principais: (i) definição dos parâmetros de coleta do trabalho, (ii) filtragem e seleção dos trabalhos, e (iii) análise dos trabalhos selecionados intermediadas [Cheng et al. 2020] [Hu et al. 2019]. Fundamentalmente, a qualidade do trabalho se concentra no primeiro eixo, tendo em vista que a qualidade das publicações coletadas se baseia na escolha das bases de pesquisas, bem como dos procedimentos definição das palavras-chave para posterior obtenção dos artigos.

O segundo eixo, filtragem e seleção de artigos apreendidos da etapa anterior, é de grande importância uma vez que uma parte dos trabalhos obtidos podem fugir do tema da pesquisa trazendo pouca contribuição na análise. A triagem iniciada no primeiro eixo com a definição das palavras-chave ganha um novo contorno com a análise minuciosa do título, reavaliação das

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

palavras-chave, alinhamento do resumo e por fim do texto, trata-se sumariamente de ações para melhor solidificar os fundamentos do tópico de pesquisa.

Enquanto o terceiro eixo trata de uma análise posterior que implica em codificar os artigos filtrados, organizá-los em um banco de dados e gerar discussão entorno do material que se tem. Note-se que a qualidade de uma etapa é necessariamente dependente da sua posterior.

As ações em cada eixo da metodologia são brevemente tratadas nas subseções seguintes:

2.1 Definição dos parâmetros de coleta de trabalhos

Nessa fase são caracterizadas três etapas: escolha das bases de dados de pesquisa, definição das palavras-chaves e obtenção de resultados da pesquisa.

Como mencionado anteriormente, o levantamento dos artigos foi realizado em três bases bibliográficas *Web of Science*, *Scopus* e *Science Direct*. A seleção em favor dessas bases se deu em função de serem bases consolidadas.

No que diz respeito a seleção de palavras-chave, termos que se relacionasse ao assunto GIS-MCDA foram buscados. Assim, o resultado da busca por artigos é resultante da combinação dos termos "GIS", "*decision model*", "MCDA", "*risk*", "*decision making*", "*land use planning*" e "*management*".

Após aplicação das palavras-chaves, um conjunto de 130 artigos pode ser extraído das bases para uma posterior análise que consistiu na filtragem e seleção dos textos. Dado a difusão da língua inglesa em publicações acadêmicas, os artigos foram buscados nesse idioma.

2.2 Filtragem e seleção de trabalhos

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

Ou seja, essa etapa é caracterizada pelo refinamento dos artigos obtidos. Aqui os artigos reprovados nos ciclos citados no parágrafo anterior foram descartados da pesquisa.

Assim, após a reavaliação das palavras-chave e a decisão pela manutenção delas, os 130 extraídos das bases bibliográficas passaram pela análise de título, até aqui nenhum artigo descartado. Desta forma, os 130 artigos foram conduzidos à análise do resumo, destes 30 foram reprovados. Dos 100 artigos restantes, 71 foram aprovados após a leitura.

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

2.3 Análise dos trabalhos selecionados

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

A partir da leitura iterativa e revisão dos artigos selecionados é possível identificar informações básicas da pesquisa, conteúdo e área de aplicação. Desta forma torna-se possível a categorização dos trabalhos por área de aplicação.

A categorização obtida da avaliação individual dos textos permitiu, por sua vez, a catalogação dos artigos em um banco de dados, incluindo informações do tipo: ano de publicação, local de aplicação, relevância, principais desafios, e análise da metodologia empregada.

Na fase de análise e discussão dos resultados tem-se uma visão de quais periódicos são mais relevantes para o tema e qual se estabelece um espectro evolutivo de usos em diferentes contextos bem como de técnicas empregadas e implementadas. Sendo possível verificar como a abordagem GIS-MCDA está sendo conduzida, como os problemas são estruturados, quais os principais desafios e limitações, possibilitando ao final desse trabalho a formalização do método.

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

3 Resultados

3.1 Avaliação dos artigos selecionados

A partir da revisão dos trabalhos selecionados verificou-se que apesar da sinergia entre as técnicas GIS e MCDA a integração entre elas é limitada, tendo em vista que em determinados momentos a aplicação de MCDA ocorre fora do ambiente GIS, conforme se verifica na Tabela 1 de artigos levantados.

É importante destacar o uso comum do Analytical Hierarchy Process (AHP) para obtenção dos pesos dos critérios, bem como o uso de Ordered Weighted Average (OWA) e Weighted Linear Combination (WLC) para agregação deles. Outros métodos também utilizados para agregação são Fuzzy Analitic Network Process (FANP), Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), Análise Envoltória de Dados (DEA), e modelos multiobjectivos. No entanto, tem-se um destaque maior para os modelos aditivos, como verificado na Tabela 1.

Tabela 1- Artigos obtidos ao final da triagem

Área de aplicação	Overview	Modelo de saída de dados	Método	Referências
Gestão ambiental (9)	78% dos trabalhos realizou uma classificação de zonas, áreas protegidas etc.	Em 78% dos trabalhos o modelo é do tipo raster	78% dos modelos utilizados para agregação dos critérios são modelos aditivos, dentre eles: WLC, sobreposição ponderada, GAMA entre outros. Observa-se o uso do AHP para obtenção dos pesos dos critérios.	[Singha et al. 2019]; [Domazetović et al. 2019]; [Yalcina e Gul 2017]; [Singh et al. 2018]; [Vaissi e Sharifi 2019], [Jaziri 2017], [Goleiji et al. 2017], [Kim et al. 2017] e[Abedi et al. 2019]
Energia (15)	47% dos trabalhos trata de uma problemática de escolha, a partir da avaliação de locais adequados para instalação de usinas de energia. Enquanto que 53% realiza uma classificação de áreas potenciais para instalação destas.	Em 67% dos trabalhos o formato dos dados de saída é do tipo raster.	Os métodos de agregação dos critérios mais utilizados em 67% das aplicações são WLC e OWA. Também são utilizados em alguns trabalhos métodos de programação linear e métodos multiobjetivos. O AHP é comumente usado para obtenção dos pesos dos critérios.	[Damoom et al. 2019]; [Paraskevis et al. 2019]; [Díaz-Cuevas et al. 2019]; [Shorabeh et al. 2019]; [Vavatsikos et al. 2019]; [Bacca et al. 2020]; [Suuronen et al. 2017]; [Baskurt e Aydin 2017], [Jeong e Gomez 2017], [Doljak e Stanojevic 2017], [Sun et al. 2017], [Kiavarz e Jelokhani-Niaraki 2017],[Veronesi et al. 2017], [Al Garni e Awasthi 2017] e [Harper et al. 2019]
Planejamento urbano (16)	As aplicações alternam-se entre problemáticas de classificação e escolha de locais adequados para instalação de aterros, avaliação de estratégias logísticas, avaliação de locais potenciais para desenvolvimento urbano, entre outros.	Os formatos dos dados de saída dos modelos variam entre Vetor e Raster.	São utilizados modelos aditivos como AHP e WLC e métodos com uso de lógica *fuzzy* como FANP em muitos desses trabalhos. Em um deles é utilizado um método *outranking* : o Promethee. É comum também nessas aplicações o uso do AHP para determinação dos coeficientes dos critérios	[Kaya et al. 2020]; [Feyzi et al. 2019]; [Kamdar et al. 2019]; [Beskese et al. 2015]; [Ratick et al. 2016]; [Karimi et al. 2018]; [Sgura et al. 2019]; [Ajibade et al. 2019]; [Tiwari et al 2019]; [Danesh et al. 2019]; [Demesouka et al. 2018], [Sureshkumar et al. 2017], [Guler e Yomralioglu 2017],

				[Chabuk et al. 2017], [Jamshidi-Zanjani e Rezaei 2017] e [Abd El Karim e Awawdesh 2020]
Agricultura (9)	56% das aplicações traz uma classificação de áreas potenciais para agricultura. Enquanto 44% trabalha com a problemática de classificação, a partir da avaliação de áreas adequadas para o cultivo, potencialidades da água para irrigação agrícola e adequação da terra, etc.	Modelo de formatos rasterizados e vetoriais.	É popular a utilização de modelos aditivos como: AHP, WLC, OWA e modelos multiobjetivo.	[Baglivi et al. 2015]; [Selim et al. 2018]; [Herzberg et al. 2019]; [Zabihi et al. 2019]; [Paul et al. 2020], [Worqlul et al. 2017], [Mokarram e Hojati 2017], [Memarbashi et al. 2017] e [Irina et al. 2019]
Gestão de recursos hídricos (10)	Em 80% dos trabalhos é realizada uma classificação de áreas, priorização de bacias hidrográficas, avaliação do potencial de águas subterrâneas, entre outros.	O formato dos dados de saída do modelo é do tipo raster em 60% das aplicações.	Para agregação dos critérios os métodos utilizados são WLC, OWA, sobreposição ponderada, e em um dos trabalhos é utilizado o DEA. As aplicações usam comumente o AHP para obter os pesos dos critérios em grande parte desses trabalhos.	[Tiwari et al. 2019]; [Jhariya et al. 2018]; [Akter et al. 2020]; [Andualem et al. 2020]; [Jain e Ramsankaran 2019]; [Singhai et al. 2017]; [Kadam et al. 2020], [Larsen et al. 2017], [Farhadian et al. 2017] e [Kavurmaci e Apaydin 2019]
Outros (12)	Outras áreas abordam questões de planejamento de uso de terra, saúde, segurança pública, mineração, gestão de riscos, etc. As aplicações alternam-se em problemáticas de classificação de áreas e seleção de locais adequados para instalações de saúde, avaliações de locais para campos de refugiados, etc.	Os dados de saída do modelo são em 60% das aplicações do tipo raster e em 40% do tipo vetor.	São utilizados modelos aditivos para agregação dos critérios, em que WLC, OWA e sobreposição ponderada são os métodos mais comuns. Também são utilizados modelos multiobjetivos, modelos com uso de lógica *fuzzy*. e TOPSIS. O AHP é utilizado em algumas aplicações para determinar os coeficientes dos critérios.	[Dell`Ovo et al. 2018]; [Hariz, Dönmez e Sennaroglu 2017]; [Mota et al. 2020]; [Yavuz e Altay 2015]; [Musakwa 2017]; [Gicovic et al. 2019]; [Akgün e Erdal 2019]; [Çetinkaya et al. 2016], [Díaz et al 2017], [Kamali et al. 2017] e [Seyedmohammadi et al. 2019][Figueiredo e Mota, 2019]

(*) Nº de trabalhos revisados

Fonte: Autoria própria (2020)

A partir da Tabela 1 verifica-se que a aplicabilidade de ambas as abordagens combinadas que resultam em bons resultados, porém torna-se interessante discutir a aplicação dessas ferramentas num ambiente único, de modo que o resultado possa ser mais facilmente apreendido pelo decisor(es).

Também verificou-se que a maioria dos trabalhos analisados mostram o uso comum do método AHP para obtenção dos pesos dos critérios. Em relação à agregação dos critérios, o WLC foi também muito utilizado na maioria dos trabalhos.

É importante destacar que grande parte dos artigos demonstra uma aplicação voltada para identificação de locais adequados e sente-se falta de uma abordagem que possibilite, além disso, o uso e distribuição de recursos em tais localidades. A tabela 2 apresenta uma lista com as 10 principais revistas das quais os trabalhos foram retirados.

Tabela 2 – Lista das principais revistas

Revistas	Nº de trabalhos revisados
Environmental Earth Sciences	(8)
Applied Geography	(3)
Computers and Electronics in Agriculture	(2)
Energy	(2)
Environmental Monitoring And Assessment	(2)
Geothermics	(2)
ISPRS International Journal Of Geo-Information	(2)
Land Use Policy	(2)
Progress in Nuclear Energy	(2)
Sustainability	(2)
Sustainable Cities and Society	(2)
Outros	(42)

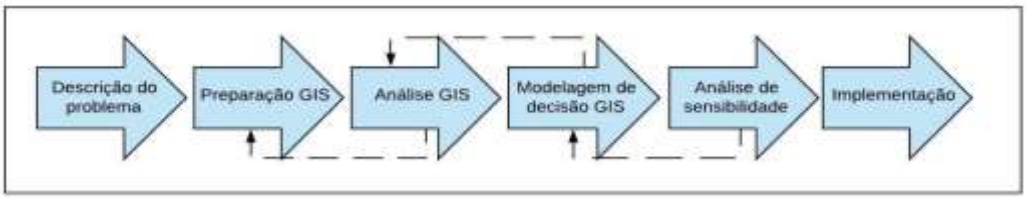
Fonte: Autoria própria (2020)

Com relação ao tipo de decisão, alternam-se entre classificação e seleção, em que normalmente as aplicações preocupam-se em avaliar locais adequados por meio de mapas onde alternativas potenciais são classificadas. Foi possível observar que os trabalhos que tem a seleção como tipo de decisão trabalham além de modelos aditivos como visto na maioria deles, com programação linear, modelos multiobjetivo, modelos de otimização ou outros modelos matemáticos, que resultam em soluções ideais.

3.2 Formalização do método de estruturação GIS-MCDA

Com os resultados obtidos da avaliação dos artigos selecionados foi elaborada uma estrutura genérica para estruturar os problemas por meio da integração GIS-MCDA, Figura 2. Além disso, é válido salientar que as aplicações GIS-MCDA seguem uma sequência flexível de atividades, de caráter iterativo as atividades podem inclusive voltar para etapas anteriores.

Figura 2 - Fluxograma GIS-MCDA



Fonte: Autoria própria (2020)

Assim, com base na análise dos 71 artigos filtrados, verifica-se que a Figura 2 apresenta a formalização de um *framework* para a estruturação dos modelos GIS-MCDA, onde cada uma das etapas de construção possuem suas respectivas funções. Na descrição do problema é realizado um levantamento de informações prévias para compreensão do tema abordado e a forma como o problema será resolvido; normalmente baseada em dados sociodemográficos, pré-análise da área em estudo, dados de uso de terra, dados hidrológicos, entre outros. Os dados podem ser obtidos através de consultas com especialistas, revisão na literatura disponível, portais online e instituições governamentais.

Na etapa de preparação GIS, os dados obtidos são devidamente tratados e organizados para preparação das camadas no ambiente GIS. Assim, o problema espacial é analisado determinando um conjunto de critérios relevantes para a questão. Além disso, é válido destacar a utilização de ferramentas que auxiliam nesse processo, como Excel, o software Matlab, Google Earth e ferramentas de georreferenciamento.

Em seguida, na etapa de análise GIS, alguns trabalhos podem efetuar diferentes procedimentos, por exemplo, nessa fase de análise de dados no GIS [Ajibade et al. 2019]; [Hariz et al. 2017] converteram os diversos tipos de dados em um sistema de coordenadas comum em seguida as camadas foram reclassificadas a partir de uma associação difusa e reclassificadas a partir da distância euclidiana. Em outros casos, essa etapa é caracterizada por uma análise de adequação, por exemplo [Paraskevis et al. 2019] efetuaram a interpolação de dados com uso do método kriging e logo após classificaram as camadas em cinco classes de adequação em que cada

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

alternativa recebeu um índice de adequação. De maneira similar [Akgün e Erdal 2019] realizaram essa análise GIS para filtrar as alternativas potencias que traz os locais compatíveis, e/ou disponíveis para próxima fase.

No modelo de decisão com GIS tem-se a integração das duas abordagens GIS-MCDA, em que geralmente aplica-se o método MCDA para obtenção dos pesos dos critérios e faz-se agregação no GIS através de sobreposição, Combinação Linear Ponderada (WLC), Média Ponderada Ordenada (OWA) que incorpora o conceito de risco no GIS, ou simplesmente *Weighted Overlay* (WO), entre outras. Além disso, dependendo da questão, alguns trabalhos utilizam mais de um método MCDA, por exemplo, combinando AHP e TOPIS. Em procedimento complementar outros modelos podem ser utilizados para resolução da questão, destacando-se modelos de otimização, modelos matemáticos.

Por fim, realiza-se uma análise de sensibilidade com o objetivo de testar a sensibilidade dos resultados, buscando investigar como as mudanças nas entradas, suposições ou as diversas formas como a análise é construída afetam o resultado final. Geralmente, tem-se a alteração de parâmetros de entrada do modelo utilizando, entre outras ferramentas, a Simulação Monte Carlo [Firozjaei et al. 2019].

4 Considerações finais

A elaboração do *framework* estruturado fundamentou-se na procura por trabalhos nas bases conhecidas. Desta forma, a definição das palavras-chave foi um aspecto bastante considerado e discutido, tendo em vista sua importância basilar nos *outputs* dessa busca. Assim, toda a etapa metodológica de coleta, triagem e análise dos artigos foi fundamental para que a proposta apresentada surgisse sob uma visão ampla do que se tem discutido atualmente.

O fato de ter trabalhos que abrangem diversos contextos possibilita uma visão holística do tema, no entanto para analisar a evolução da integração dessas ferramentas, seria interessante focar em uma área e observar como ocorrem mudanças nas formas de estruturar os problemas.

No entanto, existe um contraponto que se coloca à não execução de se focar em uma área específica. Embora se verifique a existência de aplicações em contextos reais não se verificou nas análises uma fundamentação em como organizar o trabalho conjunto das abordagens GIS e MCDA. Ao formalizar um procedimento mais generalista numa área de pesquisa ainda incipiente consegue-se dar abertura a um leque maior de aplicações em diferentes contextos.

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

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

Para pesquisas futuras sugere-se que a estrutura seja implementada em uma aplicação real para validação da mesma.

Referências

Abd El Karim, A., e Awawdeh, M. M. (2020). Integrating GIS Accessibility and Location-Allocation Models with Multicriteria Decision Analysis for Evaluating Quality of Life in Buraidah City, KSA. *Sustainability*, *12*(4), 1412.

Abedi Gheshlaghi, H., Feizizadeh, B., e Blaschke, T. (2020). GIS-based forest fire risk mapping using the analytical network process and fuzzy logic. *Journal of Environmental Planning and Management*, *63*(3), 481-499.

Ajibade, F. O., Olajire, O. O., Ajibade, T. F., Nwogwu, N. A., Lasisi, K. H., Alo, A. B., ... e Adewumi, J. R. (2019). Combining multicriteria decision analysis with GIS for suitably siting landfills in a Nigerian State. *Environmental and Sustainability Indicators*, *3*, 100010.

Akgün, İ., e Erdal, H. (2019). Solving an ammunition distribution network design problem using multi-objective mathematical modeling, combined AHP-TOPSIS, and GIS. *Computers & Industrial Engineering*, *129*, 512-528.
Akter, A., Uddin, A. M. H., Wahid, K. B., e Ahmed, S. (2020). Predicting groundwater recharge potential zones using geospatial technique. *Sustainable Water Resources Management*, *6*(2), 1-13.

Al Garni, H. Z., e Awasthi, A. (2017). Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia. *Applied energy*, *206*, 1225-1240.

De Almeida, A. T. (2013). *Processo de decisão nas organizações: construindo modelos de decisão multicritério*. Editora Atlas SA.

Andualem, T. G., Hagos, Y. G., Kefale, A., e Zelalem, B. Soil erosion-prone area identification using multi-criteria decision analysis in Ethiopian highlands. *Modeling Earth Systems and Environment*, 1-12.

Bacca, E. J. M., Knight, A., e Trifkovic, M. (2020). Optimal land use and distributed generation technology selection via geographic-based multicriteria decision analysis and mixed-integer programming. *Sustainable Cities and Society*, *55*, 102055.

Baglivi, A., Fiorese, G., Guariso, G., e Uggè, C. (2015). Valuing crop diversity in biodiesel production plans. *Energy*, *93*, 2351-2362.

Baskurt, Z. M., e Aydin, C. C. (2018). Nuclear power plant site selection by Weighted Linear Combination in GIS environment, Edirne, Turkey. *Progress in Nuclear Energy*, *104*, 85-101.

Beskese, A., Demir, H. H., Ozcan, H. K., e Okten, H. E. (2015). Landfill site selection using fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS: a case study for Istanbul. *Environmental Earth Sciences*, *73*(7), 3513-3521.

Chabuk, A. J., Al-Ansari, N., Hussain, H. M., Knutsson, S., e Pusch, R. (2017). GIS-based assessment of combined AHP and SAW methods for selecting suitable sites for landfill in Al-Musayiab Qadhaa, Babylon, Iraq. *Environmental Earth Sciences*, *76*(5), 209.

Cheng, J. C., Chen, K., & Chen, W. (2020). State-of-the-art review on mixed reality applications in the AECO industry. *Journal of Construction Engineering and Management*, *146*(2), 03119009.

Danesh, G., Monavari, S. M., Omrani, G. A., Karbasi, A., e Farsad, F. (2019). Compilation of a model for hazardous waste disposal site selection using GIS-based multi-purpose decision-making models. *Environmental monitoring and assessment*, *191*(2), 1-14.

Dell'Ovo, M., Capolongo, S., e Oppio, A. (2018). Combining spatial analysis with MCDA for the siting of healthcare facilities. *Land use policy*, *76*, 634-644.

Demesouka, O. E., Anagnostopoulos, K. P., e Siskos, E. (2019). Spatial multicriteria decision support for robust land-use suitability: The case of landfill site selection in Northeastern Greece. *European Journal of Operational Research*, *272*(2), 574-586.

Díaz-Cuevas, P., Domínguez-Bravo, J., e Prieto-Campos, A. (2019). Integrating MCDM and GIS for renewable energy spatial models: assessing the individual and combined potential for wind, solar and biomass energy in Southern Spain. *Clean Technologies and Environmental Policy*, *21*(9), 1855-1869.

Díaz, I., Mello, A. L., Salhi, M., Spinetti, M., Bessonart, M., e Achkar, M. (2017). Multiscalar land suitability assessment for aquaculture production in U ruguay. *Aquaculture Research*, *48*(6), 3052-3065.

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

Doljak, D., e Stanojević, G. (2017). Evaluation of natural conditions for site selection of ground-mounted photovoltaic power plants in Serbia. *Energy*, *127*, 291-300.

Farhadian, M., Bozorg-Haddad, O., Pazoki, M., e Loáiciga, H. A. (2017). Locating and Prioritizing Suitable Places for the Implementation of Artificial Groundwater Recharge Plans. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, *143*(8), 04017018.

Feyzi, S., Khanmohammadi, M., Abedinzadeh, N., e Aalipour, M. (2019). Multi-criteria decision analysis FANP based on GIS for siting municipal solid waste incineration power plant in the north of Iran. *Sustainable Cities and Society*, *47*, 101513.

Figueiredo, C. J. J., e Mota, C. M. M. (2019). Learning Preferences in a Spatial Multiple Criteria Decision Approach: An Application in Public Security Planning. International Journal of Information Technology & Decision Making, 18(04), 1403-1432.

Firozjaei, M. K., Nematollahi, O., Mijani, N., Shorabeh, S. N., Firozjaei, H. K., e Toomanian, A. (2019). An integrated GIS-based Ordered Weighted Averaging analysis for solar energy evaluation in Iran: Current conditions and future planning. *Renewable Energy*, *136*, 1130-1146.

Gigović, L., Drobnjak, S., e Pamučar, D. (2019). The application of the hybrid gis spatial multi-criteria decision analysis best–worst methodology for landslide susceptibility mapping. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, *8*(2), 79.

Goleiji, E., Hosseini, S. M., Khorasani, N., e Monavari, S. M. (2017). Forest fire risk assessment-an integrated approach based on multicriteria evaluation. *Environmental monitoring and assessment*, *189*(12), 612.

Güler, D., e Yomralıoğlu, T. (2017). Alternative suitable landfill site selection using analytic hierarchy process and geographic information systems: a case study in Istanbul. *Environmental Earth Sciences*, *76*(20), 678.

Hariz, H. A., Dönmez, C. Ç., e Sennaroglu, B. (2017). Siting of a central healthcare waste incinerator using GIS-based Multi-Criteria Decision Analysis. *Journal of cleaner production*, *166*, 1031-1042.

Harper, M., Anderson, B., James, P., e Bahaj, A. (2019). Assessing socially acceptable locations for onshore wind energy using a GIS-MCDA approach. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, *14*(2), 160-169.

Herzberg, R., Pham, T. G., Kappas, M., Wyss, D., e Tran, C. T. M. (2019). Multi-criteria decision analysis for the land evaluation of potential agricultural land use types in a hilly area of Central Vietnam. *Land*, *8*(6), 90.

Hu, X., Chong, H. Y., Wang, X., e London, K. (2019). Understanding stakeholders in off-site manufacturing: a literature review. *Journal of Construction Engineering and Management*, *145*(8), 03119003.

Irina, L. T., Javier, B. P., Teresa, C. B. M., Eurídice, L. A., e del Carmen, C. I. L. M. (2019). Integrating ecological and socioeconomic criteria in a GIS-based multicriteria-multiobjective analysis to develop sustainable harvesting strategies for Mexican oregano Lippia graveolens Kunth, a non-timber forest product. *Land Use Policy*, *81*, 668-679.

Jain, P., e Ramsankaran, R. A. A. J. (2019). GIS-based integrated multi-criteria modelling framework for watershed prioritisation in India—A demonstration in Marol watershed. *Journal of Hydrology*, *578*, 124131.

Jamshidi-Zanjani, A., e Rezaei, M. (2017). Landfill site selection using combination of fuzzy logic and multi-attribute decision-making approach. *Environmental Earth Sciences*, *76*(13), 448.

Jaziri, W. (2017). Using GIS and multicriteria decision aid to optimize the direction of trees cutting in the forest ecosystem: A case study. *Computers and Electronics in Agriculture*, *143*, 177-184.

Jeong, J. S., e Ramírez-Gómez, Á. (2017). A multicriteria GIS-based assessment to optimize biomass facility sites with parallel environment—A case study in Spain. *Energies*, *10*(12), 2095.

Jelokhani-Niaraki, M., e Malczewski, J. (2015). Decision complexity and consensus in Web-based spatial decision making: A case study of site selection problem using GIS and multicriteria analysis. *Cities*, *45*, 60-70.

Jhariya, D. C., Kumar, T., e Pandey, H. K. (2020). Watershed prioritization based on soil and water hazard model using remote sensing, geographical information system and multi-criteria decision analysis approach. *Geocarto International*, *35*(2), 188-208.

Kadam, A. K., Umrikar, B. N., e Sankhua, R. N. (2020). Assessment of recharge potential zones for groundwater development and management using geospatial and MCDA technologies in semiarid region of Western India. *SN Applied Sciences*, *2*(2), 312.

Kamali, M., Alesheikh, S., Alavi Borazjani, A., Jahanshahi, A., Khodaparast, Z., e Khalaj, M. (2017). Delphi-AHP and weighted index overlay-GIS approaches for industrial site selection case study: large extractive industrial units in Iran. *Journal of Settlements and Spatial Planning*, *8*(2), 99-105.

Kamdar, I., Ali, S., Bennui, A., Techato, K., e Jutidamrongphan, W. (2019). Municipal solid waste landfill siting using an integrated GIS-AHP approach: A case study from Songkhla, Thailand. *Resources, Conservation and Recycling*, *149*, 220-235.

Kavurmaci, M., e Apaydin, A. (2019). Assessment of irrigation water quality by a Geographic Information System–Multicriteria Decision Analysis-based model: A case study from Ankara, Turkey. *Water Environment Research*, *91*(11), 1420-1432.

Kaya, Ö., Tortum, A., Alemdar, K. D., e Çodur, M. Y. (2020). Site selection for EVCS in Istanbul by GIS and multi-criteria decision-making. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *80*, 102271.

Malczewski, J. (2004). GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. *Progress in planning*, *62*(1), 3-65.
Kiavarz, M., e Jelokhani-Niaraki, M. (2017). Geothermal prospectivity mapping using GIS-based Ordered Weighted Averaging approach: A case study in Japan's Akita and Iwate provinces. *Geothermics*, *70*, 295-304.

Kim, K., Burnett, K., e Ghimire, J. (2017). Integrating fast feedback and GIS to plan for important agricultural land designations in Kauai County, Hawaii. *Journal of Land Use Science*, *12*(5), 375-390.

Larsen, S. L., Christensen, S. C. B., Albrechtsen, H. J., & Rygaard, M. (2017). GISMOWA: geospatial risk-based analysis identifying water quality monitoring sites in distribution systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, *143*(6), 04017018.

Memarbashi, E., Azadi, H., Barati, A. A., Mohajeri, F., Passel, S. V., e Witlox, F. (2017). Land-use suitability in Northeast Iran: application of AHP-GIS hybrid model. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, *6*(12), 396.

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

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

Mokarram, M., e Hojati, M. (2017). Using ordered weight averaging (OWA) aggregation for multi-criteria soil fertility evaluation by GIS (case study: Southeast Iran). *Computers and Electronics in Agriculture*, *132*, 1-13.

Mota, C. M. M. ; Figueiredo, C. J. J. ; Pereira, D. V. E. S. (2020). Identifying areas vulnerable to homicide using multiple criteria analysis and spatial analysis. *Omega*, 102211.

Musakwa, W. (2018). Identifying land suitable for agricultural land reform using GIS-MCDA in South Africa. *Environment, Development and Sustainability*, *20*(5), 2281-2299.

Paraskevis, N., Roumpos, C., Stathopoulos, N., & Adam, A. (2019). Spatial analysis and evaluation of a coal deposit by coupling AHP & GIS techniques. *International Journal of Mining Science and Technology*, *29*(6), 943-953.

Paul, M., Negahban-Azar, M., Shirmohammadi, A., e Montas, H. (2020). Assessment of agricultural land suitability for irrigation with reclaimed water using geospatial multi-criteria decision analysis. *Agricultural Water Management*, *231*, 105987.

Ratick, S., Osleeb, J., e Si, K. (2016). The maximal cover location model with hedging: siting facilities under uncertainty, a lead poisoning screening network for the Dominican Republic. *International Regional Science Review*, *39*(1), 77-107.

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

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

Shariat, R., Roozbahani, A., e Ebrahimian, A. (2019). Risk analysis of urban stormwater infrastructure systems using fuzzy spatial multi-criteria decision making. *Science of the Total Environment*, *647*, 1468-1477.

Singh, L. K., Jha, M. K., e Chowdary, V. M. (2017). Multi-criteria analysis and GIS modeling for identifying prospective water harvesting and artificial recharge sites for sustainable water supply. *Journal of Cleaner Production*, *142*, 1436-1456.

Singhai, A., Das, S., Kadam, A. K., Shukla, J. P., Bundela, D. S., e Kalashetty, M. (2019). GIS-based multi-criteria approach for identification of rainwater harvesting zones in upper Betwa sub-basin of Madhya Pradesh, India. *Environment, Development and Sustainability*, *21*(2), 777-797.

Sun, Y., Wang, R., Li, J., e Liu, J. (2017). GIS-based multiregional potential evaluation and strategies selection framework for various renewable energy sources: a case study of eastern coastal regions of China. *Energy Science & Engineering*, *5*(3), 123-140.

Sureshkumar, M., Sivakumar, R., e Nagarajan, M. (2017). Selection Of Alternative Landfill Site In Kanchipuram, India By Using Gis And Multicriteria Decision Analysis. *Applied Ecology and Environmental Research*, *15*(1), 627-636.

Suuronen, A., Lensu, A., Kuitunen, M., Andrade-Alvear, R., Celis, N. G., Miranda, M., ... e Kukkonen, J. V. (2017). Optimization of photovoltaic solar power plant locations in northern Chile. *Environmental Earth Sciences*, *76*(24), 824.

Tiwari, A., Ahuja, A., Vishwakarma, B. D., e Jain, K. (2019). Groundwater Potential Zone (GWPZ) for Urban Development Site Suitability Analysis in Bhopal, India. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, *47*(11), 1793-1815.

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

Tiwari, A., Tyagi, D., Sharma, S. K., Suresh, M., e Jain, K. (2018, January). Multi-criteria decision analysis for identifying potential sites for future urban development in Haridwar, India. In *International Conference on Communications and Cyber Physical Engineering 2018* (pp. 761-777). Springer, Singapore.

Vaissi, S., e Sharifi, M. (2019). Integrating multi-criteria decision analysis with a GIS-based siting procedure to select a protected area for the Kaiser's mountain newt, Neurergus kaiseri (Caudata: Salamandridae). *Global Ecology and Conservation*, *20*, e00738.

Vavatsikos, A. P., Arvanitidou, A., e Petsas, D. (2019). Wind farm investments portfolio formation using GIS-based suitability analysis and simulation procedures. *Journal of environmental management*, *252*, 109670.

Veronesi, F., Schito, J., Grassi, S., e Raubal, M. (2017). Automatic selection of weights for GIS-based multicriteria decision analysis: site selection of transmission towers as a case study. *Applied Geography*, *83*, 78-85.

Yavuz, M., e Altay, B. L. (2015). Reclamation project selection using fuzzy decision-making methods. *Environmental Earth Sciences*, *73*(10), 6167-6179.

Worqlul, A. W., Jeong, J., Dile, Y. T., Osorio, J., Schmitter, P., Gerik, T., ... e Clark, N. (2017). Assessing potential land suitable for surface irrigation using groundwater in Ethiopia. *Applied Geography*, *85*, 1-13.

Zabihi, H., Alizadeh, M., Kibet Langat, P., Karami, M., Shahabi, H., Ahmad, A., ... e Lee, S. (2019). GIS Multi-Criteria Analysis by Ordered Weighted Averaging (OWA): toward an integrated citrus management strategy. *Sustainability*, *11*(4), 1009.

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings