

## Meta-heurísticas para a tomada de decisão multicritério: revisão sistemática da literatura e oportunidades de pesquisa\*

*Tatiane Roldão Bastos<sup>1</sup> e André Andrade Longaray<sup>2</sup>*

### CLASSIFICAÇÃO JEL

C44, C65, D70

### RECEBIDO

30/01/2023

### APROVADO

09/09/2023

### PUBLICADO

01/04/2025

### SEÇÃO

Gerenciamento de tecnologia, informação e comunicação

Este trabalho está licenciado sob uma licença Creative Commons Attribution Não comercial sem obras derivadas 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

### Declaração de conflito de interesses:

Os autores declaram não haver conflitos de interesse institucionais ou pessoais.

**Resumo:** Devido ao aumento da complexidade das organizações, mais variáveis passam a integrar o contexto decisório, tornando mais difícil a visualização das alternativas, a estruturação do problema de decisão e a avaliação das ações. Assim, a pesquisa operacional objetiva facilitar o processo de tomada de decisão por meio da modelagem matemática e, com o auxílio das tecnologias de informação, tem-se observado a implementação de técnicas mais robustas. Dessa forma, a presente pesquisa buscou identificar como as meta-heurísticas computacionais têm sido utilizadas para a tomada de decisão gerencial no contexto multicritério. Para isso, foi realizada revisão sistemática da literatura, com o auxílio do protocolo Prisma, o que resultou em um portfólio bibliográfico composto de 54 artigos alinhados à temática. Foram realizadas a análise bibliométrica, considerando-se nove aspectos, e a metassíntese, cujos resultados demonstraram o predomínio dos algoritmos genéticos, da lógica Fuzzy e da utilização de métodos híbridos. O crescimento da soft computing na pesquisa operacional fica evidenciado, o que demonstra que a inteligência artificial consiste em importante ferramenta para o auxílio à tomada de decisões gerenciais. Emergem, portanto, como oportunidades para futuras pesquisas, a utilização de metodologias para o tratamento das incertezas inerentes à tomada de decisões e dos algoritmos computacionais evolutivos para as tomadas de decisões multiobjetivos.

**Palavras-chave:** algoritmo genético, lógica Fuzzy, meta-heurísticas, revisão sistemática da literatura, tomada de decisão.

Citação sugerida: Bastos, T., & Longaray, A. (2025). Meta-heurísticas para a tomada de decisão multicritério: revisão sistemática da literatura e oportunidades de pesquisa. *Innovar*, 35(96). e104948. <https://doi.org/10.15446/innovar.v35n96.104948>

\* Este texto é uma versão revisada e expandida do trabalho intitulado "Algoritmos genéticos aplicados à métodos multicritério: uma revisão sistemática da literatura", apresentado no LIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, realizado na cidade João Pessoa, Paraíba, de 3 a 5 de novembro de 2021. <https://proceedings.science/sbpo/sbpo-2021/trabalhos/algoritmos-geneticos-aplicados-a-metodos-multicriterio-uma-revisao-sistematica-d?lang=pt-br>

<sup>1</sup> PhD em Modelagem computacional. Universidade Federal do Rio Grande; pesquisadora. Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brasil. Grupo de pesquisa do Laboratório de estudos e pesquisas em metodologias de apoio à decisão. Função da autora: intelectual, experimental e comunicativa. [tatienebastos@furg.br](mailto:tatienebastos@furg.br); <http://orcid.org/0000-0002-9367-9301>.

<sup>2</sup> PhD em Engenharia de produção. Universidade Federal do Rio Grande; professor titular. Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brasil. Grupo de pesquisa do Laboratório de estudos e pesquisas em metodologias de apoio à decisão. Função do autor: intelectual e comunicativa. [andrelongaray@furg.br](mailto:andrelongaray@furg.br); <https://orcid.org/0000-0002-2908-9390>.

## Metaheuristics for Multicriteria Decision-Making: A Systematic Literature Review and Research Opportunities

**Abstract:** As organizational environments grow increasingly complex, a larger number of variables now influence decision-making processes. This added complexity poses significant challenges in identifying viable alternatives, structuring decision problems, and evaluating potential courses of action. Operations research seeks to support decision-making through mathematical modeling and—bolstered by advancements in information technology—the adoption of more sophisticated and robust techniques; an approach that has become increasingly widespread. This study aimed to examine how computational metaheuristics have been employed to support managerial decision-making in multicriteria contexts. A systematic literature review was conducted following the prisma protocol, resulting in a curated bibliographic portfolio of 54 articles relevant to the research focus. The analysis included both a bibliometric assessment—covering nine key dimensions—and a metasynthesis. The findings reveal a predominance of genetic algorithms, fuzzy logic, and the use of hybrid methodologies. The growing prominence of soft computing within the field of operations research is evident, emphasizing the value of artificial intelligence as a powerful tool for managerial decision support. Promising avenues for future research include the application of methodologies to address uncertainty in decision-making processes and the use of evolutionary computational algorithms for solving multi-objective decision problems.

**Keywords:** Genetic algorithm, fuzzy logic, metaheuristics, systematic literature review, decision-making.

## Metaheurística para la toma de decisiones multicriterio: revisión sistemática de la literatura y oportunidades de investigación

**Resumen:** Debido a la creciente complejidad de las organizaciones, cada vez más variables forman parte del contexto de toma de decisiones, lo que dificulta la visualización de alternativas, la estructuración del problema de decisión y la evaluación de las acciones. Así, la investigación operativa pretende facilitar el proceso de toma de decisiones mediante la modelización matemática y, con la ayuda de las tecnologías de la información, se están implantando técnicas más robustas. Esta investigación estudió el uso de la metaheurística computacional en la toma de decisiones de gestión en un contexto multicriterio. Para ello, se realizó una revisión sistemática de la literatura utilizando el protocolo Prisma, que resultó en un portafolio bibliográfico de 54 artículos alineados con el tema. Se realizaron análisis bibliométricos, considerando nueve aspectos, y metasíntesis, cuyos resultados mostraron el predominio de los algoritmos genéticos, la lógica fuzzy y el uso de métodos híbridos. El crecimiento del *soft computing* en la investigación operativa es evidente, lo que demuestra que la inteligencia artificial es una herramienta importante para facilitar la toma de decisiones de gestión. Por lo tanto, las oportunidades para futuras investigaciones incluyen el uso de metodologías para tratar las incertidumbres inherentes a la toma de decisiones y algoritmos computacionales evolutivos para la toma de decisiones multiobjetivo.

**Palabras clave:** algoritmo genético, lógica fuzzy, metaheurística, revisión sistemática de la literatura, toma de decisiones.

## Introducción

Decidir é uma atividade constante, realizada na maioria das vezes de forma intuitiva. No entanto, na medida em que a complexidade aumenta, o processo de decisão passa a ser um procedimento difícil e multifacetado. Exemplo disso ocorre no ambiente organizacional, no qual os gestores têm que tomar decisões dos mais variados tipos, a fim de assegurar a competitividade e o atingimento das metas organizacionais (Longaray et al., 2016). Assim, conforme Bouyssou et al. (2000), quando a tomada de decisão constitui tarefa complexa e seus impactos são relevantes, é preciso recorrer a alguma técnica de tomada de decisão.

Entre as técnicas formais para a tomada de decisão, destacam-se as metodologias multicritério, que visam à modelagem dos diversos fatores que constituem o problema decisório com base em dados, no conhecimento científico e no julgamento humano. Dessa forma, dois paradigmas foram originados: o *multicriteria decision making* (MCDM) e o *multicriteria decision analysis* (MCDA). Ambos compreendem importantes ferramentas para a estruturação e avaliação de decisões complexas, com foco no apoio à tomada de decisão (Pérez-Gladish et al., 2020).

Nesse sentido, a utilização das técnicas MCDM/A conduz a construção de sistemas de avaliação baseados nos conhecimentos de especialistas, objetivando procedimentos matemáticos e técnicas computacionais avançadas para a modelagem do contexto decisório e para a resolução de problemas de decisão (Zak & Weglinski, 2014). Nesse domínio, o desenvolvimento de ferramentas computacionais, denominadas "*decision support systems* (DSS)", desempenham papel fundamental no apoio aos gestores no processo de tomada de decisão e sua utilização foi impulsionada pelo desenvolvimento das tecnologias de informação.

A utilização das tecnologias de informação, da *soft computing* e da inteligência artificial tem permitido avanços nas mais diversas áreas do conhecimento. Com relação à pesquisa operacional (PO), pesquisas recentes demonstram os avanços ao se incorporar a *soft computing* para o tratamento das incertezas aos métodos convencionais de tomada de decisão (Wang & Chen, 2021). No âmbito da computação evolucionária, os algoritmos bioinspirados são capazes de otimizar modelos de tomada de decisão, nos chamados "sistemas evolucionários", que utilizam a lógica Fuzzy para o tratamento das incertezas e um algoritmo evolutivo, como o algoritmo genético, para a otimização (Kouatli, 2013).

Pode-se, desse modo, entender que a informática viabiliza a modelagem computacional de algoritmos complexos capazes de operacionalizar os métodos multicritério através da criação de *softwares* e aplicativos. Assim, os DSS permitem potencializar o aspecto multicritério da tomada de decisão, levando em conta a natureza multidimensional dos problemas, viabilizando que o decisor incorpore seus sistemas de preferências no processo de tomada de decisão (Xidonas et al., 2021).



Nesse contexto, torna-se imperativo compreender os avanços na literatura científica a respeito da implementação de métodos multicritério associados a meta-heurísticas a fim de otimizar o processo de tomada de decisões gerenciais, bem como delinear o fluxo de construção do conhecimento e identificar as oportunidades de pesquisas futuras. Dessa forma, surgiu a seguinte questão: Como as meta-heurísticas computacionais podem contribuir para o aprimoramento dos métodos multicritério para o apoio à gestão?

Para responder a essa questão, foi realizada revisão sistemática da literatura por meio da aplicação do protocolo *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (Prisma) simplificado, que consiste em um processo estruturado para a seleção do portfólio bibliográfico (PB). Obtido o PB, foi realizada a análise bibliométrica dos 54 artigos selecionados, através de técnicas avaliativas e relacionais, e a metassíntese a fim de ampliar o entendimento sobre a temática de estudo.

## Metodologia

A fim de melhor compreender a construção do conhecimento científico sobre a utilização de meta-heurísticas para a tomada de decisão multicritério, foi realizada revisão sistemática da

literatura, aplicando-se o protocolo Prisma para a seleção do PB e para a condução da análise bibliométrica e da metassíntese. O protocolo Prisma consiste em um processo estruturado de revisão sistemática da literatura, composto de um *check-list* de 27 itens (dos quais 15 foram considerados) e um fluxograma de quatro etapas para a seleção do PB.

A primeira etapa desse processo consiste em se realizar buscas manuais nas bases de dados. Para isso, foram escolhidas três bases de dados indexadas pela plataforma da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior do Ministério da Educação (Capes): Scopus, IEEE e Science Direct. As buscas foram realizadas com o apoio do protocolo de buscas apresentado na Tabela 1, formulado com base em artigos de controle selecionados a partir de busca exploratória no Google Scholar.

Com o suporte dos artigos de controle, foram definidas as palavras-chave, divididas em três eixos temáticos: meta-heurísticas, métodos multicritério e gestão. As palavras-chave foram utilizadas na língua inglesa para se obter gama maior de resultados. Posteriormente, foi construída a *string* de busca, que consiste nas combinações de todos os descritores definidos para a pesquisa, apresentada na forma booleana.

Tabela 1. Protocolo de buscas

Pergunta de pesquisa	Como as meta-heurísticas podem contribuir para o aprimoramento dos métodos multicritério para o apoio à gestão?		
Eixos temáticos	Meta-heurísticas	Métodos multicritério	Gestão
Palavras-chave	Metaheuristics	Multicriteria decision analysis	Management
	Evolutionary algorithms	Decision making	Managerial
	Genetic algorithm	Decision aid	Organizations
		Operational research	Administration
<i>String</i> de busca	(Metaheuristics OR "Evolutionary algorithms" OR "Genetic Algorithm") AND ("Multicriteria Decision Analysis" OR "Decision Making" OR "Decision Aid" OR "Operational Research") AND ("Management" OR "Managerial" OR "Organizations" OR "Administration")		

Fonte: elaboração própria.

Com a *string* de busca definida, foi então realizada a seleção dos artigos nas bases de dados. A busca manual dos artigos obedeceu a alguns critérios de elegibilidade: foram selecionados apenas artigos científicos e trabalhos publicados em anais de conferências e com acesso aberto. Não foram utilizados filtros temporais, já que o objetivo é identificar o estado da arte do tema de estudo; logo, a pesquisa abrangeu todas as publicações até novembro de 2022.

Tendo-se definido o PB, foram realizadas as filtrações dos artigos. Primeiramente, foram excluídos os artigos repetidos. Na segunda filtração, foi realizada a leitura dos títulos, das palavras-chave e, quando necessário, dos resumos, com o objetivo de verificar o alinhamento com o tema de pesquisa. Por fim, os artigos tiveram seu texto completo analisado quanto a dois critérios de elegibilidade:

C1 – Utiliza um método multicritério combinado à meta-heurística?

C2 – O modelo é aplicado para a tomada de decisão gerencial? Ou seja, o método desenvolvido na pesquisa tem como objetivo auxiliar a tomada de decisão de gestores no contexto multicritério?

Não foi realizada a filtração quanto à qualidade das publicações, tendo em vista o interesse em verificar de forma mais ampla os tipos de meta-heurísticas utilizadas, bem como as diversas combinações de métodos. Na bibliometria, foram realizadas as análises quanto ao ano de publicação, à revista científica, às áreas de aplicação, aos tipos de métodos utilizados; utiliza-se a combinação de métodos (métodos híbridos), quanto aos tipos de algoritmos genéticos, à correlação entre autores, à média de citações dos autores e à correlação entre palavras-chave.

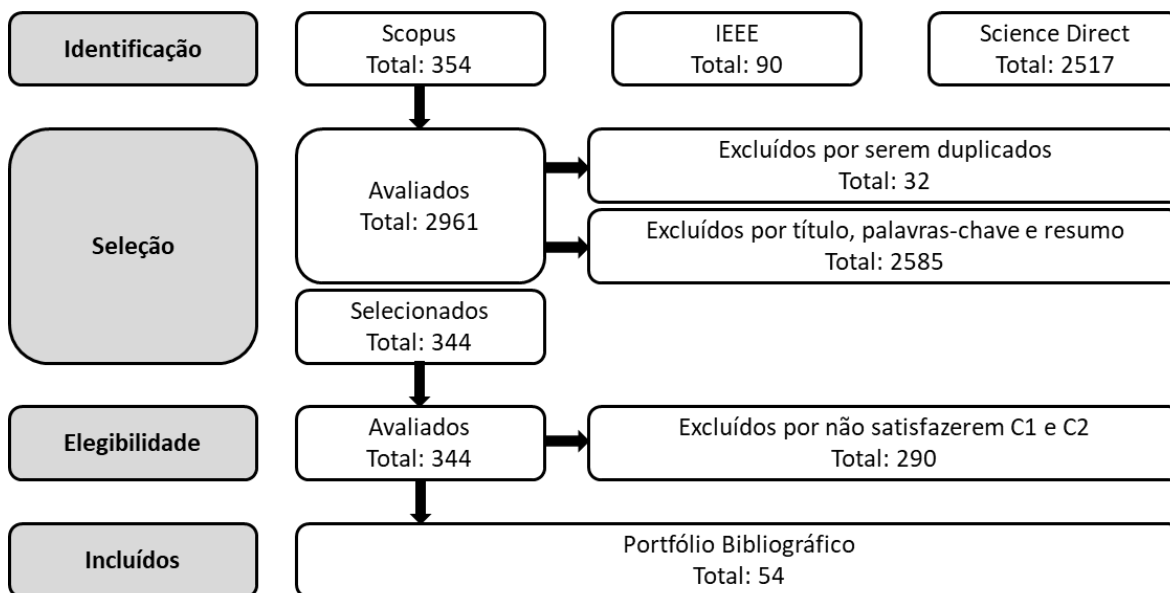
## Resultados e discussão

As buscas manuais resultaram 354 artigos a partir da pesquisa na base Scopus; 90, a partir da IEEE, e 2.517, a partir da Science Direct, totalizando um PB composto de 2.961 relatos. Os artigos foram importados para o Mendeley versão 1.19.4, que é um *software* de gerenciamento bibliográfico gratuito. Foi feito o refinamento da pesquisa, com a aplicação dos filtros, resultando ao final desse processo um PB composto de 54 artigos. A Figura 1 apresenta os resultados de todas as etapas de seleção do PB.

Obtido o PB, foi realizada a bibliometria, com o objetivo de ampliar o entendimento acerca do tema estudado. Nessa etapa, são extraídas informações relevantes, possibilitando reunir os resultados de diferentes estudos e compreender suas características. Para isso, foram utilizadas técnicas avaliativas e relacionais, que permitiram identificar o crescimento da literatura e a amplitude da utilização dos métodos, revelando o que foi produzido na área do conhecimento.

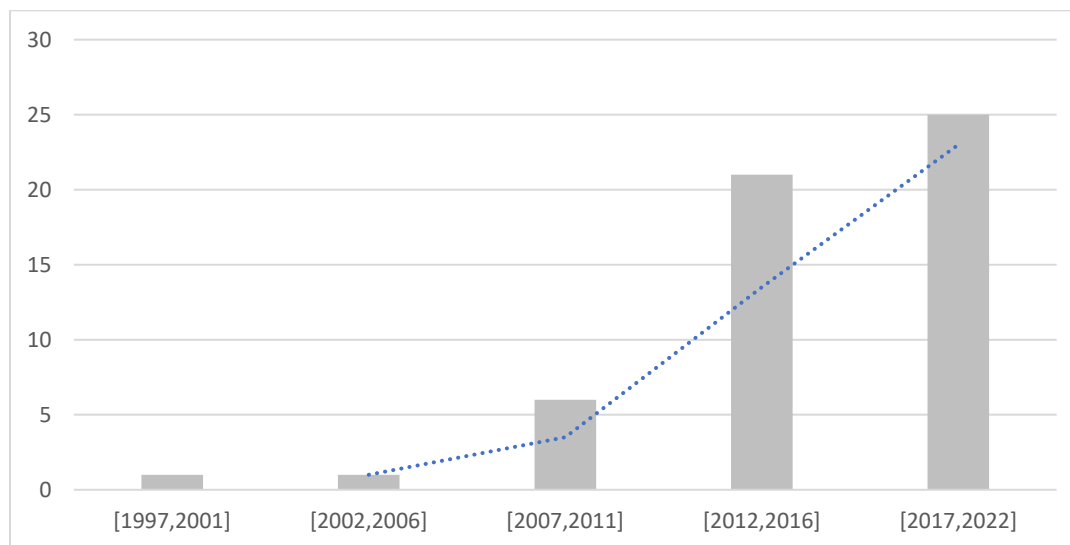
No primeiro critério, os 54 artigos foram analisados com relação ao ano de publicação. Assim, conforme demonstrado na Figura 2, podem-se observar o crescimento das publicações a partir de 2011 e a linha de tendência a partir da média móvel de dois períodos confirma a tendência de aumento das publicações nessa temática.

Figura 1. Resultados das buscas nas bases de dados e filtrações dos artigos



Fonte: elaboração própria.

Figura 2. Número de publicações por ano



Fonte: elaboração própria.

Embora se verifiquem estudos desde a segunda metade da década de 1990, essa área foi visivelmente impulsionada pela evolução tecnológica. Estima-se que isso se deva ao fato de que a informática tem permitido a codificação computacional de algoritmos complexos e, com a criação

de aplicativos e *softwares*, os métodos multicritério podem ser operacionalizados de forma rápida e de fácil manuseio. Logo, métodos que antes não eram aplicados, devido à grande complexidade, atualmente podem ser utilizados com o apoio dos DSS.

No segundo critério da bibliometria, as produções foram examinadas quanto às revistas científicas, conforme a Figura 3. Observa-se que a maioria das publicações está concentrada em revistas das áreas de matemática aplicada, computação, transportes e na área multidisciplinar em ciências técnicas e engenharia.

Além destas, também foram verificadas revistas nas áreas de PO, tecnologias da informação e comunicação, saúde pública, administração, desenvolvimento da área de petróleo e ciências sociais, o que demonstra a diversidade de áreas de concentração dos estudos, condizente com o caráter multidisciplinar da PO.

Diversas áreas do conhecimento são requeridas para integrar a PO, como matemática, administração, computação e psicologia. No entanto, essa multidisciplinaridade não compreende apenas a construção dos métodos, mas também o contexto de aplicação dos modelos. Assim, considerando-se que as técnicas de otimização, de tomada de decisão e de apoio à decisão desenvolvidas na PO podem ser aplicadas a diferentes campos, o terceiro critério analisado na bibliometria buscou verificar as aplicações dos modelos desenvolvidos.

A partir da Figura 4, pode ser observada grande diversidade nas áreas de aplicação, com destaque para a seleção de fornecedores, para a gestão de projetos, para a logística de transporte intermodal, para a manufatura, para o marketing, para os problemas de roteamento de localização e para a tomada de decisão em grupo.

Com base nas análises realizadas, pode-se concluir que a utilização de algoritmos evolucionários no processo de tomada de decisão multicritério, intensificada pelas ferramentas computacionais, tem sido aplicada em diversos contextos. Isso demonstra o potencial da PO e a importância da utilização de técnicas científicas para o apoio a decisões dos mais variados tipos.

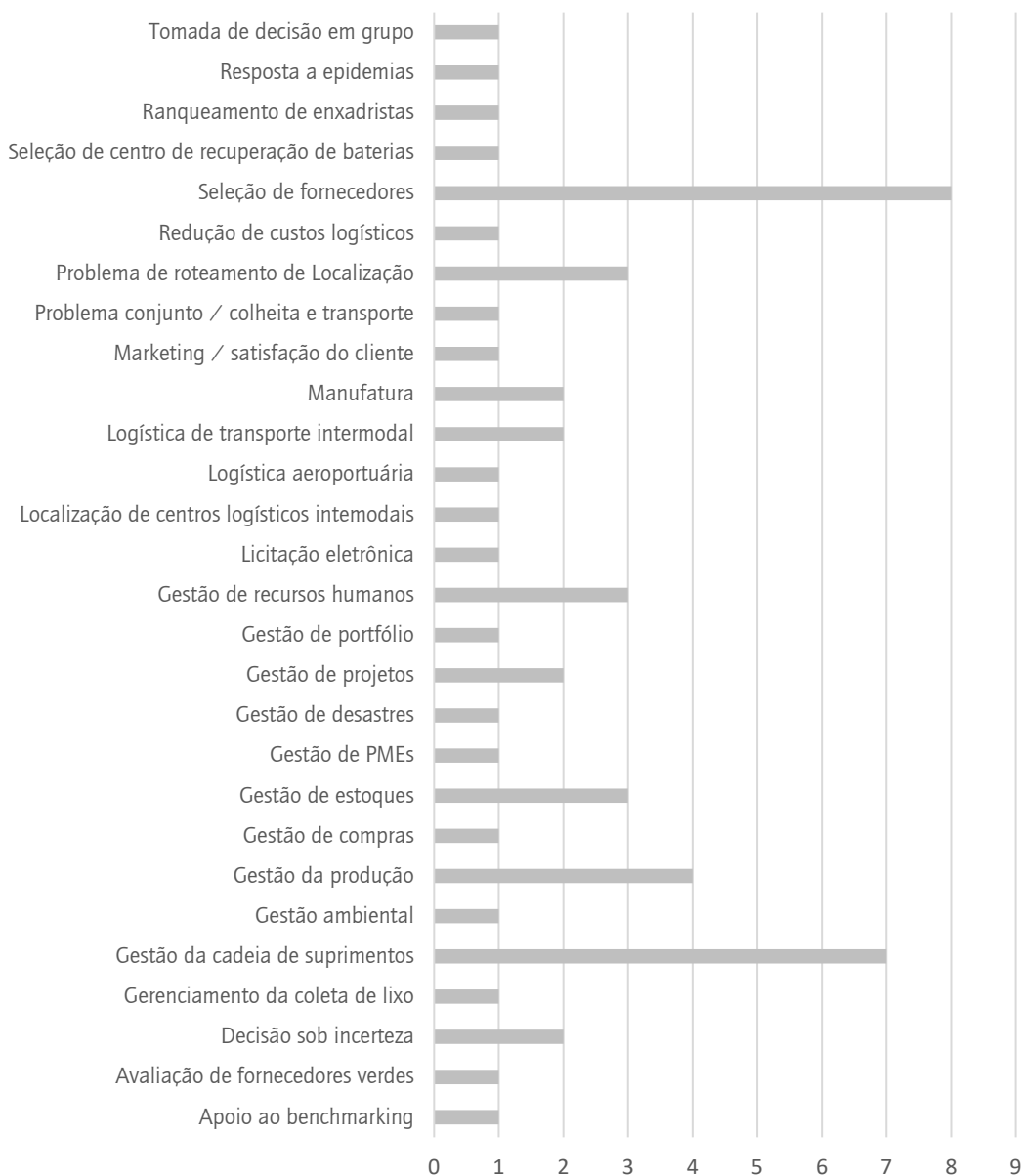


Figura 3. Número de publicações por revista



Fonte: elaboração própria.

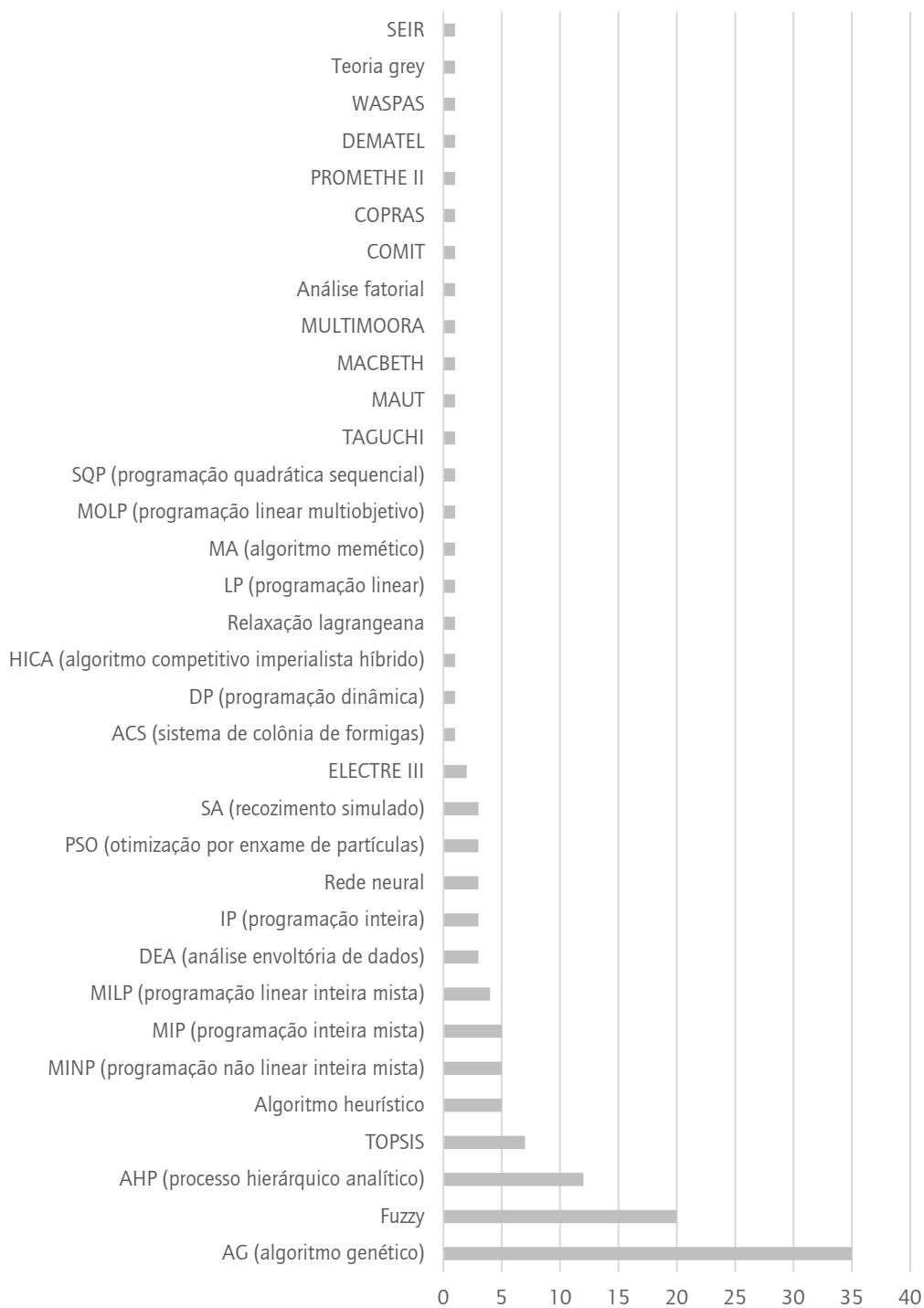
**Figura 4. Áreas de aplicação dos modelos**



Fonte: elaboração própria.

No quarto critério, foram observados os métodos multicritério e as meta-heurísticas utilizadas nos modelos. A Figura 5 apresenta os resultados dessa análise, a qual demonstra que, dos algoritmos evolucionários, o algoritmo genético é o mais utilizado. Em seguida, aparecem os algoritmos heurísticos, recozimento simulado, otimização por enxame de partículas e redes neurais.

Figura 5. Métodos multicritério e meta-heurísticas



Fonte: elaboração própria.

Com relação aos métodos multicritério, o processo hierárquico analítico (Saaty, 1977) foi o mais recorrente, sendo utilizado em 12 pesquisas, com destaque para a utilização da lógica Fuzzy para o tratamento das incertezas. Esse resultado reforça o potencial do processo hierárquico analítico, que é o método multicritério de agregação mais utilizado em estudos de tomada de decisão (Longaray et al., 2016). Da mesma forma, mostra a competência da lógica Fuzzy para tratar as subjetividades das avaliações dos decisores.

Observam-se também a utilização de outros métodos consagrados, como análise envoltória de dados (Charnes et al., 1978), Topsis (Hwang & Yoon, 1981), Electre (Roy, 1968), Promethee (Brans & Vincke, 1985), programação linear e programação não linear. Ou seja, os artigos do portfólio bibliográfico utilizam tanto métodos derivados da teoria da utilidade multiatributo ou do critério único de síntese e métodos de sobreclassificação quanto de métodos interativos.

Assim, é inferido que o algoritmo genético consiste em um algoritmo computacional alinhado às metodologias multicritério, podendo ser utilizado para a tomada de decisão de forma eficaz. Da análise dos artigos do portfólio bibliográfico, observou-se que o algoritmo genético foi aplicado em diversas áreas, como gestão de fornecedores, logística de transporte intermodal, gestão da cadeia de suprimentos, gestão da produção, gestão de projetos, gestão de estoque, gestão de compras, gestão de Pequenas e Médias Empresas (PME), gestão de recursos humanos, logística aeroportuária, decisão em licitações eletrônicas, tomada de decisão em grupo e decisão sob incerteza. Demonstrando assim o potencial do algoritmo genético para a tomada de decisões em contextos diversos.

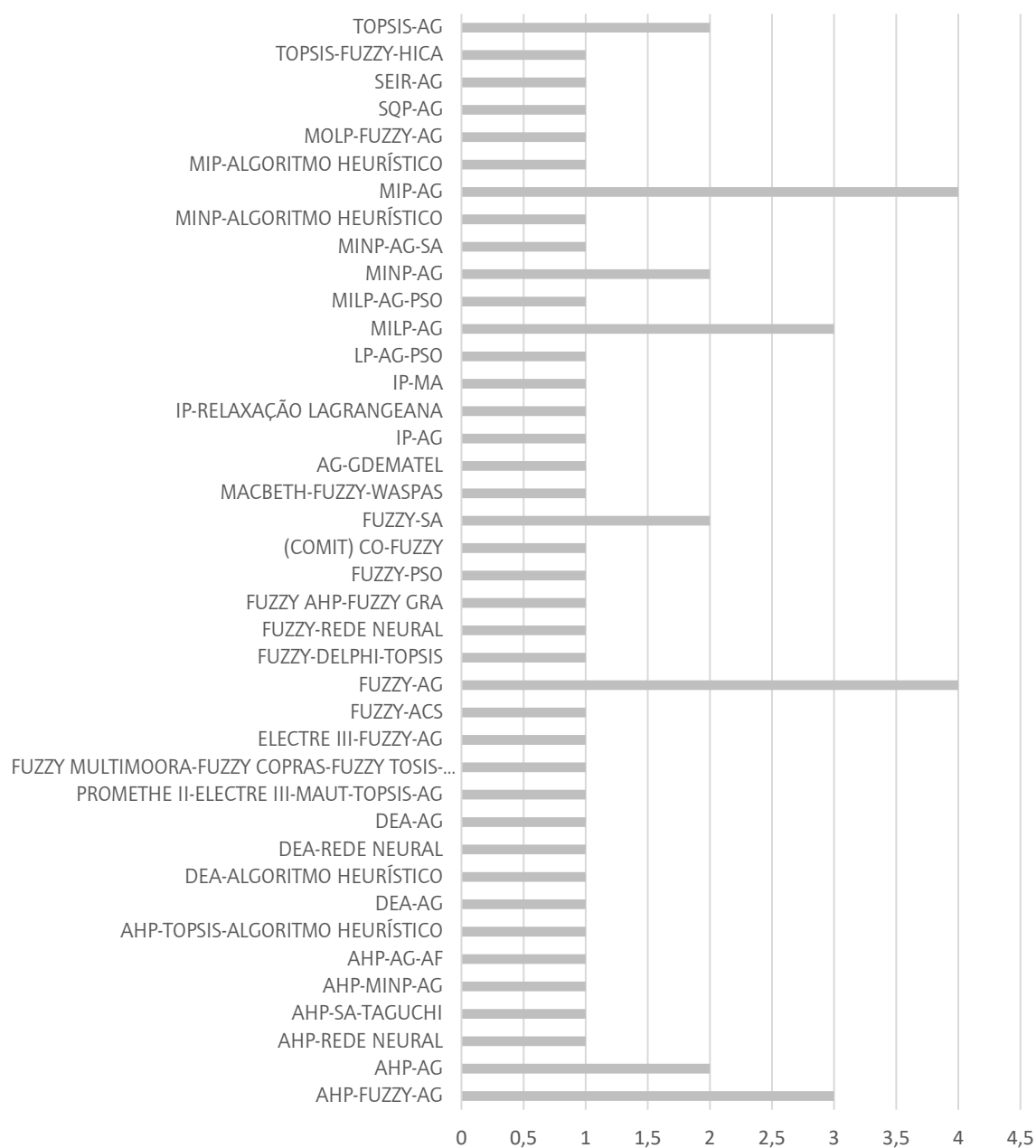
É importante considerar que a PO está intimamente relacionada à construção de modelos e algoritmos que facilitam a análise de problemas complexos do mundo real e que essa complexidade é responsável pela dimensionalidade dada ao problema (Zopounidis & Pardalos, 2010). Assim, a escolha do método para construir o modelo ou para selecionar a alternativa ótima dependerá das características do contexto de decisão.

Nesse sentido, a Figura 6 apresenta os resultados referentes às combinações de métodos utilizadas. O resultado mostra a competência da associação de métodos para a obtenção de resultados eficazes, tornando o modelo desenvolvido mais robusto. A partir da revisão da literatura, pode-se constatar que os modelos híbridos possuem a capacidade de gerar bons resultados e soluções para problemas reais e que lidem com aspectos computacionais para resolver problemas de grande porte.

Dos 54 artigos do portfólio bibliográfico, 65% apresentaram algoritmo genético associado a algum método, o que demonstra sua adaptabilidade e facilidade de implementação. O resultado observado vai ao encontro de Costa et al. (2005), que afirmam que o algoritmo genético é uma técnica de otimização estocástica computacional poderosa e, provavelmente, a mais importante técnica de computação evolucionária.

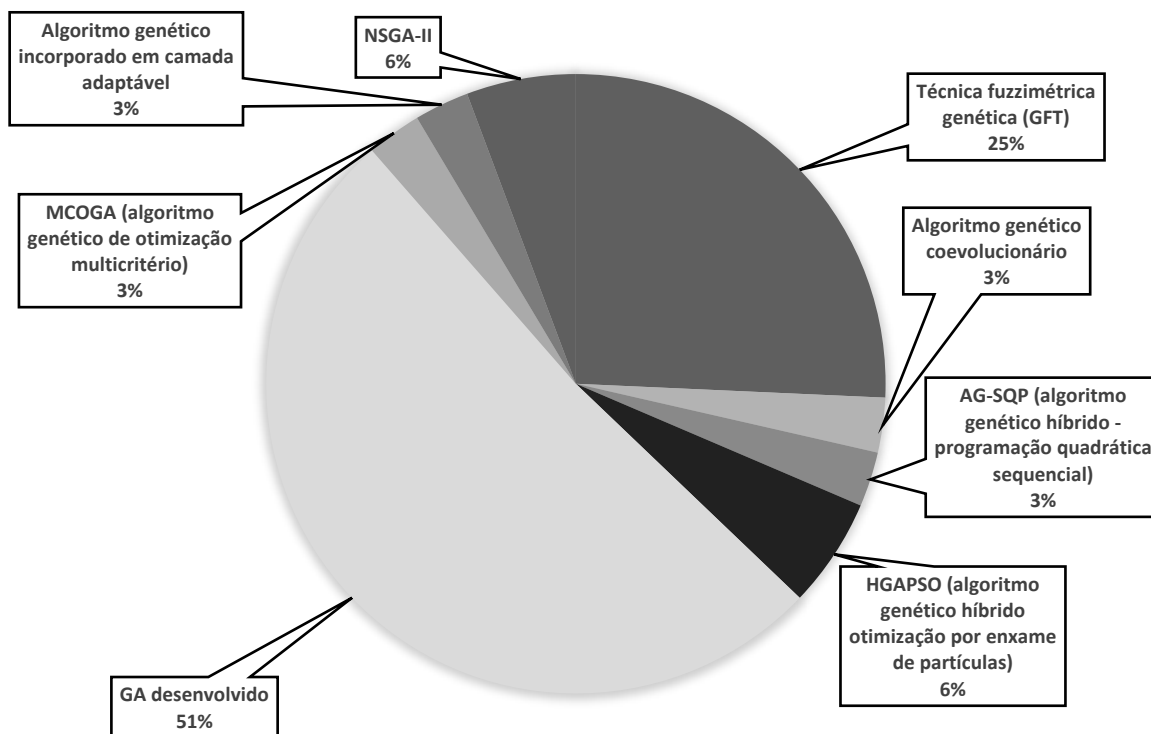
Além da simplicidade, os algoritmos genéticos trabalham com um conjunto de soluções; assim, a cada rodada, um conjunto de saídas pode ser oferecido ao decisor para apoiá-lo em sua decisão, o que o torna uma ferramenta adequada à resolução de problemas multiobjetivos. Para melhor compreender a utilização dos algoritmo genético nos estudos, a Figura 7 apresenta a compilação dos tipos de algoritmos genéticos utilizados.

Figura 6. Combinações de métodos



Fonte: elaboração própria.

Figura 7. Tipos de algoritmos genéticos utilizados nos trabalhos do portfólio bibliográfico



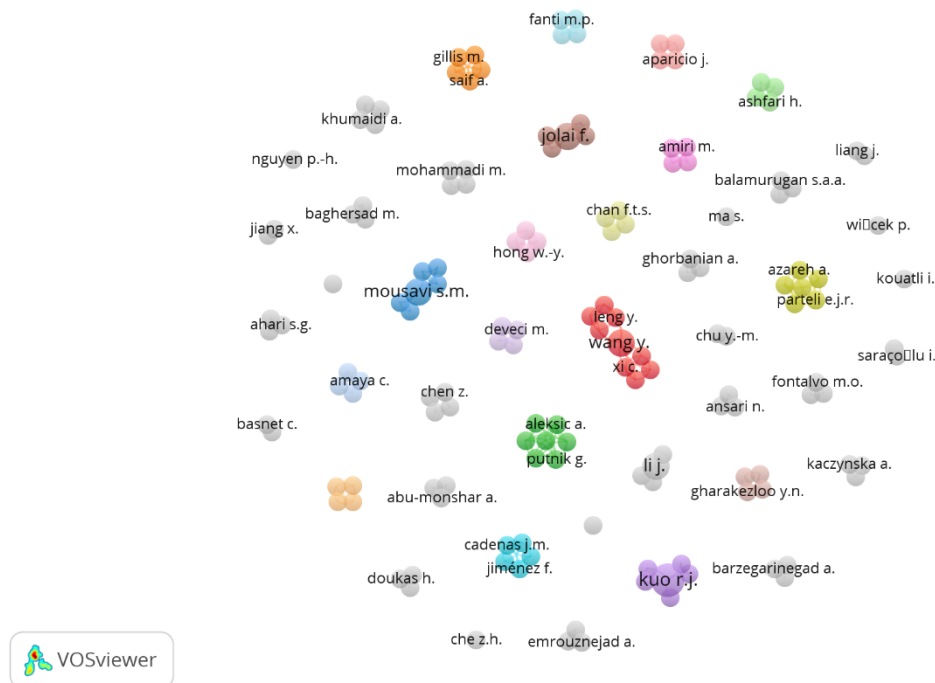
Fonte: elaboração própria.

Para ampliar ainda mais o conhecimento sobre o tópico, foram utilizadas técnicas de análise relacional com o auxílio do *software* VOSviewer versão 1.6.18. A Figura 8 apresenta a análise de coautoria. O gráfico gerado demonstrou que o portfólio bibliográfico está dividido em 45 *clusters*. O maior deles, evidenciado em vermelho, corresponde a um conjunto de nove autores, dos quais se destaca Wang, que trabalha em colaboração com os outros oito autores que compõem o *cluster* através de dois artigos.

O segundo maior *cluster*, composto de sete itens, é o de Aleksic, em verde. Os *clusters* de Mousavi, Azareh, e Kuo, em azul, amarelo e roxo, respectivamente, são compostos de seis itens. No entanto, destaca-se o *cluster* de Kuo, que é composto de três artigos, o que demonstra maior colaboração desse autor. Já o *cluster* de Mousavi conecta dois trabalhos.

O oitavo *cluster*, em marrom claro, mostra dois artigos interligados por Jolai. Por fim, embora o 22º *cluster* seja composto de apenas quatro autores em colaboração, Li une dois artigos. Dessa forma, entende-se que os autores que apresentam mais relações de colaboração são os que mais se destacam no portfólio bibliográfico.

Figura 8. Correlação entre autores

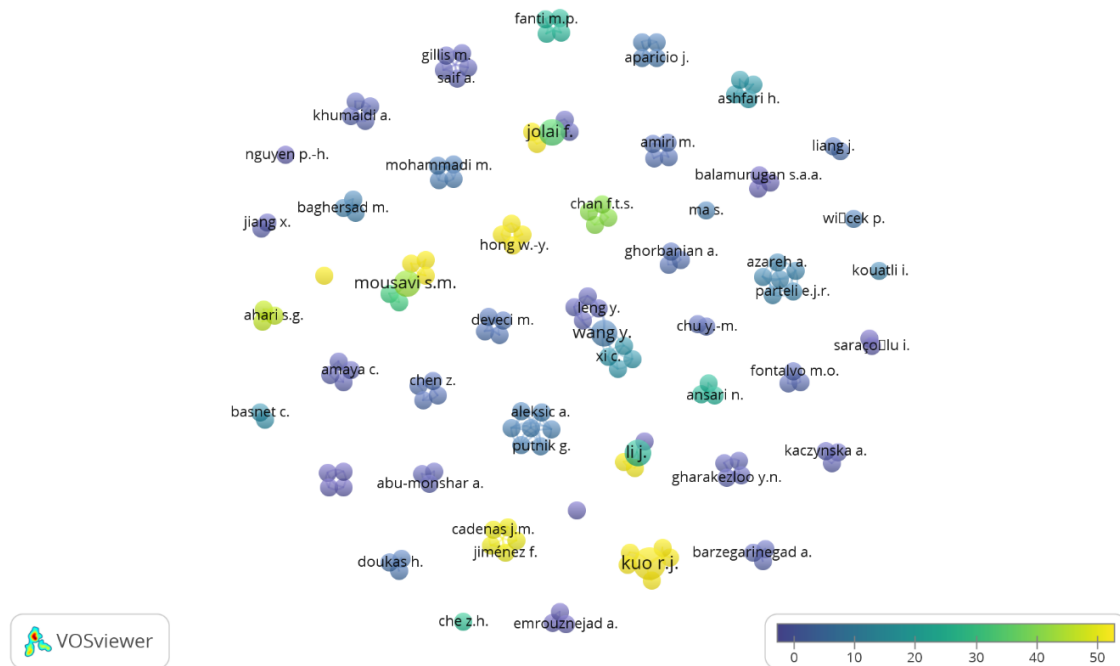


Fonte: elaboração própria.

A Figura 9 apresenta a análise das médias das citações dos autores. Pode-se observar que, em média, a rede de colaboração de Kuo é bastante citada. Destacam-se também as redes de colaboração de Jolai, Mousafi e Li. Já Kayikci, Hong e Cadenas formam três *clusters* que, embora não tenham se destacado quanto à colaboração entre autores, apresentam alta média de citação. Além disso, observa-se que essas publicações são mais antigas, o que pode demonstrar que se trata de referências importantes.

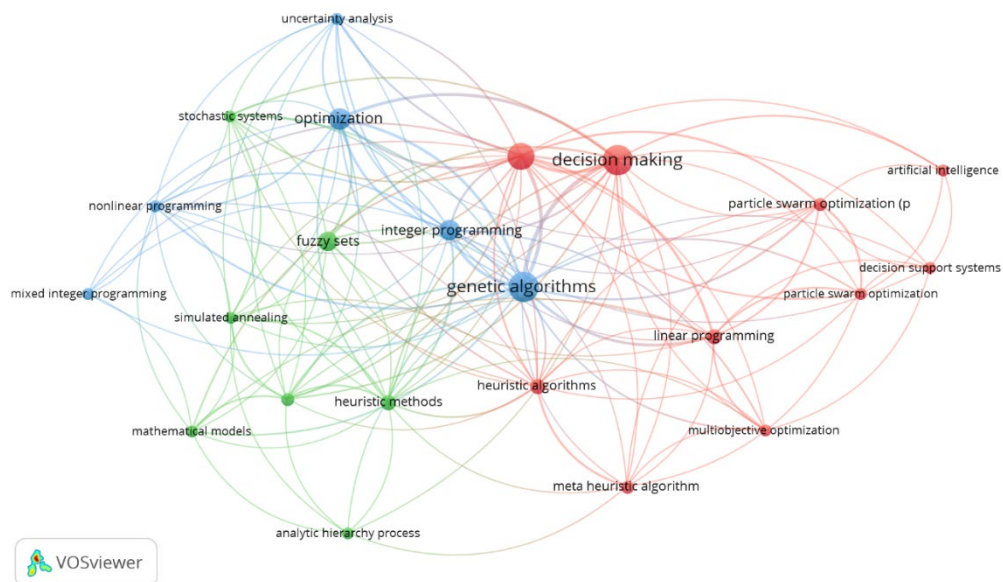
A partir da Figura 10, observa-se que o algoritmo genético é a palavra-chave que mais interage entre as diversas pesquisas. Das palavras-chave que mais se relacionaram, três *clusters* podem ser observados, dos quais o algoritmo genético colabora com todos. Isso reforça o potencial dele observado na bibliometria.

Figura 9. Média das citações dos autores



Fonte: elaboração própria.

Figura 10. Relação entre palavras-chave



Fonte: elaboração própria.



A Tabela 2 apresenta a síntese dos artigos e a Figura 11 demonstra a análise esquemática dos métodos utilizados pelos autores. A partir da análise dos estudos que compuseram o portfólio bibliográfico, conclui-se que os algoritmos genéticos são uma meta-heurística aplicada com eficácia na tomada de decisão multicritério. Por possuírem a habilidade de gerar um conjunto de soluções a cada rodada, têm sido utilizados para resolver problemas de programação linear e não linear.

Percebe-se também o movimento de pesquisadores no intuito de combinar métodos multicritério de agregação, como o processo hierárquico analítico e o TOPSIS, e métodos de sobreclassificação, como o Electre e o Promethee, com os algoritmos genéticos, a fim de melhorar o tempo computacional de execução desses métodos (Zhang et al., 2013; Khumaidi et al., 2020; Wang et al., 2015; Kouatli, 2013; Ma, 2016; Kayikci, 2010; Kannan et al., 2021; Kamali et al., 2011; Che, 2012; Sadeghi et al., 2016; Leyva-López et al., 2022; Xidonas et al., 2021). Este fato se deve à busca por maior agilidade computacional para os *softwares* de tomada de decisão. Com o desenvolvimento dos DSS, a utilização de métodos multicritério para o apoio à gestão têm se tornado mais acessíveis, viabilizando sua utilização por decisores e especialistas, resultando em ferramentas com melhor desempenho computacional.

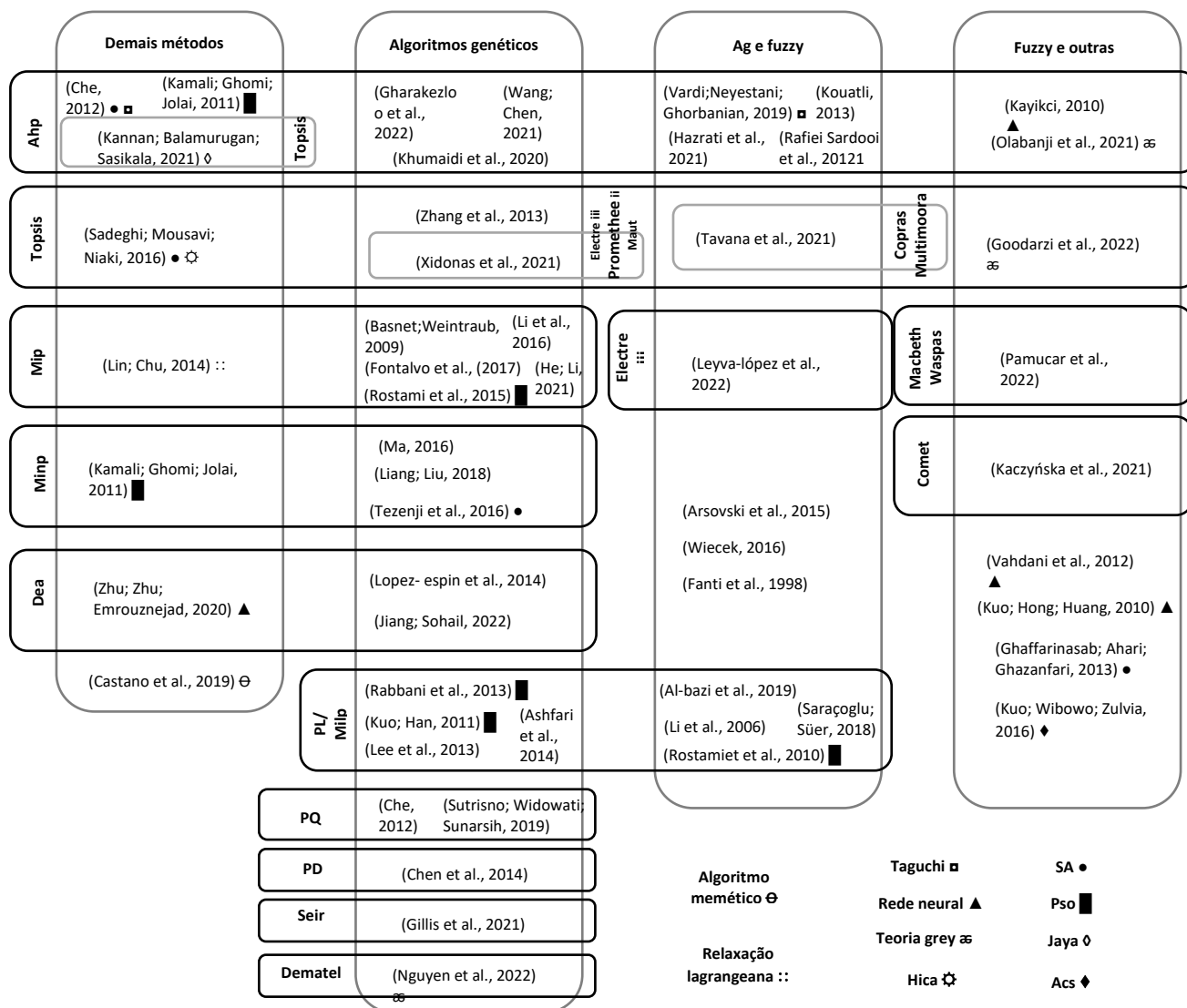
A subjetividade que permeia o contexto decisório também tem sido considerada na tomada de decisão. Alguns métodos da família Electre, por exemplo, leva em consideração a subjetividade do decisor ao atribuir as avaliações. No Electre III, o índice de credibilidade  $\sigma(a, b)$  se assemelha conceitualmente aos conjuntos Fuzzy, em que  $\sigma(a, b)$  recebe valores no intervalo de 0 a 1, e os limites de concordância e discordância são graduais. Essa relação de sobreclassificação do Electre III também é utilizada no Electre TRI-nB, no qual as categorias são definidas por perfis limitantes (Bouyssou et al., 2023). Alinhado a isso, Leyva-López et al. (2022) utilizam o NSGA II para otimizar o Electre III e obter o ranqueamento final das alternativas.

Diversos métodos para tratar a incerteza são descritos na literatura, dos quais se pode ressaltar a teoria Fuzzy intuicionista (Atanassov & Gargov, 1989), a teoria dos conjuntos neutrosóficos (Smarandache, 1995) e a teoria dos números grey (Deng, 1982). Entre os estudos do portfólio bibliográfico, prevalece o uso da teoria dos conjuntos Fuzzy para tratar a incerteza e a subjetividade que permeiam o processo decisório, permitindo que o decisor inclua suas dúvidas nas avaliações. Além disso, verifica-se que a teoria dos conjuntos Fuzzy é aplicada em associação com diversas metodologias de forma eficiente, incluindo os AG. Outras variações da teoria Fuzzy, como a teoria dos conjuntos Fuzzy intuicionista e o hesitante Fuzzy, por exemplo, têm sido utilizadas para a avaliação em grupo e decisão sob hesitação.

Conforme pode ser observado na Figura 12, com relação às áreas de aplicação, foram utilizados o processo hierárquico analítico, o TOPSIS e a programação linear, não linear e dinâmica combinados à meta-heurísticas para os problemas da cadeia de suprimentos e gestão de estoque. Para a seleção de pessoas ou de fornecedores, houve o predomínio do processo hierárquico analítico, do TOPSIS e do Electre III combinados à meta-heurísticas. Já na gestão logística ou seleção

de local, predominaram estudos que utilizaram programação linear, não linear e dinâmica combinados à meta-heurísticas, além da teoria Fuzzy, do processo hierárquico analítico e o Macbeth.

Figura 11. Síntese dos métodos utilizados nos artigos do portfólio bibliográfico



Fonte: elaboração própria.

Figura 12. Síntese das áreas de aplicação dos modelos nos artigos do portfólio bibliográfico

	Ahp e metaheurísticas	Topsis e metaheurísticas	Lp/milp/minp/mip/i p/dp e metaheurísticas	Dea e metaheurísticas	Outros mmc e metaheurísticas
Gestão de pessoas			(Nguyen et al., 2022)	(Jiang; Sohail, 2022)	
Seleção de pessoas / fornecedores	(Hazrati et al., 2021) (Wang; Chen, 2021) (Kannan; Balamurugan; Sasikala, 2021) (Vardi; Neyestani; Ghorbanian, 2019) (Che, 2012)	(Wang et al., 2015) (Goodarzi et al., 2022)	(Basnet; weintraub, 2009)		<b>Electre III</b> (Leyva-lópez et al., 2022) (Vahdani et al., 2012) (Kuo; Hong; Huang, 2010)
Cadeia de suprimentos / estoque	(Kamali; Ghomi; Jolai, 2011) (Khumaidi et al., 2020)	(Sadeghi; Mousavi; Niaki, 2016) (Zhang et al., 2013) (Tavana et al., 2021)	(Saraçoglu; Süer, 2018) (Lee et al., 2013) (Rostami et al., 2015) (Tezenji et al., 2016) (Rostami et al., 2010) (Kuo; Han, 2011) (Rabbani et al., 2013) (Lin; Chu, 2014) (Kamali; Ghomi; Jolai, 2011) (Sutrisno; Widowati; Sunarsih, 2019)		
Gestão logística/seleção de local	(Kayikci, 2010)		(Al-bazi et al., 2019) (Chen et al., 2014) (Ashfari et al., 2014) (Li et al., 2016) (Gillis et al., 2021) (Liang; Liu, 2018) (He; Li, 2021) (Fontalvo et al., 2017)		<b>Macbeth Wasps</b> (Pamucar et al., 2022) (Wiecek, 2016) (Fanti et al., 1998)
Gestão de projeto / portfólio	(Olabanji et al., 2021)	(Xidonas et al., 2021)	(Ma, 2016)		
Roteamento de veículos					(Kuo; wibowo; zulvia, 2016) (Castano et al., 2019) (Ghaffarinasab; Ahari; Ghazanfari, 2013)
Outros	(Gharakezloo et al., 2022) (Kouatli, 2013) (Rafiei Sardooi et al., 2021)		(Li et al., 2006)	(Zhu; zhu; emrouznejad, 2020) (Lopez- espin et al., 2014)	<b>Comet</b> (kaczyńska et al., 2021) (arsovski et al., 2015)

Fonte: elaboração própria.

Tabela 2. Metassíntese dos artigos do portfólio bibliográfico

Referência	Aplicação	Características principais
Basnet e Weintraub (2009)	Seleção de fornecedores	Nesse estudo, o problema de decisão é formulado como um problema bicritério de minimização de custos e minimização do número de fornecedores. Os autores apresentam um algoritmo genético multiobjetivo para gerar soluções ótimas, em que cada cromossomo é um conjunto de fornecedores. Com isso, percebe-se a potencialidade dos algoritmos genéticos para a otimização de problemas multiobjetivo. Além disso, os resultados do estudo demonstram que as soluções geradas pelo algoritmo genético ficaram próximas às soluções reais, o que demonstra que o algoritmo genético não apenas é eficiente, como também eficaz, sendo capaz de chegar às soluções próximas à fronteira de Pareto, desde que seus parâmetros sejam corretamente calibrados.
Chen e Schonfeld (2012)	Otimização da logística intermodal, com foco na logística verde	Foi desenvolvido método híbrido que combina programação quadrática e algoritmo genético, a fim de otimizar a integração de transportes intermodais na logística verde. Assim como Basnet e Weintraub (2009), os autores utilizam o algoritmo genético para a otimização do problema multiobjetivos. A programação quadrática produz a solução inicial e o algoritmo genético gera soluções que desafiam a solução inicial, prevalecendo a dominante. O principal achado, além do resultado eficaz, foi que o algoritmo genético reduziu o tempo de execução do problema. Dessa forma, entende-se que o potencial dele para a geração de soluções com menor tempo computacional pode ser benéfico em problemas de grandes proporções.
Kuo e Han (2011)	Cadeia de suprimentos	Duas meta-heurísticas são utilizadas para otimizar o problema de programação linear de dois níveis de distribuição da cadeia de suprimentos, algoritmo genético e otimização por enxame de partículas. Foram comparadas três combinações de métodos híbridos, HGAPSO-1, HGAPSO-2 e HGAPSO-3 (este último proposto pelos autores). Os resultados demonstraram que os métodos híbridos funcionaram melhor do que o algoritmo genético e a otimização por enxame de partículas isoladamente e se verificou que o HGAPSO-3 foi superior aos outros dois. Ressalta-se, portanto, a competência dos métodos híbridos.
Zhang et al. (2013)	Cadeia de suprimentos	O algoritmo genético para a otimização multicritério é proposto com base no Topsis, no qual o valor do gene representa o número do fornecedor e a localização do gene representa o número do pedido. Logo, os cromossomos gerados são as alternativas do Topsis e o valor de cada alternativa é o valor de aptidão. Desta forma, pode-se observar a flexibilidade dos algoritmos genéticos para trabalhar tanto com problemas de otimização em métodos interativos quanto com métodos baseados no critério único de síntese.
Chen et al. (2014)	Tomada de decisão em projeto de sistema de gerenciamento de infraestrutura de transporte	Utilizam um algoritmo genético para resolver o problema de alocação de recursos (orçamento) e programação dinâmica para resolver o modelo de distribuição de projetos, em dois processos interconectados de alocação de recursos e distribuição de projetos. Observa-se uma forma diferente de combinar os métodos, na qual os autores utilizam o algoritmo genético em uma etapa e a programação dinâmica em outra. Ou seja, em cada etapa, consideram-se as características do problema para a seleção do método mais alinhado com o objetivo, combinando posteriormente os resultados obtidos.
He e Li (2021)	Colheita e transporte, como um sistema integrado	Nesse estudo, o problema de roteamento de veículos com várias viagens ao longo do dia é descrito como um Problema de Programação Inteira Mista e um algoritmo híbrido, que combina algoritmo genético com um algoritmo de distribuição, é desenvolvido para resolver o problema de otimização.

Referência	Aplicação	Características principais
		Novamente, observa-se a escolha pela hibridização de meta-heurísticas, a fim de incrementar o processo de otimização.
Fontalvo et al. (2017)	Gestão logística	Apresenta um modelo estratégico de localização de estoque, multiproduto e com demanda variável. Para resolver o complexo problema de programação inteira mista, foi utilizado o algoritmo genético, cuja utilização para a otimização do problema permitiu a consideração de aspectos estratégicos e táticos para a tomada de decisão.
Rabbani et al. (2013)	Cadeia de suprimentos	O problema de roteamento de estoque é formulado como uma programação linear inteira mista e é proposto um algoritmo híbrido com algoritmo genético combinado com otimização por enxame de partículas. Os autores subdividem o problema em duas etapas e utilizam o algoritmo genético para encontrar a solução elegível para o primeiro subproblema e a otimização por enxame de partículas para resolver o segundo subproblema. Pode-se observar que, nesse estudo, para cada etapa foi utilizado um algoritmo meta-heurístico para a otimização, considerando as características de cada subproblema.
Ma (2016)	Gerenciamento de portfólio de produtos	Nesse estudo, um algoritmo genético foi utilizado para otimizar o problema de programação inteira linear, formulado como um modelo de dois níveis líder-seguidor, no qual as decisões do líder servem como restrições para o problema de otimização dos seguidores. Assim, verifica-se a versatilidade dos algoritmos genéticos, que podem ser combinados para resolver diferentes problemas de otimização.
Lee et al. (2013)	Gestão de estoque	Nesse artigo, um algoritmo genético é desenvolvido para resolver o problema de otimização de um modelo de programação linear inteira mista para o problema de dimensionamento de lote com múltiplos fornecedores, vários períodos e desconto por quantidades. Observa-se a partir desse estudo, a habilidade dos algoritmos genéticos resolverem problemas considerando diversos objetivos.
Tezenji et al. (2016)	Gestão da cadeia de abastecimento	Nesse artigo, foi desenvolvido modelo de programação não linear inteira mista, resolvido através de dois algoritmos meta-heurísticos: algoritmo genético e recozimento simulado. Este último apresentou melhores resultados. Observa-se que não foi utilizado método híbrido, mas feita a comparação do desempenho das duas meta-heurísticas para a otimização do problema proposto.
Lopez-Espin et al. (2014)	Eficiência de unidades e <i>Benchmarking</i>	Os autores estudam análise envoltória de dados (Dea) com base em alvos eficientes mais próximos, para que as unidades tomadoras de decisão ineficientes possam encontrar a fronteira eficiente de forma mais fácil. Para isso, o problema é abordado por meio de algoritmo genético. É utilizado ainda método de busca aleatória em algumas partes do algoritmo genético a fim de explorar melhor o espaço de busca. Esse estudo demonstra a capacidade dele para otimização de método de programação linear, como também a hibridização de meta-heurísticas para potencializar o procedimento de otimização.
Khumaidi et al. (2020)	Gestão da cadeia de abastecimento	Nesse estudo, um algoritmo genético foi combinado ao método multicritério processo hierárquico analítico para analisar problemas de localização de distribuição logística, o algoritmo genético obtém algumas soluções ótimas sobre fatores econômicos e o processo hierárquico analítico avalia as soluções. A partir desse estudo, observa-se mais uma aplicação de algoritmo genético combinado a método multicritério de agregação.
Ashfari et al. (2014)	Gestão da cadeia de abastecimento	Os autores propõem um modelo de programação linear inteira mista estocástica para otimizar múltiplos objetivos, minimizar o custo de instalação e os custos de transporte, gerenciar o estoque e maximizar a satisfação do cliente com uma perspectiva sustentável. Para a resolução do problema, é utilizado algoritmo

Referência	Aplicação	Características principais
		genético multiobjetivo. Observa-se, nesse estudo, a competência do algoritmo genético para otimizar problemas com múltiplos objetivos, tanto em problemas de minimização quanto em de maximização.
Sutrisno et al. (2019)	Seleção de fornecedores e gerenciamento de estoque	Nesse estudo, os autores utilizaram um algoritmo genético para fornecer soluções para o problema de programação quadrática inteira de seleção probabilística de fornecedores e gerenciamento de estoque, com parâmetros aleatórios no algoritmo genético, o que resultou no crescimento exponencial do número de variáveis. Assim, os autores concluíram que o algoritmo genético não é preferido na resolução de problemas de grande escala no que diz respeito à seleção de fornecedores e à gestão de estoque. Isso demonstra a importância tanto da calibração adequada dos parâmetros do algoritmo quanto da escolha da meta-heurística mais alinhada às características do problema.
Li et al. (2016)	Gestão da produção	Nesse estudo, os autores propuseram novo algoritmo genético para resolver um modelo de programação inteira mista para maximizar os benefícios econômicos, otimizando o cronograma de produção e estabelecendo uma escala de produção.
Rostami et al. (2015)	Gerenciamento de lotes de entrega	Nesse estudo, são propostos três algoritmos para solucionar o problema de programação inteira mista, um usando o método <i>branch and bound algorithm</i> , um algoritmo de otimização de enxame de partículas discretas e o último utilizando o algoritmo genético. O algoritmo de otimização de enxame de partículas e o algoritmo genético foram utilizados para melhorar o tempo computacional de execução do modelo. Os resultados obtidos demonstram que a integração dos métodos pode levar ao aumento da capacidade de tomada de decisão.
Liang e Liu (2018)	Gestão de resíduos sólidos urbanos	Nesse artigo, os autores projetam um algoritmo genético para otimizar o problema de programação não linear inteira mista, em que a função objetivo minimiza os custos anuais de operação. Considera-se que o algoritmo genético é aplicado na otimização de um problema multiobjetivo, já que os custos anuais são subdivididos em diversas categorias orçamentárias.
Arsovski et al. (2015)	PME	Nesse estudo, os fatores potenciais verificados de resiliência organizacional são estimados usando a teoria dos conjuntos Fuzzy. Um algoritmo genético é proposto para obter a combinação de uso de recursos e melhoria dos fatores potenciais verificados de resiliência organizacional que maximize a resiliência geral. Observa-se, portanto, a utilização do método da <i>soft computing</i> com meta-heurística para a otimização de um problema multiobjetivo, permitindo contemplar os aspectos de incerteza do problema.
Wang et al., 2015	Licitação eletrônica	Os autores apresentam uma abordagem híbrida que combina algoritmo genético e Topsis, para habilitar e procurar o melhor proponente em licitação eletrônica, em que os atributos dos proponentes são expressos por um conjunto intuicionista de números Fuzzy. Esse estudo destaca-se por apresentar o algoritmo genético para a otimização e a teoria Fuzzy para incorporar a incerteza do contexto, combinados ao método multicritério de agregação.
Kouatli, 2013	Decisão sob incerteza	O autor propõe uma técnica fuzzimétrica genética, introduzindo um sistema híbrido onde a lógica Fuzzy lida com elementos de incerteza e um algoritmo genético aborda a questão da otimização e ajuste. O sistema resulta uma saída que, após ser defuzzificada, é multiplicada por um fator de ponderação para se obter a saída discreta. Esse fator de ponderação é determinado por meio do processo hierárquico analítico. O estudo demonstra, assim, a possibilidade de serem utilizados diferentes métodos em cada etapa do modelo para aprimorar os resultados obtidos.

Referência	Aplicação	Características principais
Rostami et al. (2010)	Cadeia de suprimentos	Nesse estudo, pode-se observar novamente a utilização de diferentes métodos em cada etapa do modelo. Para resolver o problema de programação linear multiobjetivo possibilístico, foi aplicada uma abordagem em duas etapas. Na primeira, o modelo original é convertido em um equivalente e, na segunda etapa, é usada a programação por metas Fuzzy. É proposto um algoritmo genético para a resolução do problema e, para a obtenção da população inicial do algoritmo genético, foi utilizado otimização por enxame de partículas.
Al-Bazi et al. (2019)	Gestão aeroportuária	Os autores propõem um modelo de programação linear Fuzzy e algoritmo genético, para maximizar a receita de uma rede de voos de grande escala com vários trechos, minimizando o número de assentos vazios e o número de passageiros negados. Observa-se a combinação de métodos para a otimização, considerando as incertezas do problema.
Fanti et al. (1998)	Agendamento de tarefas em sistemas de produção flexíveis	Nesse estudo, os autores utilizaram teoria Fuzzy e algoritmo genético. A teoria Fuzzy é aplicada para a obtenção da medida de desempenho, que é convertida em valores Fuzzy e é computado o índice global. Já o algoritmo genético faz a busca dos pesos adequados através de um processo de otimização. Dessa forma, observa-se a construção de um modelo que segue dois caminhos, um que gera valores Fuzzy e o outro que gera os pesos por meio do algoritmo genético.
Wiecek (2016)	Controle de estoque e logística sob incerteza	O artigo apresenta uma proposta de aplicação combinada de lógica Fuzzy e algoritmo genético para controlar o processo de aquisição em empresas. Compreende-se, assim, que o modelo é capaz de contemplar tanto os aspectos aleatórios quanto de incertezas.
Li et al. (2006)	Decisão sob incerteza	Nesse artigo, foi utilizado o conceito da abordagem de compromisso, que busca soluções comprometidas ao invés da fronteira ótima de Pareto. Assim, foi desenvolvido um algoritmo genético baseado em simulação aleatória Fuzzy para obter solução de compromisso de uma programação linear multiobjetivo com coeficientes Fuzzy. Logo, pode-se concluir, a partir desse trabalho, que o algoritmo genético é capaz de gerar tanto soluções ótimas globais quanto encontrar ótimos locais.
Saraçoğlu e Sürer (2018)	Manufatura	Nesse estudo, o algoritmo genético é utilizado para otimizar o problema de programação linear inteira mista Fuzzy. Dessa forma, considerando-se que o modelo desenvolvido é composto de um problema multiobjetivo, pode-se verificar que a combinação de métodos é capaz de solucionar problemas complexos.
Vardi et al. (2019)	Seleção de fornecedores e alocação de pedidos	Nessa pesquisa, foram formulados dois modelos de programação linear inteira multiobjetivos, um utilizando um algoritmo genético desenvolvido e o outro, o NSGA. O processo hierárquico analítico-Fuzzy foi utilizado para determinar os pesos dos critérios na etapa inicial dos dois modelos. O método Taguchi foi utilizado para ajustar os parâmetros dos algoritmos propostos. Esse estudo demonstra a construção de um modelo com a utilização de diferentes métodos combinados, a fim de lograr seus potenciais.
Kayikci, 2010	Seleção de local para centros logísticos de transporte intermodal	Combinam-se Fuzzy-processo hierárquico analítico e rede neural artificial para o processo de tomada de decisão. O Fuzzy-processo hierárquico analítico é utilizado para obter os pesos dos critérios e a rede neural artificial é desenvolvida para desempenhar o processo de tomada de decisão. Esse estudo destaca-se, pois apresenta a utilização da <i>Machine Learning</i> e da <i>soft computing</i> combinadas ao método multicritério de agregação.
Kuo et al. (2016)	Roteamento de veículos	Nesse estudo, os autores utilizam a teoria Fuzzy para modelar o problema, considerando as incertezas do contexto em que se insere, e a otimização do problema é feita por um algoritmo de otimização por colônia de formigas Fuzzy.

Referência	Aplicação	Características principais
Vahdani et al. (2012)	Seleção e avaliação de fornecedores	Nesse estudo, os autores propõem um modelo computacionalmente eficiente chamado " <i>locally linear neuro-Fuzzy</i> ") para prever a avaliação de desempenho de fornecedores. O modelo proposto é treinado por um algoritmo de aprendizagem – o <i>locally linear model tree</i> . Pode-se observar, novamente, a utilização da <i>machine learning</i> por meio de conceitos de redes neurais, e da <i>soft computing</i> , a partir da teoria Fuzzy para englobar as incertezas no modelo.
Ghaffari-Nasab et al. (2013)	Roteamento de veículos	Os autores consideram o problema de roteamento e localização com demandas Fuzzy, sendo a demanda do cliente e a capacidade do veículo números Fuzzy triangulares. O modelo híbrido integra simulação estocástica (para estimar o valor real das demandas Fuzzy de cada cliente) e algoritmo de recozimento simulado (para obter o custo esperado) para resolver o problema.
Kuo et al. (2010)	Seleção de fornecedores	Nesse estudo é proposto um modelo que utiliza uma rede neural Fuzzy, na qual os pesos iniciais são gerados por otimização por enxame de partículas, para manipular dados qualitativos. Após, os resultados são integrados por meio de uma rede neural artificial <i>feed-forward</i> com algoritmo de aprendizado de retropropagação de erro. Dessa forma, pode-se observar que a teoria Fuzzy tem sido amplamente empregada para o tratamento das incertezas no processo de tomada de decisão e que diferentes algoritmos meta-heurísticos podem ser combinados para otimizar os resultados.
Zhu et al. (2020)	Manufatura	O estudo combina análise envoltória de dados-CCR com quatro algoritmos de <i>machine learning</i> : rede neural de retropropagação; algoritmo genético integrado com rede neural de retropropagação; vetor de suporte de máquinas; e vetor de suporte de máquinas aprimoradas. Dessa forma, a <i>machine learning</i> analisa as unidades de tomada de decisão que apresentam uma eficiência, aprendendo as regras dessas unidades. Após, o modelo é aplicado às unidades de tomada de decisão que não tiveram suas eficiências analisadas por análise envoltória de dados. O estudo apresenta um avanço no método de análise envoltória de dados, já que a utilização da <i>machine learning</i> permite que se realize a avaliação apenas na nova unidade de tomada de decisão.
Kannan et al. (2021)	Tomada de decisão em grupo para a seleção de fornecedores	Os autores propõem uma abordagem meta-heurística para desenvolver um modelo de tomada de decisão em grupo, que incorpora as informações heterogêneas por meio de um operador de média de potência ponderada. Os pesos são gerados pelo processo hierárquico analítico, e esses pesos são otimizados utilizando-se o algoritmo meta-heurístico Jaya. Para a escolha da melhor alternativa, foi utilizado Topsis.
Kamali et al. (2011)	Cadeia de suprimentos	Os autores desenvolveram um modelo de programação não linear inteira mista multiobjetivo e propuseram dois algoritmos meta-heurísticos para resolver o problema (otimização por enxame de partículas e o algoritmo <i>scatter search</i> ). O processo hierárquico analítico foi usado para calcular o desempenho total do fornecedor em critérios qualitativos. Observa-se, novamente, a utilização de meta-heurísticas para a otimização multiobjetivo.
Lin e Chu (2014)	Gerenciamento de linha de montagem de produtos mistos	No modelo matemático de programação inteira mista formulado, o complexo espaço de solução torna o programa resultante difícil de resolver usando pacotes de otimização comercial. Portanto, uma heurística baseada em relaxação lagrangeana foi desenvolvida para resolver este problema de forma eficiente.
Che (2012)	Seleção de fornecedores	Esse estudo demonstra a aplicação de diversos métodos para a otimização do modelo. O autor propõe um modelo de duas fases para encontrar as combinações adequadas de fornecedores. No modelo 1, os fornecedores são divididos em <i>clusters</i> , dependendo da demanda do cliente, por meio de um algoritmo de agrupamento <i>k-means</i> e, para corrigir alguns erros do <i>k-means</i> ,



Referência	Aplicação	Características principais
		usa recozimento simulado. No modelo 2, é obtida a classificação dos fornecedores mais eficientes por meio de um algoritmo de recozimento simulado, sendo que o nível adequado para cada parâmetro é definido pelo método Taguchi. O processo hierárquico analítico é usado para ponderar os critérios.
Castaño et al. (2019)	Roteamento de veículos	A partir de dados coletados da plataforma <i>Uber movement</i> , usados para identificar os padrões de tráfego, duas abordagens diferentes são usadas para gerar soluções para um problema de roteamento e agendamento do técnico: modelo de programação inteira e um algoritmo memético.
Sadeghi et al. (2016)	Gestão de estoques	Nesse estudo, o modelo desenvolvido considera as demandas Fuzzy e o objetivo é encontrar uma solução quase ótima considerando múltiplos objetivos. Um algoritmo imperialista competitivo híbrido é usado para achar a solução quase ótima e foi utilizado recozimento simulado para validar o algoritmo, sendo que a comparação dos dois algoritmos foi realizada através de Topsis.
Wang e Chen (2021)	Seleção de fornecedores	Os autores propõem uma abordagem mista, utilizando processo hierárquico analítico-programação não linear inteira mista-algoritmo genético. A abordagem proposta foi aplicada ao caso real de escolha de fornecedores alternativos diversificados em meio à pandemia da covid-19. Nesse estudo, pode-se observar que o algoritmo genético foi utilizado para otimizar o problema de programação não linear inteira mista, além da combinação do método multiobjetivo interativo com o método multicritério de agregação, o que demonstra a versatilidade desses métodos.
Hazrati et al. (2021)	Seleção de fornecedores	Os autores desenvolveram modelo para a seleção de fornecedores considerando dois objetivos: minimizar os custos globais e maximizar a quantidade de produtos encomendados de diferentes fornecedores com base no valor do peso. Os pesos são calculados segundo diferentes critérios para cada fornecedor em diferentes períodos, usando o método Fuzzy-processo hierárquico analítico. O modelo proposto foi resolvido usando a restrição epsilon em GAMS e algoritmo genético NSGA II no <i>software</i> MATLAB.
Rafiei Sardooi et al. (2021)	Gestão de desastres	Os autores descrevem um modelo híbrido que combina mineração de dados e métodos de tomada de decisão multicritério para o mapeamento de perigo e vulnerabilidade a fim de avaliar o risco de deslizamento de terra. A probabilidade de deslizamento de terra é mapeada usando três algoritmos de <i>machine learning</i> de última geração – Entropia Máxima, <i>Support Vector Machine</i> e algoritmo genético – e os resultados são combinados com Fuzzy-processo hierárquico analítico para obter o mapa de risco de deslizamento de terra.
Gharakezloo et al. (2022)	Gestão ambiental	Desenvolvem um modelo híbrido de tomada de decisão estatística para avaliar a vulnerabilidade do aquífero Shiraz, no sul do Irã, usando o algoritmo genético, o método do processo de hierarquia analítica (processo hierárquico analítico) e a análise fatorial. Observa-se a combinação do método multicritério de agregação, considerando dados probabilísticos e um algoritmo meta-heurístico de otimização, o que demonstra a flexibilidade em se combinarem os métodos.
Kaczyńska et al. (2021)	Ranqueamento de enxadristas	Usa o método <i>Characteristic Objects Method</i> (Comet) para o ranqueamento de enxadristas. O método Comet é um método híbrido que combina a tomada de decisão MCDM com o método Fuzzy, englobando assim as incertezas do contexto por meio do <i>soft computing</i> .
Leyva-López et al. (2022)	Seleção de pessoas	A tarefa de seleção de pessoas é modelada como um problema de tomada de decisão multicritério, considerando diversas competências e habilidades para avaliar os candidatos a um cargo específico. Para isso, é utilizado o método

Referência	Aplicação	Características principais
		Electre III para construir uma relação de <i>superação</i> Fuzzy e NSGA II para explorar tal relação e gerar um <i>ranking</i> como recomendação. Nesse estudo, se observa a utilização de um método multicritério de sobreclassificação com a teoria Fuzzy e um algoritmo meta-heurístico, aprimorando os resultados obtidos ao incorporar a incerteza e otimizar o resultado.
Xidonas et al. (2021)	Gestão de portfólio	Os autores desenvolvem um sistema integrado a fim de apoiar a decisão para a gestão de portfólio de duas etapas. Na primeira, são aplicados quatro métodos de tomada de decisão multicritério: Promethee II, Electre III, Maut e o Topsis. Na segunda etapa, são aplicados quatro métodos de programação matemática: um modelo de programação quadrática inteira mista, um modelo de programação de metas, um modelo de algoritmo genético e um modelo de fluxo Promethee multiobjetivo. Observa-se, nesse estudo, que os autores realizaram ampla combinação de metodologias.
Gillis et al. (2021)	Resposta a epidemias	Propõem uma estrutura de otimização para ajudar os formuladores de políticas a selecionar políticas de fechamento, proteção e viagens para minimizar o número total de infecções com um orçamento limitado. A estrutura proposta combina um modelo compartimental SEIR (suscetível, exposto, infectado, recuperado) modificado e estratificado por idade para avaliar o impacto das estratégias de resposta e um algoritmo genético para buscar efetivamente as melhores estratégias.
Tavana et al. (2021)	Gestão da cadeia de suprimentos	É proposto o modelo multicritério Fuzzy integrado e abrangente para a seleção de fornecedores na cadeia de suprimentos digital. A abordagem Fuzzy BMW é usada para medir os pesos dos critérios digitais. Os métodos Fuzzy MULTIMOORA ( <i>multi-objective optimization by ratio analysis plus the full multiplicative form</i> ), Fuzzy COPRAS ( <i>complex proportional assessment</i> ) e Fuzzy Topsis são usados como métodos de priorização para ordenar os fornecedores. A heurística <i>maximize agreement heuristic</i> é usada para agregar as classificações de fornecedores obtidas a partir dos métodos de priorização em uma classificação de consenso. Esse estudo demonstra que a incerteza das avaliações é uma preocupação na tomada de decisão.
Goodarzi et al. (2022)	Avaliação de fornecedores verdes	Esse estudo apresenta um modelo integrado de tomada de decisão multicritério e otimização multiobjetivo para a avaliação de fornecedores verdes e para a alocação ótima de pedidos sob incerteza. O método Fuzzy-Delphi é utilizado para refinar os critérios de avaliação de fornecedores, determinar o peso dos critérios e priorizar os fornecedores com base em índices verdes e resilientes. O método de correlação de Grey e Topsis (cc-Topsis) são usados para analisar os resultados.
Olabanji e Mpofu (2021)	Avaliação de projetos	O objetivo da pesquisa é identificar o projeto conceitual ótimo por meio da hibridização de dois modelos de tomada de decisão multicritério-processo de hierarquia analítica Fuzzy e análise relacional Fuzzy Grey. Nota-se, nesse estudo, a utilização de duas metodologias para incorporar as incertezas das avaliações, a teoria Fuzzy e a teoria Grey.
Jiang e Sohail (2022)	Gestão de recursos humanos	Nesse estudo, um algoritmo genético é aplicado ao banco de dados distribuído para realizar o melhor esquema de alocação de dados e é construído o modelo de avaliação por análise envoltória de dados.
Nguyen (2022)	Gestão de recursos humanos	Propõe um método híbrido baseado em teoria Grey, algoritmo genético e Dematel para a gestão de recursos humanos. Esse estudo demonstra a combinação de um método multicritério, com uma metodologia da <i>soft computing</i> para incorporar a incerteza e um algoritmo meta-heurístico para otimizar o modelo.

Referência	Aplicação	Características principais
Pamucar et al. (2022)	Seleção de centro de recuperação de baterias de veículos elétricos	O autores desenvolveram modelo integrado de tomada de decisão utilizando o método MACBETH para calcular os pesos dos critérios e métodos de avaliação de produto de soma agregada de peso (WASPAS) sob o ambiente Fuzzy para avaliar as alternativas e resolver o problema de seleção da localização do centro de recuperação.

Fonte: elaboração própria.

## Conclusões

Decidir é um processo inerente à vida, é uma atividade constante, realizada na maioria das vezes de forma intuitiva. No entanto, algumas decisões precisam de uma análise fundamentada para que sejam tomadas de forma eficiente, devido a maior complexidade, a presença de *trade-offs* e a maior quantidade de variáveis envolvidas. Nesse contexto, insere-se a pesquisa operacional, que busca a tomada de decisão com base em modelos matemáticos e de sua evolução surgiram as metodologias multicritério. Por ser um ramo da ciência recente, considera-se que as técnicas e os métodos estão em desenvolvimento, e sendo uma área intrinsecamente multidisciplinar, tem sido impactada positivamente pela evolução computacional.

Nesse sentido, a fim de entender como as meta-heurísticas têm sido aplicadas à tomada de decisão multicritério, foi realizada revisão sistemática da literatura, utilizando-se o protocolo Prisma simplificado. Ao final desse processo, foi selecionado um portfólio bibliográfico composto de 54 artigos. Após, foi realizada a análise bibliométrica. Observou-se que houve o aumento das publicações a partir de 2011, o que demonstra a evolução na área com a utilização de computadores mais potentes. A análise das publicações se demonstrou condizente com o caráter multidisciplinar da pesquisa operacional. Além disso, os estudos foram aplicados aos mais diversos contextos gerenciais. A análise relacional revelou que os autores que mais se destacam no portfólio bibliográfico são Wang, Kuo, Mousavi, Jolai, Li, Kayikci, Hong, e Cadenas.

Com relação aos métodos matemáticos, destacou-se a utilização da lógica Fuzzy e, com relação aos métodos multicritério, observou-se a utilização de métodos de agregação, de sobreclassificação e interativos. Entre as meta-heurísticas, o algoritmo genético foi o mais estudado. Nas combinações de métodos, 65% das pesquisas o utilizaram. Conclui-se, portanto, que o algoritmo genético é uma técnica de otimização estocástica computacional poderosa e, provavelmente, a mais importante técnica de computação evolucionária, que além de simples, trabalham com conjuntos de soluções, estando alinhados às metodologias multiobjetivos.

Por fim, a metassíntese demonstrou que os algoritmos genéticos são uma meta-heurística aplicada com eficácia para a tomada de decisão multicritério. Por possuírem a habilidade de gerar um conjunto de soluções a cada rodada do algoritmo, têm sido utilizados para resolver problemas de programação linear e não linear, com o objetivo de se chegar ao conjunto de soluções ótimas

de Pareto, ou o mais próximo possível do conjunto de soluções ótimas, de forma mais rápida. Percebe-se também o movimento de pesquisadores no intuito de combinar métodos multicritério de agregação, como o processo hierárquico analítico e o Topsis, e de sobreclassificação, como o Electre e o Promethee, com algoritmo genético. Enquanto os algoritmos genéticos são empregados em métodos interativos para se chegar à solução Pareto-ótima, nos métodos de agregação e sobreclassificação aparecem combinados a algumas etapas para agilizar o processo de solução.

Esse fato se deve à busca por maior agilidade computacional para *softwares* de tomada de decisão. Com o desenvolvimento dos DSS, a utilização de métodos multicritério para o apoio à gestão têm se tornado mais acessíveis, o que viabiliza a utilização de métodos por decisores e especialistas de forma rápida e ágil. Com a globalização e o aumento da concorrência, o ritmo em que as atividades e decisões empresariais ocorrem também tem aumentado, o que enseja métodos com melhor desempenho computacional.

A revisão de literatura demonstrou também o potencial da teoria dos conjuntos Fuzzy para tratar a incerteza e a subjetividade que permeiam o processo decisório. Assim, a partir da revisão sistemática da literatura desenvolvida, foi possível identificar que a lógica Fuzzy e os algoritmos genéticos podem ser combinados de forma efetiva para tratar a subjetividade e apoiar a tomada de decisões em ambientes complexos.

Diante o exposto, considera-se como oportunidades para futuras pesquisas a construção de modelos para a tomada de decisão multicritério a fim de apoiar a gestão utilizando metodologias que permitam incorporar os aspectos de incerteza das avaliações, bem como a aplicação de algoritmos meta-heurísticos para otimizar a implementação dos modelos. Como limitações da pesquisa, destaca-se que não foi realizada a análise de risco de viés em cada estudo e entre estudos.

## Referências

- Al-Bazi, A., Uney, E., & Abu-Monshar, A. (2019). Developing an overbooking fuzzy-based mathematical optimization model for multi-leg flights. *Transportation Research Procedia*, 43, 165-177. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.12.031>
- Arsovski, S., Putnik, G., Arsovski, Z., Tadic, D., Aleksic, A., Djordjevic, A., & Moljevic, S. (2015). Modelling and enhancement of organizational resilience potential in process industry SMEs. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su71215828>
- Ashfari, H., Sharifi, M., Elmekawy, T. Y., & Peng, Q. (2014). Facility location decisions within integrated forward/reverse logistics under uncertainty. *Procedia CIRP*, 17, 606-610. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.01.092>
- Atanassov, K., & Gargov, G. (1989). Interval valued intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 31(3), 343-349. [https://doi.org/10.1016/0165-0114\(89\)90205-4](https://doi.org/10.1016/0165-0114(89)90205-4)

- Basnet, C., & Weintraub, A. (2009). A genetic algorithm for a bicriteria supplier selection problem. *International Transactions in Operational Research*, 16, 173-189. <https://doi.org/10.1111/j.1475-3995.2009.00680.x>
- Bouyssou, D., Marchant, T., Pirlot, M., Perny, P., Tsoukiàs, A., & Vincke, P. (2000). *Evaluation and decision models: A critical perspective*. Kluwer Academic Publishers. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601380>
- Bouyssou, D., Marchant, T., & Pirlot, M. (2023). A theoretical look at ELECTRE TRI-nB and related sorting models. *A Quarterly Journal of Operations Research*, 21, 1-31. <https://doi.org/10.1007/s10288-022-00501-9>
- Brans, J. P. & Vincke, P. (1985). A preference ranking organisation method: The PROMETHEE method for multiple criteria. *Decision-Making. Management Science*, 31, 647-656. <https://doi.org/10.1287/mnsc.31.6.647>
- Castaño, F., Gutierrez, A. F., Velasco, N., & Amaya, C. (2019). Using open access data to model a technician routing and scheduling problem in a congested urban setting. *Procedia Manufacturing*, 39, 1129-1138. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.357>
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)
- Che, C. H. (2012). Clustering and selecting suppliers based on simulated annealing algorithms. *Computers and Mathematics with Applications*, 63, 228-238. <https://doi.org/10.1016/j.camwa.2011.11.014>
- Chen, Z., Liu, L., Li, L., & Li, H. (2014). A two-stage model for project optimization in transportation infrastructure management system. *Mathematical Problems in Engineering*. <https://doi.org/10.1155/2014/914515>
- Chen, C.-C., & Schonfeld, P. (2012). A Hybrid Heuristic Technique for Optimizing Intermodal Logistics Timed Transfer Systems. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 48, 2566-2576. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.06.1227>
- Costa, J. F. S., Wanderley, A. J. M. E., & Cosenza, C. A. N. (2005). Utilização de Algoritmos Genéticos em Metodologia Multicritério: uma solução para inconsistência matricial. *Revista Gestão Industrial*, 1(4), 101-109. <https://doi.org/10.3895/S1808-04482005000400011>
- Deng, J-L. (1982). Control problems of grey systems. *Systems and Control Letters*, 1(5), 288-294. [https://doi.org/10.1016/S0167-6911\(82\)80025-X](https://doi.org/10.1016/S0167-6911(82)80025-X)
- Fanti, M., Maione, B., Naso, D., & Turchiano, B. (1998). Genetic multi-criteria approach to flexible line scheduling. *International Journal of Approximate Reasoning*, 19, 5-21. [https://doi.org/10.1016/S0888-613X\(98\)00014-0](https://doi.org/10.1016/S0888-613X(98)00014-0)
- Fontalvo, M. O., Maza, V. C., & Miranda, P. (2017). A meta-heuristic approach to a strategic mixed inventory-location model: Formulation and application. *Transportation Research Procedia*, 25, 729-746. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.454>
- Ghaffari-Nasab, N., Ahari, S.G., & Ghazanfari, M. (2013). A hybrid simulated annealing based heuristic for solving the location-routing problem with fuzzy demands. *Scientia Iranica, Transactions E: Industrial Engineering*, 20(3), 919-930. <https://doi.org/10.1016/j.scient.2013.02.006>
- Gharakezloo, Y. N., Nikoo, M. R., Karimi-Jashni, A., & Mooselu, M. G. (2022). A hybrid statistical decision-making optimization approach for groundwater vulnerability considering uncertainty. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(6), 8597-8612. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16242-x>
- Gillis, M., Urban, R., Saif, A., Kamal, N., & Murphy, M. (2021). A simulation-optimization framework for optimizing response strategies to epidemics. *Operations Research Perspectives*, 8, 100210. <https://doi.org/10.1016/j.orp.2021.100210>
- Goodarzi, F., Abdollahzadeh, V., & Zeinalnezhad, M. (2022). An integrated multi-criteria decision-making and multi-objective optimization framework for green supplier evaluation and optimal order allocation under uncertainty.

- Decision Analytics Journal*, 4, 100087. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2022.100087>
- Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). *Multiple attribute decision making: Methods and applications*. Springer-Verlag. <http://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9>
- Hazrati, H., Barzegarinegad, A., & Siaby-Serajehlo, H. (2021). A hybrid mathematical and decision-making model to determine the amount of economic order considering the discount. *Mathematical Problems in Engineering*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/5229949>
- He, P., & Li, J. (2021) A joint optimization framework for wheat harvesting and transportation considering fragmental farmlands. *Information Processing in Agriculture*, 8, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2020.04.006>
- Jiang, X., & Sohail, M. (2022). Evaluation method of human resource management efficiency of chain retail enterprises based on distributed database. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*. <https://doi.org/10.1155/2022/1860426>
- Kaczyńska, A., Kołodziejczyk, J., & Sałabun, W. (2021). A new multi-criteria model for ranking chess players. *Procedia Computer Science*, 192, 4290-4299. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.09.205>
- Kamali, A., Fatemi Ghomi, S. M. T., & Jolai, F. (2011). A multi-objective quantity discount and joint optimization model for coordination of a single-buyer multi-vendor supply chain. *Computers and Mathematics with Applications*, 62, 3251-3269. <https://doi.org/10.1016/j.camwa.2011.08.040>
- Kannan, A. S. K., Balamurugan, S. A. A., & Sasikala, S. (2021). A customized metaheuristic approaches for improving supplier selection in intelligent decision making. *IEEE Access*, 9, 56228-56239. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3071454>
- Kayikci, Y. (2010). A conceptual model for intermodal freight logistics centre location decisions. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 2(3), 6297-6311. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.04.039>
- Khumaidi, A., Sukoco, H., Purwanto, A., & Kurniawan, A. (2020). Design of warehouse management system for fresh product in supply chain network. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 9(1), 308-314. <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/47912020>
- Kouatli, I. (2013). A biologically inspired decision model for multivariable genetic-Fuzzy-AHP system. *Procedia Computer Science*, 22, 2-9. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.09.075>
- Kuo, R., & Han, Y. (2011). A hybrid of genetic algorithm and particle swarm optimization for solving bi-level linear programming problem: A case study on supply chain model. *Applied Mathematical Modelling*, 35, 3905-3917. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2011.02.008>
- Kuo, R.J., Hong, S.Y., & Huang, Y.C. (2010). Integration of particle swarm optimization-based Fuzzy neural network and artificial neural network for supplier selection. *Applied Mathematical Modelling*, 34, 3976-3990. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2010.03.033>
- Kuo, R. J., Wibowo, B. S., & Zulvia, F. E. (2016). Application of a fuzzy ant colony system to solve the dynamic vehicle routing problem with uncertain service time. *Applied Mathematical Modelling*, 40, 9990-10001. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2016.06.025>
- Lee, A.H., Kang, H.-Y., Lai, C.-M., & Hong, W.-Y. (2013). An integrated model for lot sizing with supplier selection and quantity discounts. *Applied Mathematical Modelling*, 37, 4733-4746. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2012.09.056>
- Leyva-López, J. C., Solano-Noriega, J. J., Gastélum-Chavira, D. A., & Gaxiola-Valenzuela, T. (2022). A Personnel Selection Model for a Software Development Company based on the ELECTRE III Method and a Variant of NSGA-II. *Innovar*, 32(85). <https://doi.org/10.15446/innovar.v32n85.100657>

- Li, J., Xu, J., & Gen, M. (2006). A class of multiobjective linear programming model with fuzzy random coefficients. *Mathematical and Computer Modelling*, 44, 1097-1113. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2006.03.013>
- Li, Q., Zhong, H., Wang, Y., Leng, Y., & Guo, C. (2016). Integrated development optimization model and its solving method of multiple gas fields. *Petroleum Exploration and Development*, 43(2), 293-300. [https://doi.org/10.1016/S1876-3804\(16\)30033-7](https://doi.org/10.1016/S1876-3804(16)30033-7)
- Liang, J., & Liu, M. (2018). Network design for municipal solid waste collection: A case study of the Nanjing Jiangbei new area. *International Journal Environmental Research and Public Health*, 15(12). <https://doi.org/10.3390/ijerph15122812>
- Lin, D.-Y., & Chu, Y.-M. (2014). A lagrangian relaxation approach to the mixed-product assembly line sequencing problem: A case study of a door-lock company in Taiwan. *Applied Mathematical Modelling*, 38, 4493-4511. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2014.02.029>
- Longaray, A. A., Tondolo, V. A. G., Munhoz, P. R. & Tondolo, R. R. P. (2016). Emprego de métodos multicritério em decisões gerenciais: uma análise bibliométrica da produção científica brasileira. *Revista Contemporânea de Contabilidade*, 13(29), 113-128. <http://doi.org/10.5007/2175-8069.2016v13n29p113>
- Lopez-Espin, J. J., Aparicio, J., Gimenez, D., & Pastor, J. T. (2014). Benchmarking and data envelopment analysis. an approach based on metaheuristics. *Procedia Computer Science*, 29, 390-399. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2014.05.035>
- Ma, S. (2016). A nonlinear bi-level programming approach for product portfolio management. *SpringerPlus*, 5(727), 1-18. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2421-0>
- Nguyen, P.-H. (2022). GA-GDEMATEL: A novel approach to optimize recruitment and personnel selection problems. *Mathematical Problems in Engineering*. <https://doi.org/10.1155/2022/3106672>
- Olabanji, O. M., & Mpofu, K. (2021). Appraisal of conceptual designs: Coalescing fuzzy analytic hierarchy process (F-AHP) and Fuzzy grey relational analysis (F-GRA). *Results in Engineering*, 9, 100194. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2020.100194>
- Pamucar, D., Ebadi Torkayesh, A., Deveci, M., & Simic, V. (2022). Recovery center selection for end-of-life automotive lithium-ion batteries using an integrated Fuzzy WASPAS approach. *Expert Systems with Applications*, 206, 117827. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.117827>
- Pérez-Gladish, B., Ferreira, F. A. F., & Zopounidis, C. (2020). MCDM/A studies for economic development, social cohesion and environmental sustainability: Introduction. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 28(1). <https://doi.org/10.1080/13504509.2020.1821257>
- Rabbani, M., Baghersad, M., & Jafari, R. (2013). A new hybrid GA-PSO method for solving multi-period inventory routing problem with considering financial decisions. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 6(4), 909-929. <https://doi.org/10.3926/jiem.629>
- Rafiei Sardooi, E., Azareh, A., Mesbahzadeh, T., Soleimani Sardoo, F., Parteli, E. J. R., & Pradhan, B. (2021). A hybrid model using data mining and multi-criteria decision-making methods for landslide risk mapping at Golestan Province, Iran. *Environmental Earth Sciences*, 80(15). <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09788-z>
- Rostami, M., Kheirandish, O., & Ansari, N. (2015). Minimizing maximum tardiness and delivery costs with batch delivery and job release times. *Applied Mathematical Modelling*, 39, 4909-4927. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2015.03.052>
- Rostami, M., Razmi, J., & Jolai, F. (2010). Designing a genetic algorithm to solve an integrated model in supply chain management using fuzzy goal programming approach. In: Ortiz, Á., Franco, R.D., & Gasquet, P.G. (eds) *Balanced Automation Systems for Future Manufacturing Networks (BASYS)*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3->

642-14341-0\_20

- Roy, B. (1968). Classement et choix en presence de points de vue multiples (la methode ELECTRE). *Revue française d'automatique, d'informatique et de recherche opérationnelle. Recherche opérationnelle*, 2(1), 57-75.
- Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3), 234-281. [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5)
- Sadeghi, J., Mousavi, S. M., & Niaki, S. T. A. (2016). Optimizing an inventory model with fuzzy demand, backordering, and discount using a hybrid imperialist competitive algorithm. *Applied Mathematical Modelling*, 40, 7318-7335. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2016.03.013>
- Saraçoğlu, I., & Süer, G.A. (2018). Multi-objective fuzzy flow shop scheduling model in a manufacturing company. *Procedia Manufacturing*, 17, 214-221. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.039>
- Smarandache, F. (1995). *Neutrosophic Logic and Set*. <http://fs.gallup.unm.edu/neutrosophy.htm>
- Sutrisno, Widowati, & Sunarsih. (2019). Genetic algorithm approach for large scale quadratic programming of probabilistic supplier selection and inventory management problem. *Journal of Physics: Conference Series*, 1307. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1307/1/012001>
- Tavana, M., Shaabani, A., Di Caprio, D., & Amiri, M. (2021). An integrated and comprehensive fuzzy multicriteria model for supplier selection in digital supply chains. *Sustainable Operations and Computers*, 2, 149-169. <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2021.07.008>
- Tezenji, F. R., Mohammadi, M., Pasandideh, S., & Koupaei, M. N. (2016). An integrated model for supplier location-selection and order allocation under capacity constraints in an uncertain environment. *Scientia Iranica, International Journal of Science & Technology*, 23(6), 3009-3025. <https://doi.org/10.24200/SCI.2016.4008>
- Vahdani, B., Iranmanesh, S.H., Mousavi, S.M., & Abdollahzade, M. (2012). A locally linear neuro-fuzzy model for supplier selection in cosmetics industry. *Applied Mathematical Modelling*, 36, 4714-4727. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2011.12.006>
- Vardi, M., Neyestani, M., & Ghorbanian, A. (2019). Supplier selection and order allocation problem modeling with the aim of comparing incremental discounts versus wholesale discounts by using GA and NSGA algorithms. *Journal European des Systemes Automatisés*, 52(1), 23-34. <https://doi.org/10.18280/jesa.520104>
- Wang, Y.-C., & Chen, T. (2021). A Bi-objective AHP-MINLP-GA approach for Flexible Alternative Supplier Selection amid the COVID-19 Pandemic. *Soft Computing Letters*, 3, 100016. <https://doi.org/10.1016/j.socl.2021.100016>
- Wang, Y., Xi, C., Zhang, S., Zhang, W., & Yu, D. (2015). Combined Approach for Government E-Tendering using GA and TOPSIS with Intuitionistic Fuzzy Information. *PLoS ONE*, 10(7), 1-20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130767>
- Wiecek, P. (2016). Intelligent approach to inventory control in logistics under uncertainty conditions. *Transportation Research Procedia*, 18, 164-171. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.12.023>
- Zak, J., & Weglinski, S. (2014). The selection of the logistics center location based on MCDM/A methodology. *Transportation Research Procedia*, 3, 555-564. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2014.10.034>
- Zhang, H., Deng, Y., Chan, F. T. S., & Zhang, X. (2013). A modified multi-criterion optimization genetic algorithm for order distribution in collaborative supply chain. *Applied Mathematical Modelling*, 37, 7855-7864. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2013.05.021>
- Zhu, N., Zhu, C., & Emrouznejad, A. (2020). A combined machine learning algorithms and dea method for measuring and predicting the efficiency of Chinese manufacturing listed companies. *Journal of Management Science and Engineering*. 6(4), 435-448. <https://doi.org/10.1016/j.jmse.2020.10.001>



- Xidonas, P., Doukas, H., & Sarvas, E. (2021). A python-based multicriteria portfolio selection *DSS. RAIRO - Operations Research*, 55, S3009-S3034. <https://doi.org/10.1051/ro/2020140>
- Zopounidis, C., & Pardalos, P. M. (Eds.). (2010). *Handbook of multicriteria analysis* (v. 103). Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-92828-7>