

Aplicações de métodos multicritério no apoio à tomada de decisão em redes de distribuição de água: uma revisão sistemática

 <https://doi.org/10.47236/2594-7036.2026.v10.2095>

Júlia Meireles Teixeira¹

Marcela Leão Domiciano²

Eva Caroline Martins Oliveira³

Thomas Leonardo Marques de Castro Leal⁴

Data de submissão concluída: 23/3/2026. Data de aprovação: 21/5/2026. Data de publicação: 13/7/2026.

Resumo – A rede de distribuição de água apresenta-se como um grande modelo de tomada de decisão complexo e de difícil operacionalidade. Garantir uma gestão eficiente exige, principalmente, processos estruturados para otimizar e alocar recursos sob múltiplas restrições técnicas e financeiras. Este estudo apresenta uma revisão sistemática da literatura sobre a aplicação de métodos de Análise de Decisão Multicritério (ADMC) no apoio à tomada de decisão em redes de distribuição de água com objetivo de analisar como esses métodos vêm sendo empregados, identificando padrões quanto aos tipos de problemas abordados, aos critérios considerados e às formas de definição dos pesos. A revisão seguiu as diretrizes do protocolo PRISMA, resultando na seleção de 32 estudos publicados em bases de dados científicas internacionais. Os resultados indicam que a aplicação da ADMC varia conforme a natureza do problema decisório enfrentado, influenciando diretamente o conjunto de critérios incorporado aos modelos. Observou-se predominância de critérios técnicos, operacionais e econômicos, enquanto dimensões sociais, ambientais e de equidade territorial aparecem com menor frequência. Verificou-se ainda, forte dependência do julgamento de especialistas na definição dos pesos, sendo raras as abordagens puramente objetivas ou baseadas exclusivamente em dados. Conclui-se que a etapa de estruturação do problema e a definição do conjunto de critérios exercem influência mais determinante sobre os resultados do que a escolha do método de agregação propriamente dito. Os achados reforçam a necessidade de maior transparência na definição de critérios e pesos, bem como de avanços metodológicos que integrem evidências empíricas, participação institucional e análises de robustez na aplicação da ADMC ao setor de saneamento.

Palavras-chave: Análise de Decisão Multicritério. Elicitação de critérios. Estruturação de problemas. Gestão de ativos em saneamento. Redes de distribuição de água.

¹ Engenheira Ambiental pelo *Campus* Goiânia, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. Goiânia, Goiás, Brasil.  julinhamt91@gmail.com  <https://orcid.org/0009-0007-1007-1792>  <https://lattes.cnpq.br/2808874019764172>.

² Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal de Goiás. Professora de Engenharia Civil/Hidráulica do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico do Departamento 3 do *Campus* Goiânia, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. Goiânia, Goiás, Brasil.  marcela.domiciano@ifg.edu.br  <https://orcid.org/0009-0003-8462-9470>  <https://lattes.cnpq.br/9559146894652643>.

³ Doutora em Tecnologia do Ambiente pela Universidade Estadual de Campinas. Campinas, São Paulo, Brasil.  evacarolline.mo@gmail.com  <https://orcid.org/0000-0002-5765-1205>  <https://lattes.cnpq.br/3636857838444670>.

⁴ Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade Estadual de Santa Cruz. Professor de Meio Ambiente do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico do Departamento 2 do *Campus* Goiânia, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. Goiânia, Goiás, Brasil.  thomas.leal@ifg.edu.br  <https://orcid.org/0000-0001-5656-783X>  <https://lattes.cnpq.br/8377605760720431>.

Applications of multicriteria methods in supporting decision-making in water distribution networks: a systematic review

Abstract – The water distribution network presents itself as a large model requiring complex decision-making and difficult operation. Ensuring efficient management demands, primarily, structured processes to improve and allocate resources under multiple technical and financial constraints. This study presents a systematic literature review on the application of Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) methods to support decision-making in water distribution networks. The objective was to analyse how these methods have been employed, identifying patterns regarding the types of problems addressed, the criteria considered, and the methods for defining weights. The review followed the PRISMA protocol guidelines, resulting in the selection of 32 studies published in international scientific databases. The results indicate that the application of MCDA varies according to the nature of the decision problem faced, directly influencing the set of criteria incorporated into the models. A predominance of technical, operational, and economic criteria was observed, while social, environmental, and territorial equity dimensions appear less frequently. Furthermore, a strong dependence on expert judgement was found in the definition of weights, with purely objective or exclusively data-driven approaches being rare. It is concluded that the problem-structuring stage and the definition of the set of criteria exert a more decisive influence on the results than the choice of the aggregation method itself. The findings reinforce the need for greater transparency in defining criteria and weights, as well as methodological advances that integrate empirical evidence, institutional participation, and robustness analyses in the application of MCDA to the sanitation sector.

Keywords: Multi-Criteria Decision Analysis. Problem structuring. Sanitation asset management. Water distribution networks. Weight elicitation.

Aplicaciones de métodos multicriterio en el apoyo a la toma de decisiones en redes de distribución de agua: una revisión sistemática

Resumen – La red de distribución de agua se presenta como un modelo de gran envergadura que requiere una toma de decisiones compleja y una operación difícil. Garantizar una gestión eficiente exige, principalmente, procesos estructurados para optimizar y asignar recursos bajo múltiples limitaciones técnicas y financieras. Este estudio presenta una revisión sistemática de la literatura sobre la aplicación de métodos de Análisis de Decisión Multicriterio (ADMC) en el apoyo a la toma de decisiones en redes de distribución de agua. El objetivo fue analizar cómo se han empleado estos métodos, identificando patrones en cuanto a los tipos de problemas abordados, los criterios considerados y las formas de definición de los pesos. La revisión siguió las directrices del protocolo PRISMA, resultando en la selección de 32 estudios publicados en bases científicas internacionales. Los resultados indican que la aplicación del ADCMC varía según la naturaleza del problema decisorio enfrentado, influyendo directamente en el conjunto de criterios incorporado a los modelos. Se observó un predominio de criterios técnicos, operativos y económicos, mientras que las dimensiones sociales, ambientales y de equidad territorial aparecen con menor frecuencia. Se verificó, además, una fuerte dependencia del juicio de expertos en la definición de los pesos, siendo raras las aproximaciones puramente objetivas o basadas exclusivamente en datos. Se concluye que la etapa de estructuración del problema y la definición del conjunto de criterios ejercen una influencia más

determinante sobre los resultados que la elección del método de agregación propiamente dicho. Los hallazgos refuerzan la necesidad de una mayor transparencia en la definición de criterios y pesos, así como de avances metodológicos que integren evidencias empíricas, participación institucional y análisis de robustez en la aplicación del ADMC al sector del saneamiento.

Palabras clave: Análisis de Decisión Multicriterio. Redes de distribución de agua. Estructuración de problemas. Elicitación de pesos. Gestión de activos en saneamiento.

Introdução

Um sistema de abastecimento de água (SAA) é essencial para a saúde pública e para o desenvolvimento socioeconômico, tendo como finalidade assegurar o fornecimento contínuo de água potável com qualidade e equidade à população. Essa infraestrutura atua como barreira sanitária fundamental, reduzindo a incidência de doenças de veiculação hídrica e promovendo condições adequadas de dignidade humana (Heller; Pádua, 2010). A rede de distribuição de água (RDA) corresponde ao componente do sistema responsável por conduzir a água tratada aos consumidores finais, garantindo o atendimento contínuo das demandas com pressões e vazões adequadas (Tsutiya, 2006).

Para o funcionamento adequado da rede, diversos parâmetros técnicos são críticos, como a pressão hidráulica, cujos limites mínimo e máximo são estabelecidos por norma (ABNT, 2017). A presença de falhas, como vazamentos e rompimentos em tubulações deterioradas, resulta em perdas físicas e operacionais (Tsutiya, 2006; Berrezel *et al.*, 2023). Parte significativa dessas perdas ocorre de forma não aparente, dificultando sua detecção e prolongando a duração das falhas (Moraes *et al.*, 2010). Além disso, restrições orçamentárias condicionam o planejamento e a implantação de intervenções, exigindo análise de viabilidade econômica ao longo do ciclo de vida da infraestrutura (Heller; Pádua, 2010).

Nesse contexto, a tomada de decisão em RDA caracteriza-se por elevada complexidade estrutural e operacional. Esses sistemas são extensos, interconectados e sujeitos a falhas recorrentes sob múltiplas restrições técnicas, financeiras e institucionais. A falha de um único componente pode produzir efeitos sistêmicos não lineares, afetando simultaneamente o atendimento hidráulico, o número de consumidores impactados e a capacidade de isolamento de trechos da rede (Beker; Kansal, 2023). Soma-se a isso a limitação de dados históricos confiáveis e a variabilidade espacial dos impactos, dificultando decisões baseadas exclusivamente em um único indicador de desempenho (Alaggio *et al.*, 2025; Beker; Kansal, 2023).

Os problemas decisórios em RDA envolvem, portanto, a avaliação simultânea de múltiplos critérios técnicos, econômicos, operacionais, dentre outros. Neste estudo, considera-se como problema multicritério aquele que envolve a comparação de duas ou mais alternativas com base em múltiplos critérios quantitativos e/ou qualitativos, frequentemente conflitantes, cuja agregação demanda método estruturado de ponderação. Nesse cenário, métodos de Análise de Decisão Multicritério (ADMC) têm sido empregados como instrumentos formais para organizar alternativas, ponderar critérios e apoiar a hierarquização de soluções em contextos de incerteza e restrição de recursos (Souza *et al.*, 2020; Claudino *et al.*, 2021).

Embora existam aplicações de ADMC no setor de saneamento, observa-se escassez de revisões sistemáticas especificamente direcionadas às redes de distribuição de água com foco na categorização dos métodos empregados, na

estruturação dos problemas decisórios e na análise dos critérios e estratégias de ponderação adotadas (Carvalho; Longaray, 2021; Gebre *et al.*, 2021). Essa lacuna dificulta a consolidação do conhecimento e a identificação de tendências metodológicas no campo.

Dessa forma, a presente pesquisa tem como objetivo identificar e classificar estudos que aplicam métodos de ADMC em redes de distribuição de água, analisando: (i) os métodos empregados, (ii) os tipos de problemas decisórios abordados, (iii) a natureza e configuração dos critérios utilizados e (iv) as estratégias de ponderação adotadas.

Principais métodos de análise de decisão multicritério

Os métodos de Análise de Decisão Multicritério podem ser organizados em diferentes famílias conceituais, conforme a forma de estruturação do problema, o mecanismo de agregação entre critérios e o papel atribuído ao decisor no processo de modelagem. Essas diferenças influenciam diretamente a maneira como alternativas são avaliadas, ordenadas ou classificadas. A Tabela 1 apresenta um resumo comparativo dessas famílias. Embora distintas quanto à lógica de modelagem e agregação, todas essas famílias dependem da definição explícita de critérios e da atribuição de pesos, etapa que condiciona de forma decisiva os resultados obtidos nos modelos decisórios.

A família dos métodos hierárquicos caracteriza-se pela decomposição do problema decisório em níveis estruturados, com definição explícita de critérios e subcritérios. A priorização ocorre por meio de comparações par a par, nas quais os julgamentos dos especialistas desempenham papel central na determinação dos pesos relativos. A agregação é compensatória, resultando em uma ordenação global das alternativas. Inserem-se nessa família o *Analytic Hierarchy Process* (AHP), o *Analytic Network Process* (ANP) e variantes *fuzzy*, como o SFAHP, que incorporam incerteza aos julgamentos (Rosa *et al.*, 2015).

A família baseada na distância à solução ideal fundamenta-se na comparação das alternativas em relação a um cenário ideal positivo e a um cenário ideal negativo. Métodos como *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) e *VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje* (VIKOR) avaliam o desempenho relativo por meio de medidas de proximidade ou compromisso, produzindo uma hierarquização final a partir de funções agregadas (Lima Junior; Carpinetti, 2015; Raju *et al.*, 2022).

Os métodos de sobreclassificação (ou *outranking*), como *Elimination et Choix Traduisant la Réalité* (ELECTRE) e *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation* (PROMETHEE), distinguem-se por não pressuporem compensação ilimitada entre critérios. Em vez de sintetizar todos os desempenhos em um único índice global, estabelecem relações de dominância entre alternativas com base em limiares de preferência, indiferença e veto, admitindo situações de incomparabilidade (Broekhuizen *et al.*, 2015).

Os métodos proporcionais ou compensatórios alternativos, representados por *Complex Proportional Assessment* (COPRAS), *Cooperative Game Theory* (CGT) e *Ordered Weighted Averaging* (OWA), baseiam-se em funções de agregação matemática direta dos desempenhos, geralmente com menor complexidade estrutural. Nesses métodos, a avaliação ocorre por meio de relações proporcionais ou operadores de agregação que produzem um índice global de desempenho (Yazdani *et al.*, 2011; Zyoud; Fuchs-Hanusch, 2020).

Tabela 1 – Comparação entre as famílias conceituais dos métodos multicritério

FAMÍLIA CONCEITUAL					
Proponentes e referências seminais					
Ideia Central	Forma de Avaliação	Compensação entre critérios	Papel do decisor	Principais Vantagens	Métodos englobados
HIERÁRQUICO (BASE AHP)					
Saaty (1980)					
Estruturação do problema em níveis e definição de pesos relativos	Comparações par a par entre critérios (e /ou alternativas, em alguns casos)	Alta compensação (trade-off explícito via pesos)	Muito forte: julgamentos subjetivos são centrais	Boa organização conceitual; intuitivo; amplamente difundido	AHP, ANP, Fuzzy AHP, SFAHP, V-AHP, AHP + outros métodos
DISTÂNCIA A SOLUÇÃO IDEAL (COMPENSATÓRIOS)					
Hwang e Yoon (1981)					
Selecionar a alternativa mais próxima da solução ideal e mais distante da pior	Cálculo de distâncias em espaço multicritério normalizado	Totalmente compensatória	Moderado: pesos podem vir de especialistas ou de outros métodos	Operacional; fácil implementação; bom para muitos critérios	TOPSIS, VIKOR, TOPSIS híbrido (AHP + TOPSIS, ANP + TOPSIS)
SOBRECLASSIFICAÇÃO (OUTRANKING)					
Roy (1968); Brans e Mareschal (2005)					
Comparar alternativas duas a duas considerando preferências e limiares	Relações de dominância, preferência e incomparabilidade	Limitada ou não compensatória	Moderado a alto: exige definição de limiares e preferências	Evita compensação excessivas; adequado a decisões complexas	ELECTRE (I, II, TRI-C, TRI-nC), PROMETHEE (I, II), PROMETHEE + VIKOR
PROPORCIONAIS / COMPENSATÓRIOS ALTERNATIVOS					
Zavadskas (1994) / Yager (1988)					
Avaliação proporcional direta do desempenho das alternativas	Agregação matemática simples e transparente	Compensatória, porém, mais explícita	Baixo a moderado	Transparência; facilidade de interpretação; menor complexidade	COPRAS, OWA, CGT
CONSTRUTIVISTAS / DELPHI					
Ensslin (2001) / Dalkey e Helmer (1963)					
Construção do modelo decisório a partir dos valores dos atores	Processo iterativo, qualitativo-quantitativo	Não é o foco principal	Central: aprendizado e consenso são essenciais	Adequado a problemas mal estruturados; apoio à decisão estratégica	MCDA-C, Delphi

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos proponentes seminais citados e adaptado de Silva *et al.* (2021), Steffen *et al.* (2024) e Vakilpour *et al.* (2021).

Por fim, a abordagem construtivista, exemplificada pela *Multicriteria Decision Aid* (MCDA-C) e pelo método Delphi, desloca o foco do modelo matemático para o processo participativo de construção do problema decisório. Nessas abordagens, critérios, pesos e alternativas são estruturados de forma contextualizada, a partir da interação entre decisores e especialistas, sendo particularmente úteis em contextos com múltiplos *stakeholders* e elevada incerteza (Steffen *et al.*, 2024).

Materiais e métodos

Delineamento do estudo

Este estudo consiste em uma revisão sistemática da literatura com foco na aplicação de métodos de Análise de Decisão Multicritério em redes de distribuição de água. A revisão não teve como objetivo inventariar todas as aplicações de ADMC no setor hídrico, mas identificar, selecionar e organizar estudos que empregam esses métodos de forma aplicada e operacional em problemas decisórios relacionados à gestão de redes de distribuição.

A questão orientadora da revisão foi: como os métodos de ADMC vêm sendo aplicados em redes de distribuição de água e quais padrões podem ser identificados quanto aos critérios utilizados, técnicas de ponderação e tipos de decisões apoiadas? A condução do estudo seguiu as recomendações do protocolo PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) (Page *et al.*, 2021), estruturado nas etapas de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão.

Identificação

A busca bibliográfica foi realizada nas bases de dados *Scopus* e *Web of Science*, por serem amplamente reconhecidas pela cobertura multidisciplinar e rigor na indexação de periódicos científicos. A busca foi conduzida em dezembro de 2025, aplicada aos campos título, resumo e palavras-chave, utilizando a seguinte string: (“*water distribution network**” OR “*water supply system**”) AND (“*multi-criteria decision making*” OR “*multi-criteria decision analysis*” OR “*MCDM*” OR “*MCD*”).

Na busca, não houve restrição temporal. Foram incluídos apenas artigos revisados por pares. Não houve restrição de idioma, desde que o texto completo estivesse disponível. Como estratégia complementar, a plataforma Dimensions foi utilizada para ampliar a cobertura e identificar estudos frequentemente ausentes em bases tradicionais. Como estratégia complementar para mitigar possíveis vieses de indexação nas bases Scopus e Web of Science, utilizou-se a plataforma Dimensions para a identificação de estudos adicionais. A ferramenta fundamenta-se em modelos de Processamento de Linguagem Natural (PLN), o que permite a indexação de conceitos e relações semânticas entre documentos para além da correspondência exata de palavras-chave.

O procedimento metodológico nesta base seguiu quatro etapas estruturadas:

1. **Entrada de dados:** aplicação de string de busca padronizada em português e inglês;
2. **Processamento semântico:** expansão automática da busca pela IA para identificar termos correlatos nos campos de título e resumo;
3. **Filtragem e ranqueamento:** os resultados foram classificados pelo indicador de “Relevância”, o qual pondera a frequência de termos, a autoridade do periódico e a centralidade de citações no setor de recursos hídricos, com filtragem restrita a artigos de periódicos;
4. **Triagem:** pré-seleção assistida de registros com alta similaridade conceitual ao escopo de redes de distribuição de água.

O papel da IA nesta pesquisa foi o de um motor de descoberta proativo, contribuindo com a identificação de 10 registros adicionais que garantiram a inclusão de estudos focados em realidades locais e operacionais, muitas vezes omitidos em bases globais. Ressalta-se, contudo, que a responsabilidade analítica permaneceu estritamente humana: a decisão final de inclusão de todos os artigos baseou-se na leitura integral e no cumprimento rigoroso dos critérios de elegibilidade do protocolo PRISMA.

Triagem

A etapa de triagem foi conduzida com base na análise de títulos, palavras-chave e resumos. Foram excluídos estudos cujo foco não estivesse diretamente relacionado a redes de distribuição de água, incluindo trabalhos sobre:

- Barragens, reservatórios de bacia ou operação de reservatórios;
- Águas subterrâneas, poços, aquíferos ou recarga artificial;
- Irrigação (inclusive irrigação urbana);
- Drenagem urbana, inundação ou risco de cheias;
- Gestão de recursos hídricos em escala de bacia;
- Uso industrial da água;
- Estudos puramente metodológicos ou revisões genéricas de ADMC sem aplicação direta a redes de distribuição.

Elegibilidade

Os estudos remanescentes foram avaliados por meio da leitura integral dos resumos e, quando necessário, do texto completo. A seleção foi realizada por dois revisores, com resolução de divergências por consenso. Um artigo foi considerado elegível quando:

- tratava de sistemas de abastecimento de água, com foco direto em redes de distribuição;
- aplicava métodos de ADMC de forma prática, e não apenas conceitual;
- abordava problemas típicos de redes de distribuição, tais como reabilitação e substituição de tubulações, perdas de água, priorização de intervenções, avaliação de criticidade, risco ou vulnerabilidade, ou monitoramento da rede.

Inclusão e procedimentos analíticos

Os estudos elegíveis compuseram o portfólio final da revisão. Cada artigo foi considerado uma unidade analítica independente. Quando um estudo abordava mais de um problema decisório, ele foi classificado conforme o objetivo principal explicitado neste trabalho.

A análise foi conduzida por meio de técnica de análise de conteúdo com codificação manual. Inicialmente, os estudos foram organizados em grupos temáticos definidos de forma indutiva, com base na recorrência dos tipos de problemas decisórios identificados.

Em seguida, os critérios explicitamente utilizados em cada estudo foram extraídos e submetidos a uma segunda etapa de análise de conteúdo, visando ao agrupamento em macrocategorias analíticas. Cada critério foi alocado em uma única macrocategoria, priorizando sua dimensão principal conforme descrita no estudo original. Em casos de ambiguidade, adotou-se como referência a finalidade decisória atribuída ao critério deste estudo. O processo de categorização foi conduzido com revisão cruzada e consenso em caso de divergência. As macrocategorias definidas foram:

1. **Operacionais e de falhas:** Critérios relacionados ao desempenho funcional do sistema em operação contínua, incluindo confiabilidade, interrupções no abastecimento, frequência de falhas, manutenção corretiva e preventiva, índices de perdas e indicadores de continuidade do serviço.
2. **Econômicos e financeiros:** Critérios que avaliam impacto monetário das alternativas, incluindo custo de implantação, custo de manutenção, retorno do investimento, impacto tarifário e viabilidade financeira.
3. **Hidráulicos:** Critérios associados ao desempenho físico do escoamento e à capacidade da rede de atender à demanda sob condições técnicas adequadas.
4. **Sociais e qualidade de serviço:** Critérios que mensuram impacto das decisões sobre usuários e sociedade.

5. **Físicos e estruturais:** Critérios relacionados às características intrínsecas da infraestrutura que influenciam sua vulnerabilidade ou probabilidade de falha.
6. **Ambientais:** Critérios que avaliam impacto ambiental externo da operação ou intervenção.
7. **Qualidade da água:** Critérios relacionados à segurança sanitária e potabilidade da água distribuída.
8. **Gestão e inovação:** Critérios associados à capacidade institucional, governança, maturidade tecnológica e inovação organizacional.

Resultados e discussões

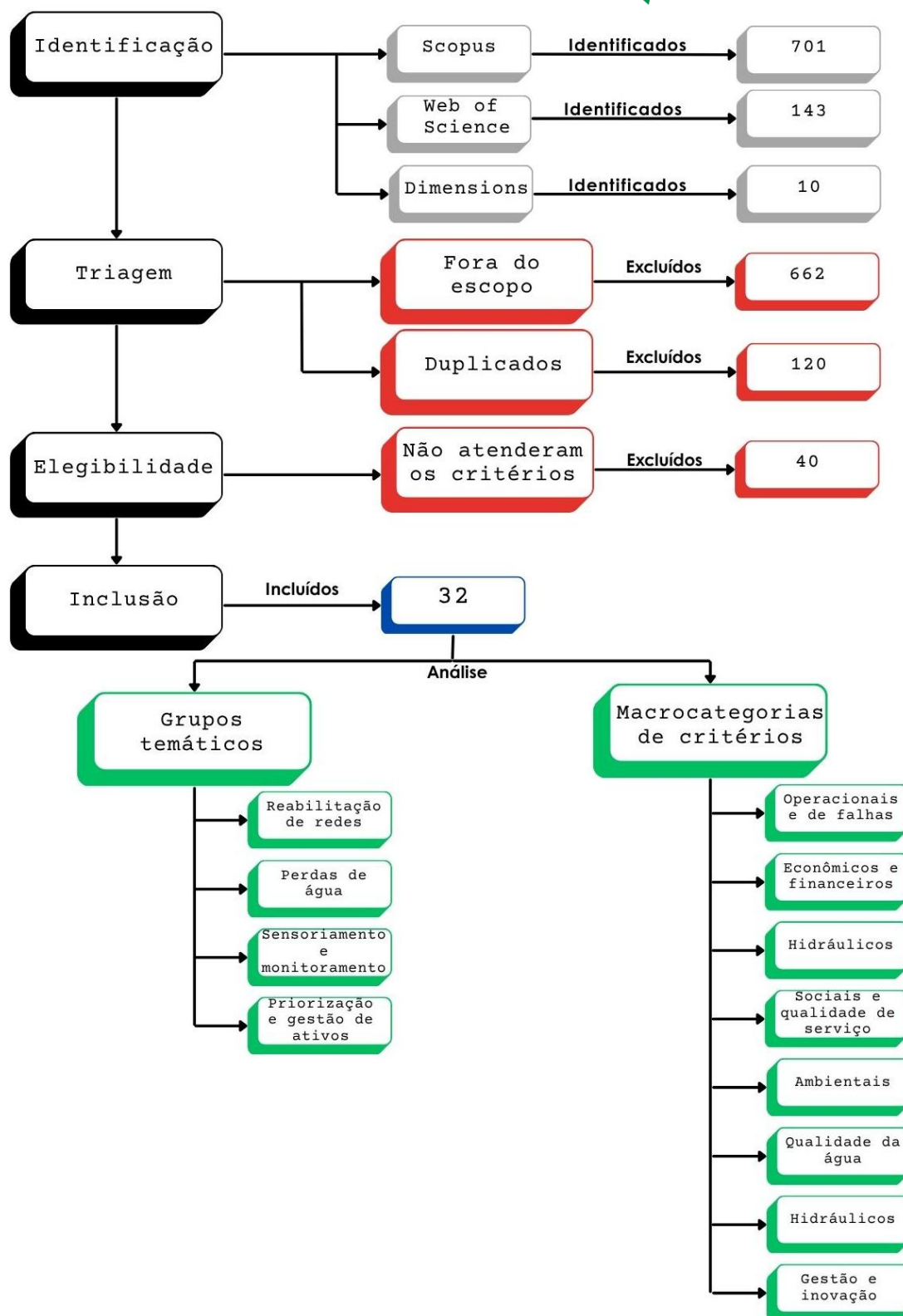
A Figura 1 apresenta o fluxo detalhado das etapas do protocolo PRISMA e a estrutura analítica adotada na revisão. A aplicação da estratégia de busca resultou na identificação de 842 registros nas bases Scopus e Web of Science, além de 10 registros adicionais na base Dimensions. Após as etapas de triagem e elegibilidade, 32 estudos compuseram o *corpus* final de análise. A Tabela 2 traz todo o corpus.

A análise de conteúdo permitiu identificar quatro grupos temáticos associados à natureza do problema decisório abordado:

- **Reabilitação de redes** – decisões relativas à substituição, renovação e planejamento de intervenções físicas na infraestrutura.
- **Perdas de água** – estratégias de controle de vazamentos, redução de água não faturada e gestão operacional de perdas.
- **Sensoriamento e monitoramento** – alocação de sensores e seleção de tecnologias para acompanhamento contínuo do desempenho da rede.
- **Priorização e gestão de ativos** – decisões estratégicas relacionadas à criticidade, risco e planejamento de investimentos ao longo do ciclo de vida dos ativos.

A distribuição dos estudos entre os grupos foi a seguinte: Reabilitação de Redes ($n = 13$), Perdas de Água ($n = 11$), Priorização e Gestão de Ativos ($n = 6$) e Sensoriamento e Monitoramento ($n = 2$). Essa distribuição evidencia que a aplicação de ADMC abrange tanto decisões estratégicas de longo prazo quanto decisões operacionais e táticas. Essa análise ainda permitiu a categorização de oito macrocategorias de critérios usados nos estudos.

Figura 1 – Etapas do PRISMA e estrutura analítica dos resultados



Fonte: Elaborado pelos autores

Tabela 2 – Comparação entre as famílias conceituais dos métodos multicritério

ID	Autor	Grupo temático	Família Conceitual	Método ADMC
1	Alaggio <i>et al.</i> (2025)	PA	Distância à Solução Ideal	TOPSIS
2	Aşchilean e Giurca (2018)	RR	Hierárquico (Base AHP)	ANP

3	Beker e Kansal (2023)	RR	Hierárquico (Base AHP)	AHP
4	Berrezel <i>et al.</i> (2023)	RR	Hierárquico (Base AHP)	AHP
5	Caetano <i>et al.</i> (2022)	RR	Sobreclassificação (Outranking)	ELECTRE TRI-C
6	Calderon e Najafi (2025)	SM	Hierárquico (Base AHP)	SFAHP
7	Claudino <i>et al.</i> (2021)	PA	Sobreclassificação (Outranking)	ELECTRE II
8	Cunha <i>et al.</i> (2020)	RR	Sobreclassificação (Outranking)	PROMETHEE
9	Drici <i>et al.</i> (2025)	PGA	Hierárquico (Base AHP)	AHP
10	Eren <i>et al.</i> (2025)	PA	Hierárquico / Distância	AHP, ANP e TOPSIS
11	Feng <i>et al.</i> (2021)	PA	Hierárquico (Base AHP)	V-AHP
12	Gul e Firat (2020)	RR	Sobreclassificação (Outranking)	ELECTRE I e PROMETHEE II
13	Jafari <i>et al.</i> (2023)	RR	Proporcionais / Compensatórios	COPRAS
14	Karasneh e Moqbel (2023)	RR	Hierárquico (Base AHP)	Fuzzy AHP
15	Kusterko <i>et al.</i> (2018)	PA	Construtivistas / Delphi	MCDA-C
16	Lima <i>et al.</i> (2018)	PGA	Construtivistas / Hierárquico	DELPHI e AHP
17	Lopes <i>et al.</i> (2011)	PGA	Hierárquico (Base AHP)	AHP
18	Morais <i>et al.</i> (2010)	PA	Sobreclassificação (Outranking)	PROMETHEE I
19	Orellana <i>et al.</i> (2018)	RR	Proporcionais / Compensatórios	CGT
20	Pereira e Leão, (2025)	PA	Proporcionais / Compensatórios	OWA
21	Pereira <i>et al.</i> (2020)	PGA	Sobreclassificação (Outranking)	ELECTRE TRI-nC
22	Raju <i>et al.</i> (2022)	PA	Sobreclassificação / Distância	PROMETHEE-2 e VIKOR
23	Retima <i>et al.</i> (2025)	PA	Hierárquico (Base AHP)	AHP e Fuzzy-AHP
24	Riyahi <i>et al.</i> (2025)	SM	Distância à Solução Ideal	TOPSIS
25	Salehi <i>et al.</i> (2017)	RR	Distância à Solução Ideal	TOPSIS
26	Salehi <i>et al.</i> (2020)	RR	Distância à Solução Ideal	TOPSIS
27	Salehi <i>et al.</i> (2024)	RR	Distância à Solução Ideal	TOPSIS
28	Scholten <i>et al.</i> (2014)	PGA	Sobreclassificação (Outranking)	ELECTRE
29	Sirsant e Reddy (2022)	RR	Hierárquico (Base AHP)	AHP
30	Souza <i>et al.</i> (2020)	PA	Sobreclassificação (Outranking)	PROMETHEE II
31	Tornyeviadzi <i>et al.</i> (2021)	PGA	Hierárquico / Distância	AHP e TOPSIS
32	Zyoud e Fuchs-Hanusch (2020)	PA	Hierárquico / Proporcionais	FAHP, FSET e OWA

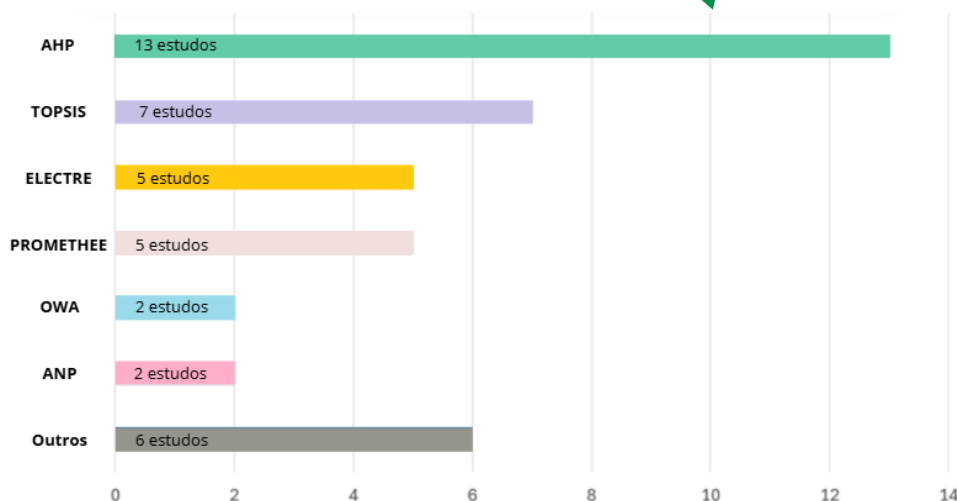
Legenda: **PA**: Perdas de Água; **RR**: Reabilitação de Redes; **PGA**: Priorização e Gestão de Ativos; **SM**: Sensoriamento e Monitoramento.

Fonte: Elaborado pelos autores

Análise dos métodos multicritério por grupo temático

A análise dos estudos sistematizados evidencia que a aplicação de ADMC em redes de distribuição de água não se restringe a um único tipo de problema decisório, dessa forma, antes da escolha do método multicritério, torna-se fundamental identificar qual tipo de decisão está sendo apoiada, uma vez que decisões distintas demandam estruturas decisórias, critérios e métodos diferentes. Assim, esclarecidas as diferenças entre os ADMC, é importante deixar claro quais os métodos utilizados pelos artigos e o que isso implica em cada área temática. A Figura 2 sintetiza essas informações.

Figura 2 - Panorama metodológico dos estudos selecionados (n=32).



(A) Frequência absoluta total por método ADMC.

Grupo temático	AHP	TOPSIS	PROMETHEE	ELECTRE	ANP	OWA	Outros	Total
Reabilitação de Redes	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●		●●●●●	13 estudos
Perdas de Água	●●●●●	●●●●●	●●●●●		●●●●●	●●●●●	●●●●●	11 estudos
Priorização e Gestão de Ativos	●●●●●	●●●●●		●●●●●			●●●●●	6 estudos
Sensoriamento e Monitoramento	●●●●●	●●●●●						2 estudos

(B) Matriz de distribuição cruzada entre métodos e grupos temáticos da rede de distribuição de água.

Fonte: Elaborado pelos autores

Embora o corpus final da revisão seja composto por 32 artigos, a análise de frequências revela um total de 40 aplicações metodológicas (Figura 2). Essa diferença decorre da presença de modelos híbridos e da comparação de desempenho entre dois ou mais métodos em um mesmo estudo decisório.

Nos estudos classificados como Reabilitação de Redes, os quais caracterizam-se por decisões de médio a longo prazo, alto custo e múltiplos critérios conflitantes, observou-se predominância de métodos hierárquicos. Métodos hierárquicos, como AHP e ANP, são predominantes em estudos com menor número de critérios e forte dependência de julgamento de especialistas (Beker; Kansal, 2023; Berrezel *et al.*, 2023), enquanto métodos compensatórios, como TOPSIS, são amplamente utilizados em modelos com grande número de critérios heterogêneos, favorecendo a escalabilidade e a operacionalização do processo decisório (Salehi *et al.*, 2024; Salehi *et al.*, 2020; Salehi *et al.*, 2017). Por sua vez, métodos de sobreclassificação, como PROMETHEE e ELECTRE, são empregados quando se busca limitar compensações entre critérios conflitantes, particularmente em decisões de reabilitação com forte impacto socioeconômico (Cunha *et al.*, 2020; Gul e Firat, 2020).

Os trabalhos do grupo temático Perdas de Água possuem característica de comparar alternativas e apoiar decisões táticas e operacionais, frequentemente associadas à setorização da rede e ao controle ativo de perdas. Esse grupo concentra estudos relacionados à água não faturada, vazamentos, controle de perdas e implantação de medidas de medição e controle. Os estudos ressaltam a necessidade de um sistema capaz de identificar, mensurar e integrar os fatores relevantes que influenciam o contexto a ser gerenciado, permitindo caracterizar o estágio atual da gestão de perdas e subsidiar a proposição de ações voltadas ao aprimoramento do planejamento das atividades (Alaggio *et al.*, 2025; Claudino *et al.*, 2021).

Nos trabalhos relacionados à Perdas de Água, identificou-se maior diversidade metodológica, incluindo AHP, PROMETHEE, ELECTRE e abordagens construtivistas como MCDA-C. Diferentemente do grupo de reabilitação, parte desses estudos não explicita detalhadamente os critérios utilizados, concentrando-se na aplicação do método e na geração de ranking final. Observa-se que esses estudos estão associados a métodos que demandam maior estruturação do problema e envolvem julgamento de especialistas ou decisores. Considerando que os processos de gestão são conduzidos por agentes decisores, a participação destes na construção do modelo de avaliação de desempenho mostra-se essencial, de modo a assegurar a aderência do modelo à realidade operacional e à legitimidade das decisões dele decorrentes (Kusterko *et al.*, 2018).

No grupo temático de Priorização e Gestão de Ativos, os estudos buscam integrar informações técnicas, econômicas e operacionais, auxiliando a priorização de investimentos e a definição de estratégias de manutenção e reabilitação. Aqui, predominam métodos hierárquicos (AHP/ANP) e de sobreclassificação (ELECTRE), refletindo a necessidade de explicitação de critérios estratégicos e integração de dimensões técnicas, econômicas e sociais. Esses estudos apresentam maior formalização na definição de indicadores e pesos, quando comparados aos grupos com foco operacional.

A Gestão de Ativos em sistemas de abastecimento de água, terceiro grupo temático, é marcado por um desafio complexo, dado que as redes de distribuição podem representar até 75% do custo total de implantação do sistema (Lima *et al.*, 2018). Essa gestão está intrinsecamente associada à análise de risco e à predição de falhas ao longo do ciclo de vida da infraestrutura, à adoção de abordagens proativas, fundamentadas na gestão de ativos orientada ao risco, contribui para a otimização da alocação de recursos, a redução de interrupções no abastecimento e o aumento da confiabilidade das RDAs (Scholten *et al.*, 2014). Esta categoria engloba decisões relacionadas à manutenção, falhas, risco, criticidade, vulnerabilidade e planejamento de investimentos ao longo do ciclo de vida dos ativos. Os estudos desse grupo buscam apoiar decisões de longo prazo, integrando múltiplas dimensões de desempenho para orientar a alocação eficiente de recursos em um contexto de restrições orçamentárias.

Os estudos classificados como Sensoriamento e Monitoramento fazem uso de decisões espaciais e tecnológicas, equilibrando critérios como custo, confiabilidade, criticidade hidráulica e cobertura do sistema. Observa-se predominância de métodos compensatórios baseados em distância à solução ideal (TOPSIS e variantes fuzzy), aplicados à definição ótima de alocação de sensores. Esses modelos tendem a integrar critérios hidráulicos, espaciais e informacionais, priorizando escalabilidade e aplicabilidade computacional. Quando bem executado, o monitoramento proporciona maior confiabilidade ao sistema, detectando e analisando o desenvolvimento de falhas em estágios iniciais, permitindo tempo para a tomada de decisões cruciais visando minimizar quaisquer perdas (Calderon; Najafi, 2025).

As tecnologias de comunicação e processamento, a integração de sensores físicos, dispositivos de transmissão e sistemas computacionais viabilizam o monitoramento remoto das redes de distribuição de água, o que possibilita a coleta automática de grandes volumes de dados, ampliando a capacidade de diagnóstico do estado atual da rede e reduzindo a dependência de inspeções manuais. De acordo com Riyahi *et al.* (2025), a escolha das localizações dos sensores é uma etapa crítica, e instalações indiscriminadas podem elevar custos sem garantir ganho proporcional de informação. A definição de pontos ótimos para instalação de sensores deve considerar simultaneamente critérios hidráulicos, topológicos e informacionais, como

sensibilidade à variação da rugosidade das tubulações, dispersão espacial dos pontos de medição e distância em relação às fontes de abastecimento (Calderon; Najafi, 2025).

De forma transversal, verifica-se que métodos hierárquicos e de sobreclassificação são mais recorrentes em decisões estratégicas de longo prazo, que demandam explicitação estruturada de critérios e participação de especialistas. Em contraste, métodos compensatórios baseados em distância à solução ideal predominam em decisões operacionais e em modelos com maior número de critérios quantitativos. Essa tendência sugere que a escolha do método multicritério está menos associada à preferência técnica isolada e mais à natureza do problema decisório e à estrutura do conjunto de critérios mobilizado. Em outras palavras, a aplicação de ADMC em redes de distribuição de água revela um alinhamento entre configuração do problema, nível decisório (estratégico ou operacional) e estrutura do método adotado.

Análise dos critérios utilizados nos modelos multicritério

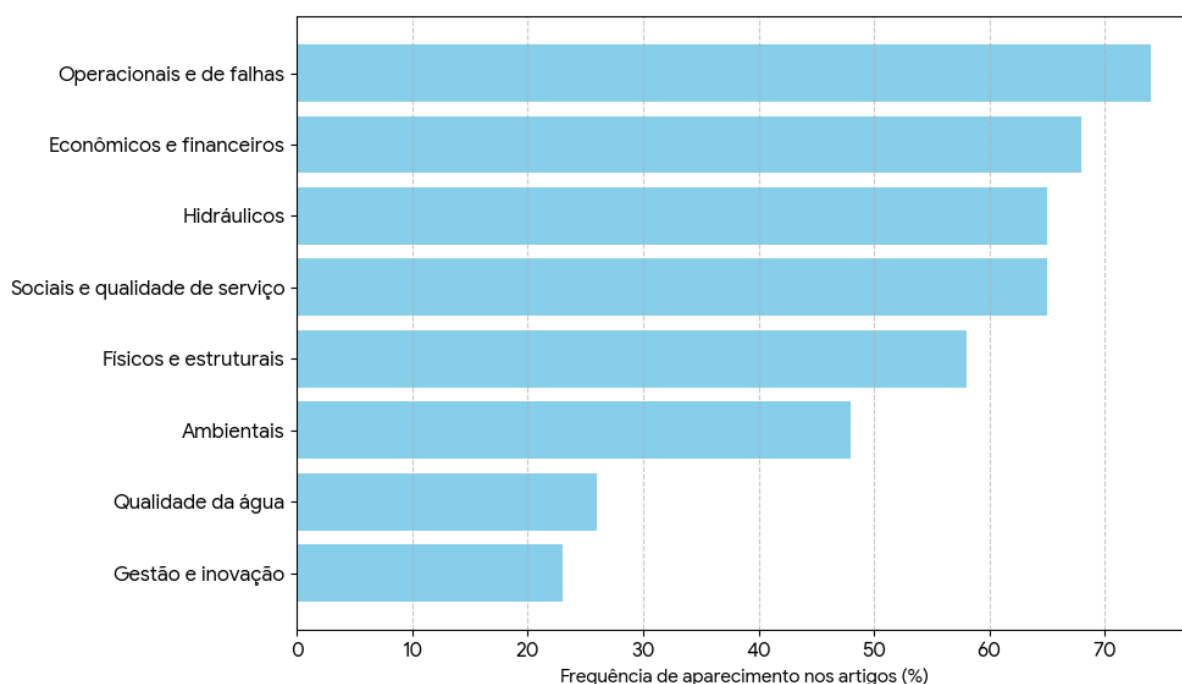
Os critérios utilizados nos modelos de ADMC aplicados a redes de distribuição de água podem ser sintetizados em macrocategorias analíticas, conforme definidas na Figura 1. A Figura 3 apresenta a frequência de ocorrência dessas macrocategorias nos estudos analisados. Observa-se predominância clara de critérios de natureza técnica e operacional, seguidos por critérios econômicos, enquanto dimensões ambientais, institucionais e relacionadas à qualidade da água aparecem com menor recorrência.

A macrocategoria mais frequente é a de critérios Operacionais e de falhas, que inclui histórico de desempenho, manutenção, confiabilidade do serviço, frequência de falhas (Beker; Kansal, 2023), interrupções (Drici *et al.*, 2025), índices de perdas (Kusterko *et al.*, 2018) e manutenção preventiva e corretiva (Retima *et al.*, 2025). Essa predominância indica que os estudos analisados tratam as redes de distribuição como ativos em operação contínua, sujeitos à degradação e risco, sinalizando uma transição do enfoque tradicional de dimensionamento para uma abordagem orientada ao desempenho ao longo do ciclo de vida.

Em seguida, destacam-se os critérios Econômicos e financeiros, relacionados à viabilidade e ao retorno de investimentos, como custos de implantação e manutenção (Cunha *et al.*, 2020; Salehi *et al.*, 2020), receita e retorno financeiro (Pereira *et al.*, 2020). A recorrência dessa dimensão reforça que intervenções em reabilitação, controle de perdas e monitoramento são modeladas como decisões de alocação de recursos sob restrição orçamentária.

Os critérios Sociais e de qualidade de serviço incluem número de consumidores afetados, satisfação dos usuários (Orellana *et al.*, 2018) e impacto urbano (Moraes *et al.*, 2010), enquanto os critérios hidráulicos avaliam desempenho físico do sistema, como pressão (Lopes *et al.*, 2011; Souza *et al.*, 2020), vazão e velocidade (Tornyeviadzi *et al.*, 2021). A presença simultânea dessas dimensões sugere ampliação do escopo decisório para além da eficiência hidráulica estrita, incorporando impactos percebidos pelos usuários.

Figura 3. Frequência das macrocategorias de critérios nos artigos analisados



Fonte: Elaborado pelos autores

Os critérios Físicos e estruturais referem-se às características intrínsecas da infraestrutura, como material, dimensões, idade da tubulação e condições de solo (Berrezel *et al.*, 2023; Aşchilean; Giurca, 2018; Zyoud; Fuchs-Hanusch, 2020). Esses atributos aparecem frequentemente como variáveis intermediárias associadas à probabilidade de falha e ao risco operacional.

Já os critérios Ambientais e de Qualidade da água apresentam menor recorrência. Os primeiros incluem conservação de recursos e eficiência energética (Claudino *et al.*, 2021; Souza *et al.*, 2020), enquanto os segundos contemplam potabilidade e risco de contaminação (Orellana *et al.*, 2018; Lima *et al.*, 2018). Apesar do crescente discurso sobre sustentabilidade e segurança hídrica, essas dimensões ainda não ocupam posição central nos modelos analisados.

Por fim, os critérios de Gestão e inovação, relacionados à governança, maturidade tecnológica e viabilidade institucional (Retima *et al.*, 2025; Calderon; Najafi, 2025), aparecem sobretudo em estudos mais recentes, indicando gradual incorporação de perspectivas organizacionais e sistêmicas.

Relação entre grupos temáticos e macrocategorias

A análise cruzada entre grupos temáticos e macrocategorias (Tabela 3) evidencia que diferentes tipos de aplicação mobilizam diferentes conjuntos de critérios. Nos estudos de reabilitação de redes, observa-se predominância de critérios hidráulicos (62%) e físicos/estruturais (54%), indicando forte orientação técnico-operacional e foco na integridade da infraestrutura. Por outro lado, aplicações relacionadas a perdas de água apresentam maior diversidade dimensional, com elevada incidência de critérios operacionais (73%), econômicos (73%), sociais (73%) e ambientais (64%), configurando um problema decisório mais multidimensional e com maior interface socioeconômica.

Tabela 3 – Frequência absoluta e relativa (%) de ocorrência das macrocategorias em cada grupo temático*

	Reabilitação de Redes	Perdas de Água	Priorização e Gestão de Ativos	Sensoriamento e Monitoramento
Operacionais e de falhas	6 (46%)	8 (73%)	3 (50%)	1 (50%)
Econômicos e financeiros	4 (31%)	8 (73%)	3 (50%)	2 (100%)
Sociais e qualidade de serviço	3 (23%)	8 (73%)	3 (50%)	0
Hidráulicos	8 (62%)	4 (36%)	3 (50%)	1 (50%)
Físicos e estruturais	7 (54%)	4 (36%)	3 (50%)	2 (100%)
Ambientais	3 (23%)	7 (64%)	3 (50%)	0
Qualidade da água	0	2 (18%)	2 (33%)	0
Gestão e Inovação	0	4 (36%)	1 (17%)	0

*As porcentagens referem-se à frequência de ocorrência da macrocategoria dentro de cada grupo temático. Os valores não representam distribuição proporcional entre linhas ou colunas.

Fonte: Elaborado pelos autores

Nos estudos de priorização e gestão de ativos, observa-se distribuição relativamente equilibrada entre macrocategorias ($\approx 50\%$ em várias dimensões), sugerindo decisões de natureza integradora. Já no grupo de sensoriamento e monitoramento, destaca-se a ênfase em critérios econômicos e físicos, com menor presença de dimensões sociais e ambientais, indicando escopo mais instrumental e tecnológico. Esses padrões indicam que a natureza do problema decisório condiciona a configuração dos modelos multicritério, influenciando quais dimensões são explicitamente incorporadas à análise. Importa destacar que esta avaliação considera a presença declarada dos critérios nos estudos, não permitindo inferir sua importância relativa, mas apenas sua incorporação formal.

Um dos achados mais relevantes desta revisão é que a etapa mais determinante para a qualidade do modelo decisório não reside na escolha do método multicritério em si, mas na forma como o problema é estruturado e no conjunto de critérios incorporados à análise. Estudos que utilizam métodos distintos frequentemente produzem resultados convergentes quando partem de estruturas de critérios semelhantes, enquanto aplicações do mesmo método geram resultados substancialmente distintos quando fundamentadas em conjuntos de critérios diferentes.

A comparação entre Kusterko *et al.* (2018) e Claudino *et al.* (2021) ilustra essa centralidade. Apesar de utilizarem métodos distintos (MCDA-C e ELECTRE II), ambos incorporaram dimensões operacionais, econômicas e sociais, superando uma leitura estritamente hidráulica das perdas. No caso de Claudino *et al.* (2021), a inclusão de critérios de vulnerabilidade social revelou que a aparente baixa perda era consequência da insuficiência de abastecimento, deslocando o foco da intervenção para aspectos de equidade. De modo semelhante, a comparação entre Aşchilean e Giurca (2018) e Salehi *et al.* (2017) demonstra que, mesmo com mobilização de critérios comparáveis, a escala e a natureza da decisão (seleção tecnológica específica versus priorização espacial sob incerteza) condicionam a arquitetura do modelo e seus resultados.

Em síntese, o método atua como instrumento de agregação, mas é a definição das dimensões avaliadas que delimita o escopo da decisão, os *trade-offs* considerados e as prioridades estabelecidas. A robustez da decisão depende, portanto, menos da sofisticação algorítmica e mais da consistência conceitual na etapa de estruturação do problema.

Tendências na definição dos pesos nos modelos multicritério

A análise dos estudos revela predominância do julgamento de especialistas como mecanismo central de ponderação. Exemplos incluem Beker e Kansal (2023), que mobilizaram pesquisadores e profissionais de operação para alimentar matrizes AHP; Eren *et al.* (2025), que utilizaram pontuações atribuídas por dez especialistas em gestão de água urbana; e Salehi *et al.* (2017), que combinaram Delphi e lógica fuzzy para captar a hesitação dos decisores. De modo semelhante, Tornyeviadzi *et al.* (2021), Zyoud e Fuchs-Hanusch (2020) derivaram vetores de prioridade diretamente do julgamento de grupos especializados.

Mesmo quando a literatura técnica orienta a definição dos critérios, a atribuição dos pesos permanece contextual e dependente da experiência profissional (Aşchilean; Giurca, 2018; Calderon; Najafi, 2025; Salehi *et al.*, 2020). Em contraste, alguns estudos incorporam análises de sensibilidade para testar robustez (Alaggio *et al.*, 2025; Scholten *et al.*, 2014), enquanto outros não explicitam claramente o procedimento de ponderação (Jafari *et al.*, 2023; Raju *et al.*, 2022). Observa-se ainda relação implícita entre tipo de problema e modo de ponderação: decisões estratégicas tendem a envolver maior participação institucional (Kusterko *et al.*, 2018; Drici *et al.*, 2025), enquanto aplicações predominantemente técnicas recorrem com maior frequência a pesos igualitários ou definidos pelos autores (Riyahi *et al.*, 2025).

Também se observa heterogeneidade quanto à avaliação da robustez dos pesos. Alguns estudos incorporam análises de sensibilidade ou cenários alternativos para testar a estabilidade dos resultados, como Alaggio *et al.* (2025), Caetano *et al.*, e Scholten *et al.* (2014), reconhecendo explicitamente que variações na ponderação podem alterar o ranking final. Por outro lado, trabalhos como Jafari *et al.* (2023) e Raju *et al.* (2022) não especificam de forma clara o procedimento adotado para definição dos pesos, revelando fragilidades de transparência metodológica.

Considerações finais

A presente revisão sistemática demonstra que a aplicação de métodos de ADMC em redes de distribuição de água é fortemente condicionada pela forma como o problema decisório é estruturado. Diferentes tipos de aplicação (reabilitação de redes, controle de perdas, priorização de ativos e sensoriamento) mobilizam padrões distintos de critérios, refletindo a natureza estrutural, operacional ou estratégica das decisões envolvidas. A configuração do conjunto de critérios, portanto, delimita o escopo da análise, define os *trade-offs* considerados e influencia diretamente as prioridades estabelecidas.

Nesse contexto, comparações diretas entre estudos que utilizam o mesmo método multicritério, mas aplicados a problemas distintos, podem ser metodologicamente inadequadas se desconsiderarem diferenças na estruturação do problema e na composição dos critérios. As evidências analisadas indicam que a etapa de definição das dimensões avaliadas e do contexto decisório exerce impacto frequentemente superior à escolha do algoritmo de agregação. Assim, a robustez do modelo decisório depende menos da sofisticação matemática do método e mais da coerência conceitual e justificativa técnica do conjunto de critérios incorporado.

A revisão também evidencia que a definição dos pesos permanece amplamente ancorada no julgamento de especialistas e decisores institucionais, mesmo em estudos que empregam técnicas matematicamente sofisticadas. Abordagens puramente objetivas são minoritárias, e a incorporação sistemática de análises de sensibilidade ocorre de forma heterogênea. Tal padrão reforça a necessidade de maior transparência na explicitação da origem dos pesos, na justificativa de sua

atribuição e na avaliação da estabilidade dos resultados frente a variações na ponderação.

Do ponto de vista aplicado, os resultados indicam que a escolha do método multicritério deve ser precedida por reflexão cuidadosa sobre a natureza do problema, sua escala e as dimensões que precisam ser explicitamente consideradas. A adoção crítica de determinado método com base em sua recorrência na literatura tende a ser menos determinante para a qualidade da decisão do que a adequada estruturação do conjunto de critérios e a coerência entre modelo e contexto decisório.

Esta revisão apresenta limitações que devem ser consideradas. A análise baseou-se na presença declarada de critérios, não permitindo avaliar quantitativamente sua importância relativa nem comparar diretamente os pesos atribuídos entre estudos. Além disso, a categorização em macrocategorias, embora conduzida de forma sistemática, envolve certo grau de interpretação analítica. Por fim, a concentração em bases indexadas pode ter excluído aplicações técnicas não publicadas em periódicos científicos.

Como agenda futura, destacam-se oportunidades para o desenvolvimento de abordagens híbridas que integrem julgamento especializado e métodos objetivos baseados em dados; para a ampliação da incorporação de critérios sociais, ambientais e de equidade territorial nos modelos; para a padronização de procedimentos de elicitação e validação de pesos; e para a integração da ADMC com ferramentas de ciência de dados e modelagem preditiva. Tais avanços podem contribuir para modelos decisórios mais transparentes, robustos e alinhados às demandas contemporâneas de sustentabilidade e gestão eficiente das redes de distribuição de água.

Referências

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12218: **Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público**. Rio de Janeiro, 2017.

ALAGGIO, J.; BARROS, D.; BRENTAN, B.; CARPITELLA, S.; HERRERA, M.; IZQUIERDO, J. Assessment of Criticality in Water Distribution Networks via Complex Network Theory. **Processes**, v. 13, n. 408, p. 1-17, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr13020408>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2227-9717/13/2/408>. Acesso em: 23 set. 2025.

AŞCHILEAN, I.; GIURCA, I. Choosing a Water Distribution Pipe Rehabilitation Solution Using the Analytical Network Process Method. **Water**, v. 10, n. 484, p. 1-23, apr. 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/w10040484>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/10/4/484>. Acesso em: 05 jul. 2025.

BEKER, B. A.; KANSAL, M. L. Pipe and isolation valve failure-impact analysis and prioritization model for an urban water distribution network. **Journal of Hydroinformatics**, v. 25, n. 2, p. 491-510, 2023. DOI: <https://doi.org/10.2166/hydro.2023.179>. Disponível em: <https://iwaponline.com/jh/article/25/2/491/93555/Pipe-and-isolation-valve-failure-impact-analysis>. Acesso em: 19 out. 2025.

BERREZEL, Y. A.; ABDELBAKI, C.; ROUISSAT, B.; BOUMAAZA, T.; KHALDOON, A. M. Decision support system for the management of water distribution networks a

case study of Tourville, Algeria. **LARHYSS Journal**, ISSN 1112-3680, n. 54, p. 7-24, 2023. Disponível em: <http://www.larhyss.net/ojs/index.php/larhyss/article/view/9892>. Acesso em: 11 nov. 2025.

BRANS, J. P.; MARESCHAL, B. Promethee Methods. In: **Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys**. International Series in Operations Research & Management Science, vol 78. Springer, 2005. DOI: https://doi.org/10.1007/0-387-23081-5_5. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/0-387-23081-5_5. Acesso em: 09 jul. 2026

BROEKHUIZEN, H. *et al.* A Review and Classification of Approaches for Dealing with Uncertainty in Multi-Criteria Decision Analysis for Healthcare Decisions. **PharmacoEconomics**, [s. l.], v. 33, n. 5, p. 445-455, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40273-014-0251-x>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40273-014-0251-x>. Acesso em: 12 ago. 2025.

CAETANO, J.; CARRIÇO, N.; COVAS, D. Lessons Learnt from the Application of MCDA Sorting Methods to Pipe Network Rehabilitation Prioritization. **Water**, v. 14, n. 736, p. 1-24, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/w14050736>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/14/5/736>. Acesso em: 27 jul. 2025.

CALDERON, D.; NAJAFI, M. Integrated Approach to Optimizing Selection and Placement of Water Pipeline Condition Monitoring Technologies. **Eng**, v. 6, n. 97, p. 1-29, mai. 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/eng6050097>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2673-4117/6/5/97>. Acesso em: 14 ago. 2025.

CARVALHO, J.; LONGARAY, A. A. Priorização de projetos de recursos hídricos sob a perspectiva de modelos de apoio à decisão multicritério: uma revisão sistemática. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [s. l.], v. 26, n. 6, p. 1155–1171, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1413-415220190259>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/thLKW56D5Pqr8kw6FjNmtgv>. Acesso em: 02 set. 2025.

CLAUDINO, C. M. de A. *et al.* Avaliação das perdas em um sistema de abastecimento de água de pequeno porte no semiárido brasileiro por aspectos multicriteriais. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 18, n. 13, p. 1-13, 2021. DOI: <https://doi.org/10.21168/rega.v18e13>. Disponível em: <https://revistas.abrhidro.org.br/article.php?Article=5395>. Acesso em: 28 out. 2025.

CUNHA, M.; MARQUES, J.; SAVIĆ, D. A Flexible Approach for the Reinforcement of Water Networks Using Multi-Criteria Decision Analysis. **Water Resources Management**, v. 34, n. 14, p. 4469-4490, set. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02655-9>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-020-02655-9>. Acesso em: 09 nov. 2025.

DALKEY, N.; HELMER, O. An experimental application of the Delphi method to the use of experts. **Management Science**, [s. l.], v. 9, n. 3, p. 458-467, abr. 1963. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2627117>. Acesso em: 30 set. 2025.

DRICI, K. *et al.*. An optimal water supply network using a network based relational approach, case study of Khemis Miliana City in Algeria. **Alexandria Engineering Journal**, v. 121, p. 592-605, fev. 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2025.02.089>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2227-9717/13/2/408>. Acesso em: 17 dez. 2025.

ENSSLIN, L.; MONTIBELLER, G.; NORRIS, S. M. **Apoio à decisão**: metodologia para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas. Florianópolis: Insular, 2001.

EREN, H.; BOZKURT, C.; FIRAT, M. Determination of Weights and Priority Ranking of Leakage Management Components in Water Distribution Systems Using Analytical Hierarchy Process, Analytical Network Process and TOPSIS Methods. **Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering**, v. 49, p. 5161-5172, jan. 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40996-024-01706-0>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40996-024-01706-0>. Acesso em: 30 set. 2025.

FENG, Y. X. *et al.*. Visual analytic hierarchical process for in situ identification of leakage risk in urban water distribution network. **Sustainable Cities and Society**, v. 75, p. 103296, ago. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103297>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670721005734>. Acesso em: 21 jul. 2025.

GEBRE, S. L.; CATTRYSSSE, D.; VAN ORSHOVEN, J. Multi-Criteria Decision-Making Methods to Address Water Allocation Problems: A Systematic Review. **Water**, [s. l.], v. 13, n. 2, p. 125, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/w13020125>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/2/125>. Acesso em: 15 out. 2025.

GUL, Ş.; FIRAT, M. Determination of priority regions for rehabilitation in water networks by multiple criteria decision making methods. **Sigma J Eng & Nat Sci**, v. 38, n. 3, p. 1481-1494, ago. 2020. DOI: <https://doi.org/10.26480/wcm.01.2024.37.46>. Disponível em: <https://eds.yildiz.edu.tr/sigma/Articles>. Acesso em: 04 nov. 2025.

HWANG, C.-L.; YOON, K. **Multiple Attribute Decision Making**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1981. (Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems). v. 188. DOI: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-48318-9>. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-48318-9>. Acesso em: 22 dez. 2025.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. de. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2ª Edição. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.

JAFARI, S. M. *et al.*. A robust clustering-based multi-objective model for optimal instruction of pipes replacement in urban WDN based on machine learning approaches. **Urban Water Journal**, v. 20, n. 6, p. 689-706, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1080/1573062X.2023.2209063>. 10 jul. 2025. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/1573062X.2023.2209063>. Acesso em: 25 out. 2025.

KARASNEH, S.; MOQBEL, S. Priority-Based Decision Model for Rehabilitation of Water Networks Using FAHP. **Water Conservation & Management**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 37-46, 2023. DOI: <https://doi.org/10.26480/wcm.01.2024.37.46>. Disponível em: <https://www.watconman.org/archives-pdf/1wcm2024/1wcm2024-37-46.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2025.

KUSTERKO, S. *et al.*. Gestão de perdas em sistemas de abastecimento de água: uma abordagem construtivista. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 3, p. 615-626, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522018156436>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/Rn6rhxLMbP6NyLNGR3YmJLx/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 07 dez. 2025.

LIMA, G. M. *et al.*. Dimensionamento de redes de distribuição de água por meio de análise multicriterial. **Revista DAE**, v. 68, n. 221, p. 118-130, 2018. DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2020.010>. Disponível em: <https://www.revistadae.com.br/site/artigo/1831-Dimensionamento-de-redes-de-distribuicao-de-agua-por-meio-de-analise-multicriterial->. Acesso em: 16 ago. 2025.

LIMA JUNIOR, F. R.; CARPINETTI, L. C. R. Uma comparação entre os métodos TOPSIS e Fuzzy-TOPSIS no apoio à tomada de decisão multicritério para seleção de fornecedores. **Gestão & Produção**, v. 22, n. 1, p. 17-34, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0104-530X1190>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/gp/a/YYQS49M7kYZGVG8sgcKxJHC/abstract/?lang=en>. Acesso em: 22 dez. 2025.

LOPES, K. G. de O.; COELHO, M. M. L. P.; LIBANIO, M. Aplicação do Método da Análise Hierárquica na Priorização da Reabilitação de Redes de Distribuição de Água. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 16, n. 4, p. 181-194, 2011. Disponível em: <https://revistas.abrhidro.org.br/article.php?Article=9>. Acesso em: 05 set. 2025.

MORAIS, D. C.; CAVALCANTE, C. A. V.; DE ALMEIDA, A. T. Priorização de áreas de controle de perdas em redes de distribuição de água. **Pesquisa Operacional**, v. 30, n. 1, p. 15-32, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-74382010000100002>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pope/a/mCgyZSTtZsVt67SqGng6mFF/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 20 out. 2025.

ORELLANA, A. *et al.*. Contribuição ao planejamento de reabilitação de redes de distribuição de água. **Ribagua**, v. 5, n. 2, p. 79-91, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/23863781.2018.1495991>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23863781.2018.1495991>. Acesso em: 08 nov. 2025.

PAGE, M. J. *et al.*. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **bmj**, v. 372, n. 71. jan. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2227-9717/13/2/408>. Acesso em: 14 dez. 2025.

PEREIRA, L.S.; LEÃO, J. A decision framework based on knowledge aggregation for the assessment of technologies to reduce water losses. **Urban Water Journal**, p. 1-15, out. 2025. DOI: <https://doi.org/10.1080/1573062X.2025.2571906>. Disponível em: <https://www.bmj.com/content/372/bmj.n71>. Acesso em: 03 jul. 2025.

PEREIRA, L. de S.; MORAIS, D. C.; FIGUEIRA, J. R. Using criticality categories to evaluate water distribution networks and improve maintenance management. **Sustainable Cities and Society**, v. 61, p. 102308, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102308>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670720305291>. Acesso em: 27 ago. 2025.

RAJU, K. S.; ARUNACHALAM, V.; NAIDU, M. N. Fuzzy cluster analysis and decision-making algorithms for optimal water distribution network design. **ISH Journal of Hydraulic Engineering**, [s. l.], v. 29, n. 3, p. 341–350, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1080/09715010.2022.2076573>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09715010.2022.2076573>. Acesso em: 11 set. 2025.

RETIMA, N. *et al.*. Application of MCDM methods for the reduction of water losses: case of the city of Annaba (Algeria). **Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration**, v. 10, p. 4665-4680, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41207-025-00760-y>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s41207-025-00760-y>. Acesso em: 10 out. 2025.

RIYAH, M. M. *et al.*. Multi-criteria pressure sensors placement in water distribution networks using fuzzy TOPSIS. **Applied Water Science**, v. 15, n. 229, p. 1-20, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13201-025-02583-2>. Acesso em: 02 out. 2025.

ROSA, C. R. M.; STEINER, M. T. A.; COLMENERO, J. C. Utilização de processo de análise hierárquica para definição estrutural e operacional de centros de distribuição: uma aplicação a uma empresa do ramo alimentício. **Gestão & Produção**, v. 22, n. 4, p. 935-950, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0104-530X986-13>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/gp/a/DLrvWTZmx8HZPzy6FXZGTTs/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 23 nov. 2025.

ROY, B. Classement et choix en presence de points de vue multiples. **Revue Française d'Informatique et de Recherche Opérationnelle**, [s. l.], v. 2, n. 8, p. 57-75, 1968. Disponível em: https://www.numdam.org/article/RO_1968__2__1_57_0.pdf. Acesso em: 09 dez. 2025.

SAATY, T. L. How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 48, n. 1, p. 9-26, 1990. DOI: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/037722179090057I>. Acesso em: 06 ago. 2025.

SALEHI, S.; JALILI GHAZIZADEH, M.; TABESH, M. A comprehensive criteria-based multi-attribute decision-making model for rehabilitation of water distribution systems.

Structure and Infrastructure Engineering, v. 14, n. 6, p. 743-765, ago. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/15732479.2017.1359633>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15732479.2017.1359633>. Acesso em: 21 set. 2025.

SALEHI, S. *et al.* A risk component-based model to determine pipes renewal strategies in water distribution networks. **Structure and Infrastructure Engineering**, v. 17, n. 10, p. 1338-1359, nov. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/15732479.2020.1842466>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15732479.2020.1842466>. Acesso em: 30 out. 2025.

SALEHI, S. *et al.* A fuzzy group decision-making model for Water Distribution Network rehabilitation. **Urban Water Journal**, v. 21, n. 3, p. 364-379, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1080/1573062X.2023.2295310>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1573062X.2023.2295310>. Acesso em: 13 nov. 2025.

SCHOLTEN, L. *et al.* Strategic rehabilitation planning of piped water networks using multi-criteria decision analysis. **Water Research**, v. 49, p. 124-143, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.11.017>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135413009287>. Acesso em: 01 dez. 2025.

SILVA, F. F. da *et al.* Elicitation of Criteria Weights for Multicriteria Models: Bibliometrics, Typologies, Characteristics and Applications. **Brazilian Journal of Operations & Production Management**, [s. l.], v. 18, n. 4, p. 1–28, 2021. DOI: <https://doi.org/10.14488/BJOPM.2021.014>. Disponível em: <https://bjopm.org.br/bjopm/article/view/901>. Acesso em: 24 jul. 2025.

SIRSANT, S.; REDDY, M. J. Performance-based multi-objective design and expansion of water distribution networks considering life cycle costs and future demands. **Water Supply**, [s. l.], v. 22, n. 2, p. 1388–1408, 2022. DOI: <https://doi.org/10.2166/ws.2021.344>. Disponível em: <https://iwaponline.com/ws/article/22/2/1388/84601/Performance-based-multi-objective-design-and>. Acesso em: 07 set. 2025.

SOUZA, J. D. S. *et al.* Aplicação do método Promethee II para gestão de perdas reais em sistemas de abastecimento de água. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p. 3553-3566, jan. 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n1-255>. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/6315>. Acesso em: 15 out. 2025.

STEFFEN, V.; DE OLIVEIRA, M. S.; TROJAN, F. A Novel Approach for Systematic Literature Reviews Using Multi-Criteria Decision Analysis. **Journal of Intelligent Management Decision**, [s. l.], v. 3, n. 2, p. 116–138, 2024. DOI: <https://doi.org/10.56578/jimd030205>. Disponível em: https://www.acadlore.com/article/JIMD/2024_3_2/jimd030205. Acesso em: 28 nov. 2025.

TORNYEVIADZI, H. M. *et al.*. Nodal vulnerability assessment of water distribution networks: An integrated Fuzzy AHP-TOPSIS approach. **International Journal of Critical Infrastructure Protection**, v. 34, p. 100434, abr. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2021.100434>. Acesso em: 10 dez. 2025.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de Água**. 3ª Edição. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006

VAKILIPOUR, S. *et al.* Comparison between Multi-Criteria Decision-Making Methods and Evaluating the Quality of Life at Different Spatial Levels. **Sustainability**, [s. l.], v. 13, n. 7, p. 4067, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13074067>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/7/4067>. Acesso em: 04 jul. 2025.

YAZDANI, M.; ALIDOOSTI, A.; ZAVADSKAS, E. K. Risk analysis of critical infrastructures using fuzzy COPRAS. **Economic research- Ekonomska istraživanja**, v. 24, n. 4, p. 27-40, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1080/1331677X.2011.11517478>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1331677X.2011.11517478>. Acesso em: 22 ago. 2025.

YAGER, R. R. On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decision making. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, [s. l.], v. 18, n. 1, p. 183-190, 1988. DOI: <https://doi.org/10.1109/21.87068>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/87068>. Acesso em: 13 set. 2025.

ZYOUN, S. H.; FUCHS-HANUSCH, D. An Integrated Decision-Making Framework to Appraise Water Losses in Municipal Water Systems. **International Journal of Information Technology & Decision Making**, v. 19, n. 5, p. 1293-1326, ago. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1142/S0219622020500297>. Disponível em: <https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S0219622020500297>. Acesso em: 26 out. 2025.

ZAVADSKAS, E. K.; KAKLAUSKAS, A.; ŠARKA, V. The new method of multicriteria complex proportional assessment of projects. **Technological and Economic Development of Economy**, v. 1, n. 3, p. 131-139, 1994. Disponível em: <https://cris.vilniustech.lt/cris/entities/publication/ebea2e97-56be-4e0a-9b76-9b09c0e8c859>. Acesso em: 05 nov. 2025.

Informações complementares

Descrição		Declaração
Financiamento		Não se aplica.
Aprovação ética		Não se aplica.
Conflito de interesses		Não há.
Disponibilidade dos dados de pesquisa subjacentes		Este trabalho não é um <i>preprint</i> e os conteúdos subjacentes ao texto da pesquisa estão contidos neste artigo.
Uso de Inteligência Artificial		Sim. A plataforma <i>Dimensions</i> (IA) foi utilizada para suporte à busca bibliográfica.
CrediT	Júlia Meireles Teixeira	Funções: curadoria de dados; análise formal; investigação; metodologia; escrita – rascunho original.

	Marcela Leão Domiciano	Funções: conceitualização; escrita – rascunho original.
	Eva Carolline Martins Oliveira	Funções: conceitualização; escrita – rascunho original.
	Thomas Leonardo Marques de Castro Leal	Funções: conceitualização; curadoria de dados; análise formal; investigação; metodologia; supervisão; escrita – rascunho original.

Avaliadores: Dr. Jeferson Gabriel da Encarnação Coutinho* (Instituto Federal da Bahia, Bahia, Brasil) e Dr. Ângelo Rodrigues de Carvalho** (Instituto Federal do Pará, Pará, Brasil).

Revisora do texto em português: Poliana Alves Brito.

Revisora do texto em inglês: Poliana Alves Brito.

Revisora do texto em espanhol: Graziani França Claudino de Anicézio.

Como citar (ABNT):

EIXEIRA, Júlia Meireles; DOMICIANO, Marcela Leão; OLIVEIRA, Eva Carolline Martins; LEAL, Thomas Leonardo Marques de Castro. Aplicações de métodos multicritério no apoio à tomada de decisão em redes de distribuição de água: uma revisão sistemática. **Revista Sítio Novo**, Palmas, v. 10, p. e2095, 2026. DOI: 10.47236/2594-7036.2026.v10.2095.

Disponível em: <https://sitionovo.ifto.edu.br/index.php/sitionovo/article/view/2095>.

* Optou pela avaliação aberta e autorizou a divulgação da identidade no trabalho publicado e do parecer na página da Revista.

** Optou pela avaliação aberta e autorizou somente a divulgação da identidade como avaliador no trabalho publicado.