57º SBPO
SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL
Gramado • RS
DE 5 A 9 DE OUTUBRO DE 2025

PRIORIZAÇÃO DE CIDADES PARA O ABASTECIMENTO DE ÁGUA: UMA ABORDAGEM MULTICRITERIO POR MEIO DO MÉTODO FITRADEOFF

Anny Carolyny Barbosa Santos da Silva
MAPS - Modelling and Alignment of Portfolio and Strategy
Universidade Federal de Pernambuco. Cx Postal: 95, CEP: 55.002-970, Caruaru-PE, Brasil
annycarolynybss@gmail.com

Maria Letícia Alves de Oliveira Silva
MAPS - Modelling and Alignment of Portfolio and Strategy
Universidade Federal de Pernambuco. Cx Postal: 95, CEP: 55.002-970, Caruaru-PE, Brasil
marileticiaaos@hotmail.com

Níssia Carvalho Rosa Bergiante
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção
Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói 24210-240, Brasil
nissiabergiante@id.uff.br

Jônatas Araújo de Almeida
MAPS - Modelling and Alignment of Portfolio and Strategy
Universidade Federal de Pernambuco. Cx Postal: 95, CEP: 55.002-970, Caruaru-PE, Brasil
jonatasaa@yahoo.com.br

RESUMO

Considerada um dos recursos mais importantes para a manutenção da vida, a água é um bem natural limitado e que deve ser utilizado para atender à muitas demandas simultâneas, dentre elas, o consumo humano. Sendo assim, esse estudo busca desenvolver um modelo multicritério para a priorização de cidades, em uma região do interior do Nordeste que tem enfrentado o desafio de escassez de água, para o recebimento dos recursos hídricos ainda disponíveis em um dos reservatórios. Para isto, oito cidades foram analisadas com base nos critérios "Perda na distribuição", "Consumo", "PIB per capita" e "Nível de pobreza", através do método FITradeoff. Os resultados permitiram uma ordenação completa, com alto nível de robustez e pouca mudança em suas colocações, após a realização da análise de sensibilidade. Além disso, o presente modelo pode ser útil para apoiar políticas públicas na gestão hídrica no planejamento da distribuição, diante da situação de escassez.

PALAVRAS CHAVE. MDCA. FITradeoff. Recursos hídricos.
Tópicos SE-FITradeoff – Sessão Especial de Desenvolvimentos Metodológicos e Aplicações no Método Multicritério FITradeoff

ABSTRACT

Water is considered one of the most important resources for the maintenance of life. However, it is a limited natural good and must be used to meet many simultaneous demands, among them, human consumption. Thus, this study seeks to develop a multicriteria model for the prioritization of cities in an interior region of the Northeast that has faced the challenge of water scarcity, to receive the water resources still available in one of the reservoirs. For this, eight cities were analyzed based on the criteria "Loss in distribution", "Consumption", "PIB per capita" and "Level of poverty", through the FITradeoff method. The results allowed complete sorting, with a high level of robustness and little change in their placements, after performing the sensitivity analysis. In addition, the present model can be useful to support public policies on water management in distribution planning, given the scarcity situation.

KEYWORDS. MDCA, FITradeoff, Water Resources.
Paper topics SE-FITradeoff - Special Session on Methodological Developments and Applications in the FITradeoff Multicriteria Method

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212480
https://proceedings.science/p/212480?lang=pt-br

1. Introdução

A água é um bem essencial para a vida, uma vez que ela, diretamente e indiretamente, é usada para o consumo humano. Ela também foi fundamental para o desenvolvimento e continuidade da espécie humana, já que as primeiras civilizações surgiram às margens de rios, por serem áreas férteis para a agricultura.

Não obstante, a água é considerada um valioso recurso, visto que, diversos setores, como o de energia, o alimentício e o de produção de bens materiais precisam dela para garantir sua estabilidade e continuidade [Dias et al. 2025]. Assim, sua importância é reforçada pela inclusão do tema nos Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável (ODS), propostos pela Organização das Nações Unidas (ONU), em 2015. Dentre os que estão diretamente associados aos recursos hídricos, destacam-se a garantia de disponibilidade e gestão sustentável da água e a implementação de um saneamento para todos [Brasil, O.N.U & Mundo 2016].

Entretanto, assegurar esses objetivos se mostrou uma árdua tarefa, devido a atual pressão existente sob os recursos hídricos. Nessa perspectiva, o crescimento populacional e aumento do consumo, atrelado a mudanças climáticas e a outros fatores, corroboraram para essa dificuldade [de Loe et al. 2017]. Observa-se, então, um cenário de crise hídrica, ao redor do mundo, em que os recursos hídricos existentes não são suficientes para suprir a demanda global.

Consequentemente, faz-se necessário a proposição de políticas públicas e medidas, que lidem com essa perspectiva de crise, guiando as ações das companhias responsáveis pela alocação e distribuição de água [Somlyódy et al. 2006]. Isto é importante porque estas empresas se deparam com inúmeras dificuldades para a elaborar uma melhor alocação dos recursos hídricos, uma vez que esse problema está relacionado a diversos objetivos conflitantes entre si.

A destinação dos recursos hídricos leva em consideração a meta de atender o maior número de pessoas possível, porém, fatores como o custo de distribuição, a perda de água ao longo desse processo e a quantidade de água disponível são cruciais para estabelecer quais regiões devem ser consideradas como prioridade para o abastecimento [Thavamony et al. 2024]. Isto posto, o presente estudo propõe a construção de um modelo de problema de decisão multicritério, com apoio do método FITradeoff de ordenação [Frej et al. 2019], para realizar a priorização de cidades para receberem o abastecimento hídrico em uma situação de crise.

O artigo está estruturado em outras cinco seções, além desta de caráter introdutório: referencial teórico, em que são discutidos os conceitos de gestão dos recursos hídricos e decisão multicritério; a descrição do modelo, que explica a metodologia utilizada para a resolução do problema; a aplicação do modelo, em si; a discussão dos resultados, que discute os resultados obtidos; e as considerações finais, que sintetiza o presente estudo.

2. Referencial teórico

2.1. Gestão dos Recursos Hídricos

O gerenciamento hídrico, no Brasil, tem como pilar a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) - Lei nº 9.433/1997, que apresenta, dentre os seus objetivos assegurar, à atual e às futuras gerações, a necessária disponibilidade de água em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos. Ademais, ela se baseia em fundamentos [Brasil 1997], como:

- A água é um bem de domínio público;
- A água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
- Em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;
- A gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;
- A gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

Assim, para a definição de diretrizes norteadoras para a implementação da Política Nacional dos Recursos Hídricos, bem como os programas e as metas, alinhados aos objetivos dessa política, foi criado o Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) [MDR 2022].

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212480
https://proceedings.science/p/212480?lang=pt-br

Para além da esfera nacional, os Planos de Recursos Hídricos também podem ser estabelecidos a nível de bacia hidrográfica e a nível estadual e distrital, comtemplando diversos setores públicos e privados [ANA 2012]. No que condiz a organização e prestação dos serviços de abastecimento de água, o Brasil adota diferentes modelos, delegando essa função aos municípios, que podem prestar o serviço diretamente ou por meio de empresas e autarquias municipais, ou a companhias estaduais e empresas privadas [ANA 2021].

Ainda, no que se refere ao abastecimento hídrico, as organizações responsáveis por ele, por muitas vezes, lidam com um complexo cenário, uma vez que se faz necessário uma distribuição eficiente, que garanta a segurança hídrica e qualidade da água, evitando perdas e reduzindo custos. Além disso, também se torna necessário realizar uma gestão sustentável dos mananciais existentes, controlando a captação de água e possibilitando o reuso dela.

2.2. Decisão multicritério

Um problema de decisão multicritério pode ser definido como uma situação, que possui mais de uma alternativa como possível solução e está relacionado a múltiplos objetivos, que podem ser conflitantes entre si [de Almeida et al. 2015].

Ainda, participam do processo decisório alguns atores [Roy 1996], como:

- Decisor: figura responsável pela tomada de decisão
- *Stakeholders*: tentam influenciar o decisor, através de algum tipo de pressão, já que geralmente são afetados pela decisão tomada.
- Analista: dará apoio metodológico para a construção do modelo multicritério.
- Especialista: possui informações factuais sobre o problema.

Para mais, a metodologia multicritério pode ser utilizadas em diversas áreas, já que ela abrange setores que lidam com problemas de decisão complexos, assim como a esfera hídrica. Assim, observa-se na literatura, que a metodologia multicritério foi usada em problemas como o de encontrar a melhor solução híbrida de abastecimento de água para um sistema hidrelétrico bombeado (PSH) multifuncional [Tavares et al. 2024]. Adicionalmente, apresenta-se que essas metodologias também foram aplicadas para identificar e priorizar as barreiras que impedem o progresso do ODS14, o qual está relacionada a conservação dos oceanos e mares, no Brasil [Moretti et al. 2024].

Além disso, também pode ser encontrado estudos como o de [Marques et al. 2015], que propôs uma análise de decisão multicritério para a ordenação de *designs* de reforço do projeto de redes de distribuição de água. No mais, diversos atores estavam envolvidos nessa pesquisa, como empresas de água, governos, ambientalistas, consumidores e instituições financeiras, e considerando critérios como o de déficit de pressão máximo, a emissão de carbono, entre outros.

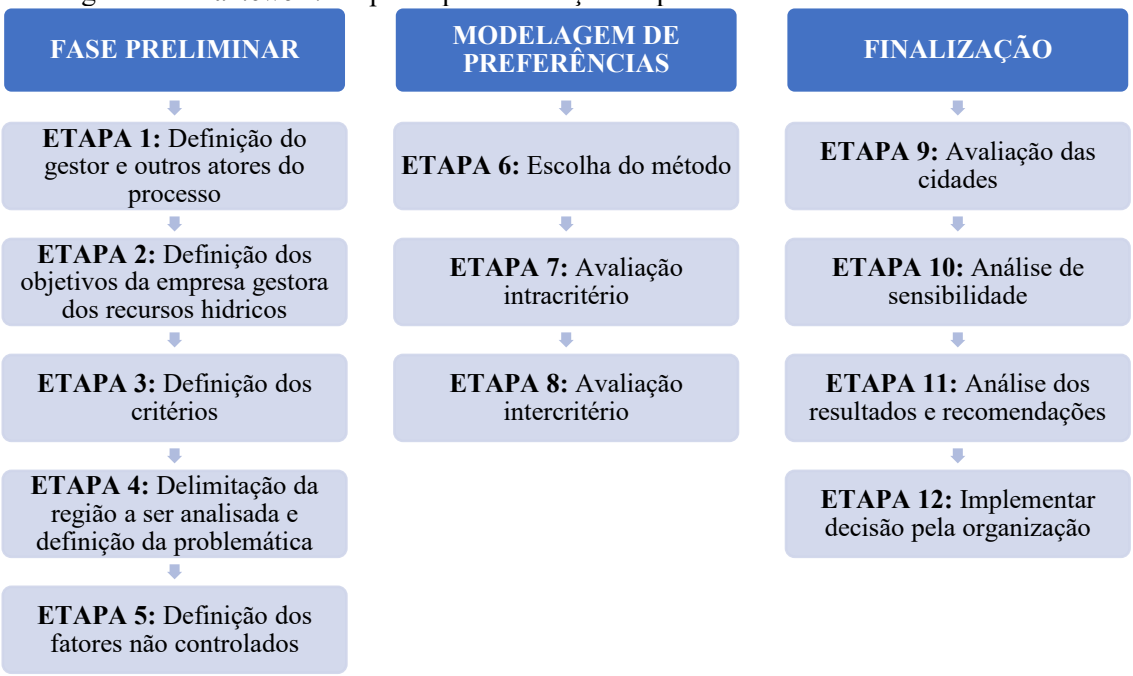
Aborda-se ainda o estudo de [Monte & Morais, 2019] que utilizou o *FITradeoff*, método multicritério, associado a abordagem *Value-Focused Thinking*, pertencente aos métodos de estruturação de problemas, para a solucionar uma dificuldade do sistema de abastecimento hídrico de uma cidade de Pernambuco.

3. Construção do modelo

Composto por três fases e doze etapas, o *framework* desenvolvido por [de Almeida et al. 2015], para a resolução do problema de decisão, foi utilizado como base para desenvolver o modelo multicritério do presente estudo. A Figura 1 apresenta a adaptação utilizada nesta pesquisa.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212480
https://proceedings.science/p/212480?lang=pt-br

Figura 1 – *Framework* adaptado para resolução do problema de decisão multicritério.



Fonte: Adaptado de [de Almeida et al. 2015]

O modelo inicia-se pela "Fase preliminar", voltada para a estruturação dos elementos básicos, mas que são essenciais e influenciam diretamente nos resultados. Na Etapa 1, são determinados o gestor responsável pelos recursos hídricos em estudo e os demais atores envolvidos no processo de tomada de decisão.

Sequencialmente, na Etapa 2, identificam-se os objetivos do decisor, que são o foco de interesse para a resolução do problema, e que, na Etapa 3, tornam-se os critérios do modelo. Destaca-se, que indicadores devem ser determinados para quantificar o grau de desempenho dos critérios em cada objetivo.

Posteriormente, na Etapa 4, ocorre a definição das alternativas e o tipo de problemática, que, neste estudo, será de ordenação, uma vez que o decisor buscava uma priorização entre as cidades, as quais devem receber os recursos hídricos disponíveis. Nesse sentido, finaliza-se essa fase com a Etapa 5, na qual é feita a identificação dos fatores não controlados, que, nesse modelo, não foram considerados por fins de simplificação.

Segue-se, então, para a "Modelagem de preferências". Na Etapa 6, é estabelecida a racionalidade do decisor, ou seja, se ele considera haver compensação ou não entre os critérios, que, para este estudo, foi observada como compensatória [Keeney & Raiffa, 1976]. No mais, compreendeu-se que o decisor possuía informações parciais sobre o problema e buscava uma ordenação entre as cidades. Assim, devido a essas características foi possível estabelecer que o método utilizado seria o FITradeoff de ordenação, proposto por [Frej et al. 2019].

Ademais, destaca-se que esse método também foi escolhido por permitir maior interação com o decisor, apresentar uma elicitação flexível e permite a realização de uma análise de sensibilidade que testa a robustez dos resultados. Além disso, ele apresenta um Sistema de Apoio à Decisão (SAD) - *The FITradeoff Decision Support System* [De Almeida et al., 2021], disponibilizado *on-line* (*www.fitradeoff.org*) e gratuitamente, facilitando o processo decisório.

Dando continuidade ao modelo, na Etapa 7, acontece a avaliação intracritério, na qual, o FITradeoff permite a declaração de função linear e não linear. Entretanto, destaca-se que o decisor avalizou que suas preferencias davam-se de forma linear para todos os critérios.

Em seguida, na Etapa 8, têm-se a avaliação intercritério na qual os critérios são analisados, a fim de determinar a ordem e os valores máximos e mínimos das constantes de escala dos critérios.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212480
https://proceedings.science/p/212480?lang=pt-br

Em seguida, parte-se para a Etapa 9, na Fase de "Finalização", em que as alternativas que são avaliadas. Destaca-se que, o FITradeoff permite que a cada ciclo de avaliação, o decisor escolha entre dois paradigmas para seguir: (1) Elicitação por Decomposição, em que o desempenho dos critérios é comparado em pares de consequências, ou (2) Avaliação Holística, com o estabelecimento de uma relação de preferência estrita entre as alternativas [de Almeida et al., 2016; de Almeida et al., 2021].

No mais, é fundamental abordar que essas duas etapas ocorrem simultaneamente, pois, à medida que o decisor responde mais perguntas, mais restrições são obtidas, fazendo com que o espaço viável para os valores das constantes de escala seja alterado [Frej et al.2019]. Esse procedimento ocorre através do modelo de Problema de Programação Linear (PPL), apresentado na Equação 1, com a função objetivo, e nas Equações 2,3,4, 5, 6 e 7, com as suas restrições [Frej et al., 2019].

Sendo assim, o w_j representa os pesos de cada critério j, m é o número total de critérios; v_j é a função valor, obtida pelo processo de normalização. Desta forma, A_i é a alternativa que será comparada com a alternativa A_k.

$$max\ D(A_i, A_k) = \sum_{j=1}^{m} w_j v_j(A_i) - \sum_{j=1}^{m} w_j v_j(A_k) \quad (1)$$

Sujeito a:

$$w_1 > w_2 > \cdots > w_m \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^{m} w_j = 1 \quad (3)$$

$$w_j v_j(x_j') > w_{j+1} \quad j = 1\ to\ m-1 \quad (4)$$

$$w_j v_j(x_j'') < w_{j+1} \quad j = 1\ to\ m-1 \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^{m} w_j v_j(A_i) > \sum_{j=1}^{m} w_j v_j(A_k) \quad (6)$$

$$w_j \geq 0, \forall\ j = 1, \ldots, m \quad (7)$$

Nesse sentido, na Equação 1, analisa-se a diferença entre as alternativas, que será utilizada para verificar se há relação de preferência estabelecida. A Equação 2 representa a ordenação dos critérios, conforme suas constantes de escala, em que o valor do somatório deles deve ser igual a 1 (Equação 3). As Equações 4 e 5 abordam as restrições obtidas com a elicitação por decomposição e a Equação 6 com a Avaliação holística. Além disso, cada valor das constantes deve ser maior ou igual a 0 (Equação 7).

A Etapa 9 deve ser encerrada quando o decisor encontrar-se satisfeito com a ordenação encontradas das cidades. Destaca-se que o processo pode ser interrompido conforme o decisor desejar, podendo ter chegado a uma ordenação parcial ou total [de Almeida et al, 2021].

Concluindo esta fase, na Etapa 10 é realizada a análise de sensibilidade, para verificar a robustez da solução do modelo, visto que, os dados de entrada podem apresentar imprecisão na sua inferência. Por fim, são realizadas as análises dos resultados e as recomendações ao decisor (Etapa 11), que, deve realizar a implementação (Etapa 12) em tempo hábil para o modelo não se torne obsoleto e, assim, haja a necessidade de uma nova aplicação [de Almeida et al, 2015].

4. Aplicação do modelo

O presente modelo foi aplicado em uma organização responsável pela distribuição hídrica de algumas cidades da região Nordeste no Brasil. Na Etapa 1, determinou-se o gestor responsável

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212480
https://proceedings.science/p/212480?lang=pt-br

pela distribuição de água da região como Decisor, de modo que ele estabeleceu suas preferencias diante da situação problemática. Ademais, por ele apresentar os conhecimentos específicos necessários, o decisor também atuou como especialista neste modelo. Os presentes autores exerceram o papel de analistas e os clientes da organização foram definidos como os *stakeholders*, pois exercem influência sobre a decisão por meio de reclamações, elogios e críticas ao atendimento, fornecidos à empresa. Assim como o Estado, que regulando as operações por meio da lei, também acaba exercendo esse papal no presente modelo.

Sequencialmente, na Etapa 2, identificou-se os objetivos do decisor e construiu-se os critérios, na Etapa 3, conforme pode-se observar na Tabela 1.

Tabela 1 – Relação entre os objetivos e os critérios

Objetivos – Etapa 2	**Critérios – Etapa 3**
Priorizar as cidades que tivessem uma menor perda total de água durante a distribuição.	**Perda na distribuição:** percentual (%) de água perdida durante o processo de distribuição e é um critério quantitativo de minimização.
Preferia as cidades que tivessem menor consumo médio per capita.	**Consumo:** é o consumo médio total, diário, por habitantes (l/hab/dia). É um critério quantitativo de minimização.
As cidades que tivessem os menores PIB per capita, por serem constituídas de indivíduos que menos contribuem para a produção de bens e serviços em que habitam, deveriam ser colocadas em primeiro plano.	**PIB per capita:** Produto Interno Bruto per capita de cada município (R$) é um indicador que mensura o valor médio do que é produzido por cada habitante da região. É um critério quantitativo de minimização.
Contemplar, preferivelmente, as cidades que apresentam maiores percentuais de habitantes integrantes de famílias em situação de pobreza, ou seja, com renda familiar per capita mensal até R$ 218,00.	**Nível de pobreza:** percentual de pessoas que vivem em situação de pobreza, sendo este um critério de quantitativo de maximização.

Fonte: Os autores [2025]

Esses últimos objetivos ocorrem em virtude do decisor buscar atender as cidades que apresentam maior concentração de indivíduos vulneráveis, ou seja, aqueles que se encontram em situações de vida mais difíceis e com menos chance de adquirir água de outra maneira.

Destaca-se que critérios como níveis dos reservatórios, qualidade das águas, custos com manutenção, faturamento e despesas totais da organização, dentre outros, não foram englobados por serem informações confidenciais da organização e não compuseram o escopo apresentado pelo decisor. Além disso, no Nordeste existe uma operação intitulada de “carro-pipa”, desenvolvida pelo exército brasileiro, que visa a distribuição de água potável para a população que se encontra em situação de seca ou similar. Essa iniciativa reduz a gravidade de alguns municípios em relação aos que não são atendidos por essa operação. Contudo, essa variável também não foi considerada no modelo pois na perspectiva do decisor essas variáveis apresentam baixa influência no escopo das cidades atendidas, bem como, a quantidade de habitantes e a criação de animais que existe em cada cidade. Nesse sentido, pontua-se que estes critérios podem compor estudos futuros.

Sendo assim, o presente modelo considerou os indicadores de domínio públicos, adquiridos por meio do Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SINISA) [SINISA, 2024] e pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) [IBGE, 2023], conforme preferência e orientação do decisor, que também atuou como especialista.

Dessa forma, com todos os dados definidos, foi possível, na Etapa 4, mensurar o desempenho de cada alternativa para cada critério, conforme a matriz de consequências observada na Tabela 2.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212480
https://proceedings.science/p/212480?lang=pt-br

Tabela 2 – Matriz de consequências

Alternativas	Perda na distribuição	Consumo	PIB per capita	Nível de pobreza
C1	44,43	97,28	7052,53	66
C2	6,04	141,02	8407,94	71
C3	70,86	145,37	7217,62	56
C4	4,82	113,07	8545	65
C5	23,71	116,88	13831,85	43
C6	49,54	125,07	16237,1	51
C7	4,98	125,66	9187,16	47
C8	12,71	103	9840,59	62

Fonte: Os autores [2025]

Posteriormente, na Etapa 5, percebeu-se que fatores como uso inadequado das águas e seus desperdícios não podem ser controlados pela organização. Contudo, eles não foram considerados nesse modelo, por fins de simplificação.

Sequencialmente, a aplicação foi conduzida para a Etapa 6, que utilizou o método FITradeoff de ordenação, em virtude da racionalidade compensatória do decisor, a sua dificuldade em ponderar as constantes de escala dos critérios e a problemática ser de ordenação.

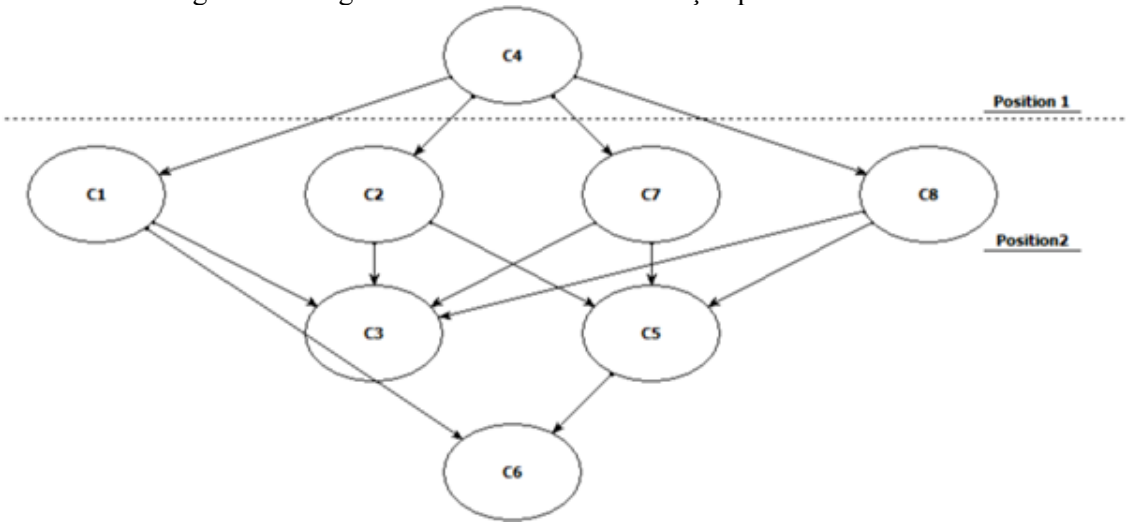
Na Etapa 7, utilizou-se o SAD do FITradeoff de ordenação para realizar a avaliação intracritério, na qual definiu-se a função linear para todos os critérios, devido a sua aderência as preferências do decisor. Já na Etapa 8, ocorreu a avaliação intercritério, na qual, foi possível, inicialmente, determinar a ordem de impacto dos critérios, por meio da elicitação do sistema. Sendo assim, a sequência encontrada para as constantes de escala dos critérios foi: “Perda na distribuição” > “PIB per capita” > “Nível de pobreza” > “Consumo”.

Com essas informações, realizou-se a avaliação das cidades, na Etapa 9, a fim de encontrar sua ordenação e os valores finais das constantes de escala, visto que, esse procedimento infere em mudanças no intervalo das constantes dos critérios. A continuação dessa etapa será detalhada na próxima seção.

5. Discussão dos resultados

Após a ordenação das constantes de escala dos critérios, foi possível obter uma ordenação parcial nas cidades, em virtude da elicitação flexível e interativa do método FITradeoff. Sendo assim, o Sistema de apoio a decisão disponibilizou o Diagrama de Hasse, exposto na Figura 2.

Figura 2 – Diagrama de Hasse com a ordenação parcial das cidades



Fonte: Os autores [2025]

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212480
https://proceedings.science/p/212480?lang=pt-br

Diante do exposto na Figura 2, foi possível compreender que existiam muitas relações de preferencias ainda não definidas. Contudo, caso a problemática fosse de escolha, a única alternativa potencialmente ótima, seria a Cidade 4, pois apenas ela ficou em um nível acima das demais.

Sequencialmente, as cidades foram avaliadas por meio do procedimento de Elicitação por Decomposição. Destaca-se que o decisor preferiu essa opção e não quis realizar nenhuma Avaliação Holística. Sendo assim, ocorreram 8 ciclos conforme demonstrado na Tabela 2.

Tabela 3 – Síntese dos ciclos do FITradeoff

Ciclos	Consequência A	Consequência B	Resposta	Nº de níveis
0	Ordenação dos critérios			2
1	Perda na distribuição (38)	Nível de pobreza (71)	A	2
2	Perda na distribuição (38)	PIB per capita (7,1K)	A	3
3	PIB per capita (11,6K)	Nível de pobreza (71)	A	4
4	Perda na distribuição (54)	PIB per capita (7,1K)	A	6
5	PIB per capita (13,9K)	Nível de pobreza (71)	B	6
6	Perda na distribuição (63)	PIB per capita (7,1K)	A	7
7	PIB per capita (12,8K)	Nível de pobreza (71)	B	7
8	Perda na distribuição (67)	PIB per capita (7,1K)	A	8

Fonte: Os autores [2025]

A partir disso, pode-se compreender que até o 3° nível, o quantitativo de níveis havia dobrado. Entretanto, foram necessários oito ciclos para que todas as relações de preferência fossem estabelecidas e assim, cada uma das oito cidades assumisse uma posição diferente na ordenação final. Dessa forma, a Figura 3 apresenta o Diagrama de Hasse final.

Figura 3 - Diagrama de Hasse Final



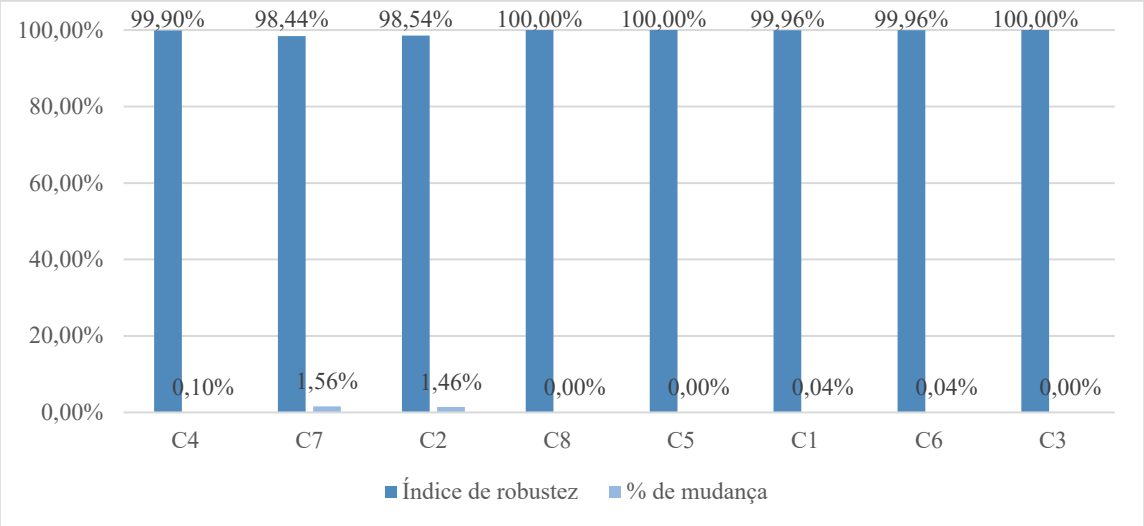
Fonte: Os autores [2025]

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212480
https://proceedings.science/p/212480?lang=pt-br

Além disso, o SAD fornece ainda os valores máximo e mínimos possíveis para as constantes de escala. Diante de contexto, pode-se compreender que o critério "Perda na distribuição" apresenta o maior intervalo de variação da sua constante de escala, como também o maior impacto na avaliação das alternativas. Sequencialmente, apresenta-se o critério "PIB per capita" assumindo a segunda posição na ordenação de preferência entre eles.

Posteriormente, na Etapa 10, ocorreu a análise de sensibilidade com o intuito de compreender o impacto que mudanças nos dados de entrada dos critérios que possuem incerteza em sua inferência podem ter impacto sobre o resultado do modelo. Dessa forma, variou-se os critérios "Perda na distribuição" e "Consumo" em ±10% e "Nível de pobreza" e "PIB per capita" em ±20%, para 1.000 casos diferentes. Diante disto, os resultados encontram-se no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Resultados da análise de Sensibilidade



Fonte: Os autores [2025]

Por meio do Gráfico 1, pode-se compreender que o resultado obtido apresentou muita robustez, visto que todas as alternativas permaneceram na mesma posição em mais de 98% dos casos. Além disso, as cidades com possibilidade de mudança em suas posições apresentaram um percentual muito baixo, de forma que não possuem grande interferência na robustez da solução obtida pelo modelo.

No mais, vale destacar que a "C4" sofreu uma variação muito pequena, isso ocorreu em virtude do seu valor ser muito próximo ao da "C7" no critério "Perda na distribuição", o qual apresenta maior impacto na ordenação das alternativas. Em adição, observa-se que "C4" também apresenta boas colocações, quando se analisa os demais critérios de forma isolada.

Por sua vez, "C7" e "C2" apresentam bons desempenhos no critério "perda na distribuição", contudo, "C2" apresenta um valor mais distante de "C4, fazendo-o ser menos preferível que o "C7", mesmo que no critério "PIB per capita" seu desempenho seja mais satisfatório.

Ademais, "C8" e "C5" sempre ocuparam as posições centrais quando se analisa cada critério de forma isolada. Entretanto, o "C8" ainda apresenta melhores resultados e, para o critério "Consumo", ele apresenta o segundo melhor desempenho. Todavia, como esse critério é o último na ordenação das constates de escala, isso não causa fortes impactos na sua colocação entre as cidades.

Quando se analisa "C1", pode-se compreender que essa cidade apresenta o melhor desempenho nos critérios "PIB per capita" e "Consumo" e o segundo melhor para "Nível de pobreza" o que poderia fazê-la ser umas das primeiras colocadas na ordenação final. Contudo, o

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212480
https://proceedings.science/p/212480?lang=pt-br

seu péssimo desempenho para o critério "Perda na distribuição" a faz ficar entre as últimas. Porém, observa-se que esse fator ainda faz essa alternativa ter uma pequena variação na mudança de posição na ordenação, devido ao fato da "C6" ter um desempenho muito próxima dela para o primeiro critério.

Já "C3" possui o prior desempenho para "Perda na distribuição" com uma discrepância muito grande para com as demais. Assim, a variação em seus dados de entrada não é suficiente para fazê-los ocupar melhores colocações entre as demais cidades, por isso permaneceu na última colocação em todos os casos.

Dessa forma, na Etapa 11, recomendamos ao decisor seguir a ordenação encontrada para realizar o abastecimento prioritário nas cidades, conforme a ordenação encontrada. Por fim, na Etapa 12, cabe ao decisor implantar a ordem encontrada em tempo oportuno e realizar outras análises quando o contexto da decisão mudar e o presente modelo torna-se obsoleto.

6. Considerações finais

A água desempenha um papel estratégico no funcionamento das sociedades modernas, pois sua disponibilidade influencia diretamente setores essenciais à vida e ao desenvolvimento. Nesse contexto, analisa-se que, ainda que existam diretrizes globais – como a Agenda 2030 da ONU – voltadas à promoção do uso sustentável dos recursos naturais, observa-se um agravamento na pressão sobre os mananciais hídricos. Assim, observa-se que essa situação problemática é impulsionada pelo crescimento acelerado das populações e pela expansão urbana. Esse cenário tem contribuído para o surgimento de crises, em que a oferta de água se mostra insuficiente frente à crescente demanda.

Assim, para mitigar essa perspectiva de crise, as organizações responsáveis pelo gerenciamento e abastecimento hídrico devem adotar medidas estratégicas de distribuição de água, visando atender o maior número de pessoas possível. Porém, a priorização de abastecimento pode levar em consideração outros objetivos, como atender a demanda de uma população mais vulnerável, abastecer regiões que não possuam grandes perdas de volume de água e custos de operação.

Isto posto, o presente artigo propôs a construção de um modelo de decisão multicritério, o qual utilizou o método FITradeoff de ordenação, para realizar a priorização de cidades para o abastecimento hídrico. No problema, oito cidades foram avaliadas por meio dos critérios "Perda na distribuição", "Consumo de água", "PIB per capita" e "Nível de pobreza", e, com isso, obteve-se como solução que a "C4" deve ser a primeira priorizada, enquanto a "C3" deve ser a última. Ainda, uma análise de sensibilidade foi realizada e os resultados mostraram uma robustez mínima de 98,44%, com relação a ordenação inicial.

Para trabalhos futuros, propõe-se o desenvolvimento de um estudo que adapte o modelo multicritério apresentado nesse artigo, a fim de auxiliar outras organizações que lidam com gestão hídrica. Portanto, podem ser consideradas redes de abastecimento que contemplem mais cidades, realizando sua análise em outros critérios, como custo de operação, que mede o valor gasto pela empresa para realizar o abastecimento para determinada cidade e a qualidade da água que chega em cada município.

7. Agradecimentos

Esse trabalho foi parcialmente apoiado pela CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico).

Referências

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). (2012). Plano de recursos hídricos e enquadramento dos corpos de água (Cadernos de Capacitação em Recursos Hídricos, v. 5). Ministério do Meio Ambiente. https://www.cbhdoce.org.br/wp-

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212480
https://proceedings.science/p/212480?lang=pt-br

content/uploads/2015/01/CadernosDeCapacitacao5_-Plano_comite-editoracao.pdf. Acessado: 2025-04-28

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. (2021). Atlas águas: segurança hídrica do abastecimento urbano (2ª ed.). Brasília: ANA. https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2022/08/ANA-ATLAS-Aguas-AbastecimentoUrbano2021-compressed.pdf. Acessado: 2025-04-28

BRASIL, L. (1997). Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art, 21.

Brasil, O. N. U., & Mundo, T. N. (2016). A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, ONU, 2015. PNUD–BRASIL. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento-PNUD Brasil.

de Almeida, A. T., Cavalcante, C. A. V., Alencar, M. H., Ferreira, R. J. P., de Almeida-Filho, A. T., & Garcez, T. V. (2015). *Multicriteria and multiobjective models for risk, reliability and maintenance decision analysis* (Vol. 231). Cham, Switzerland: Springer International Publishing.

de Almeida, A. T., de Almeida, J. A., Costa, A. P. C. S., & de Almeida-Filho, A. T. (2016). A new method for elicitation of criteria weights in additive models: Flexible and interactive tradeoff. European Journal of Operational Research, 250(1), 179-191.

de Almeida, A. T.; Frej, E. A.; Almeida, J. A.; Ribeiro, M. L. S.; Roselli, L. R. P.; Vieira, M. J. L.; Borba, L. B.; Santo, P. P. P. E. FITradeoff-Web. 2021. Programa de Computador. Número do registro: BR512021001368-9, data de registro: 29/06/2021, título: “FITradeoff-Web”, Instituição de registro: INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

de Almeida, A. T., Frej, E. A., & Roselli, L. R. P. (2021). Combining holistic and decomposition paradigms in preference modeling with the flexibility of FITradeoff. Central European Journal of Operations Research, 29, 7-47.

de Loë, R. C., & Patterson, J. J. (2017). Rethinking water governance: Moving beyond water-centric perspectives in a connected and changing world. Natural Resources Journal, 57(1), 75-100.

Dias, I. Y. P., Lazaro, L. L. B., de Castro, M. P. B., Dagios, R. N., & Barros, V. G. (2025). Watersheds Governance Optimizing Water-Energy-Food Nexus Approach Across Water Users and Watershed Scales. Water Resources Management, 39(2), 705-723.

Frej, E. A., de Almeida, A. T., & Costa, A. P. C. S. (2019). Using data visualization for ranking alternatives with partial information and interactive tradeoff elicitation. *Operational Research*.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2023). Produto Interno Bruto dos Municípios – 2021. IBGE. https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9088-produto-interno-bruto-dos-municipios.html?t=pib-por-municipio&c=2616183. Acessado: 2025-04-20.

Marques, J., Cunha, M., & Savić, D. (2015). A multicriteria approach for a phased design of water distribution networks. Procedia Engineering, 119, 1231-1240.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212480
https://proceedings.science/p/212480?lang=pt-br

Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR). (2022). Plano Nacional de Recursos Hídricos 2022-2040: Volume II – Plano de ação: Estratégia para a implementação do PNRH 2022-2040. https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/plano-nacional-de-recursos-hidricos-1/pnrh_2022_para_baixar_e_imprimir.pdf. Acessado: 2025-04-28

MINISTÉRIO DAS CIDADES. (2025). Painel SINISA – Módulo Água. Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico. Recuperado de https://indicadores-sinisa-2025.cidades.gov.br/dashboard?modulo=agua. Acessado: 2025-04-20.

Moretti, V., Corraini, N. R., Melo, E. L., Scherer, M. E. G., & Colmenero, J. C. (2024). Progress towards the Sustainable Development Goal 14 (Life below water) in the context of Brazil: A multicriteria approach. Sustainable Futures, 8, 100410.

Monte, M. B. D. S., & Morais, D. C. (2019). A decision model for identifying and solving problems in an urban water supply system. Water Resources Management, 33(14), 4835-4848.

Roy, B. (1996). Multicriteria methodology for decision aiding (Vol. 12). Springer Science & Business Media.

Somlyódy, L., & Varis, O. (2006). Freshwater under pressure. International Review for Environmental Strategies, 6(2), 181-204.

Tavares, M., Pérez-Sánchez, M., Carravetta, A., Coronado-Hernández, O. E., López-Jiménez, P. A., & Ramos, H. M. (2024). Smart feasibility optimization of hybrid renewable water supply systems by digital twin technologies: A multicriteria approach applied to isolated cities. Sustainable Cities and Society, 115, 105834.

Thavamony, A. T., & Rajagopal, V. (2024). Selection of Suitable Pipe Material for New Water Distribution Network Using Analytic Hierarchy Process–A Case Study of Athivilai Village of India. KSCE Journal of Civil Engineering, 28(2), 532-545.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212480
https://proceedings.science/p/212480?lang=pt-br