

COMPLEMENTARIDADE ENTRE ÍNDICE DE EFETIVIDADE E COMPROMISE PROGRAMMING PARA GESTÃO INTEGRADA DAS ÁGUAS URBANAS

Michel Marques Monteiro¹; Taiane Regina Hoepers² & Daniel Costa dos Santos³

RESUMO – A tomada de decisão em sistemas de águas urbanas envolve múltiplos objetivos, como ampliação da cobertura dos serviços, redução de cargas poluentes, viabilidade econômica e adaptação a cenários futuros. Nesse contexto, este artigo compara a hierarquização de grupos de medidas de intervenção obtida pelo Índice de Efetividade da ferramenta *Urban Water Use* e pelo método *Compromise Programming*. A análise utilizou como base os resultados de uma aplicação do UWU ao sistema de saneamento de Nobres-MT, considerando indicadores de cobertura do sistema de abastecimento de água e do sistema de esgotamento sanitário, cargas de DBO, SST, nitrogênio total, fósforo total e custo do sistema de tratamento de esgoto. O CP foi aplicado com parâmetro p igual a 2, adotando a visão definida no UWU como solução ideal. Os resultados indicaram que o IE classificou o GM III como melhor alternativa, enquanto o CP apontou o GM V como o grupo mais próximo da solução ideal. Essa diferença evidencia que os métodos capturam dimensões distintas do desempenho das alternativas. Conclui-se que o CP pode complementar o IE, ampliando a interpretação dos resultados e explicitando *trade-offs* relevantes para a gestão integrada das águas urbanas.

Palavras-Chave – Índice de efetividade; Compromise programming; Gestão integrada das águas urbanas.

ABSTRACT – Decision-making in urban water systems involves multiple objectives, such as expanding service coverage, reducing pollutant loads, ensuring economic feasibility, and adapting to future scenarios. In this context, this paper compares the ranking of groups of intervention measures obtained through the Effectiveness Index of the Urban Water Use tool and the Compromise Programming method. The analysis was based on the results of a UWU application to the urban water system of Nobres-MT, considering indicators related to water supply system coverage, wastewater system coverage, BOD, TSS, total nitrogen and total phosphorus loads, and wastewater treatment system costs. CP was applied with parameter p equal to 2, adopting the vision defined in UWU as the ideal solution. The results indicated that the EI classified GM III as the best alternative, while CP identified GM V as the group closest to the ideal solution. This difference shows that the methods capture distinct dimensions of alternative performance. It is concluded that CP can complement the EI, broadening the interpretation of results and making explicit relevant trade-offs for integrated urban water management.

Key-words – Effectiveness index; Compromise programming; Integrated urban water management.

1) Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade Federal do Paraná. Centro Politécnico, Bloco V, Jardim das Américas, Curitiba, Paraná, Brasil. 81531-990. E-mail: michel.m@ufpr.br

2) Secretaria da Administração e da Previdência do Estado do Paraná. E-mail: taianehoepers@seap.pr.gov.br

3) Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade Federal do Paraná. E-mail: dcasantos.dhs@ufpr.br

INTRODUÇÃO

A gestão dos sistemas de águas urbanas envolve decisões que articulam múltiplos objetivos, como a ampliação da cobertura dos serviços, redução de cargas poluentes, preservação dos corpos hídricos, viabilidade econômica das intervenções e adaptação a cenários futuros (Behzadian *et al.*, 2014; Momeni *et al.*, 2021). Esses objetivos nem sempre são convergentes, uma vez que alternativas tecnicamente eficientes podem apresentar custos elevados, enquanto soluções economicamente mais favoráveis podem não alcançar o desempenho ambiental desejado (Mijic *et al.*, 2024; Hoepers *et al.*, 2024).

Além disso, os sistemas de águas urbanas são condicionados por incertezas climáticas, demográficas e territoriais, que podem alterar padrões de demanda por água, geração de esgoto, escoamento superficial e pressão sobre os corpos receptores (Hoepers *et al.*, 2024). Essa condição reforça o caráter complexo desses sistemas, nos quais intervenções em um componente, como abastecimento de água, esgotamento sanitário ou manejo de águas pluviais, podem produzir efeitos diretos e indiretos sobre os demais sistemas (Mijic *et al.*, 2024; Monteiro *et al.*, 2025).

Nesse contexto, a Gestão Integrada das Águas Urbanas (IUWM – *Integrated urban Water Management*) demanda abordagens capazes de apoiar a comparação entre alternativas considerando diferentes critérios de desempenho. A tomada de decisão não se limita à escolha da alternativa mais eficiente sob um único aspecto, mas envolve a interpretação de *trade-offs* entre objetivos técnicos, ambientais, sociais e econômicos (Hoepers *et al.*, 2024). A Análise de Decisão Multicritério (MCDA – *Multiple-Criteria Decision Analysis*) oferece suporte a esse processo ao permitir a organização, ponderação e comparação de indicadores de desempenho (Martin; Smith, 2025).

Essa transformação de resultados de modelagem em informações úteis à tomada de decisão torna-se especialmente relevante em contextos de incerteza profunda, nos quais os tomadores de decisão podem não dispor de consenso sobre probabilidades, condições futuras ou respostas dos sistemas analisados (Martin; Smith, 2025). Nesses casos, mais do que identificar uma alternativa ótima sob um cenário específico, torna-se necessário avaliar estratégias robustas, capazes de apresentar desempenho satisfatório em múltiplos cenários plausíveis (Behzadian *et al.*, 2014).

Entre as ferramentas voltadas a esse tipo de análise, destaca-se o *Urban Water Use* (UWU), desenvolvido para apoiar à tomada de decisão com base no planejamento estratégico a partir dos princípios da IUWM. A ferramenta permite simular grupos de medidas de intervenção sob diferentes cenários, considerando indicadores associados aos sistemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo de águas pluviais, qualidade da água dos rios urbanos, entre outros (Hoepers *et al.*, 2024; Ferreira *et al.*, 2024). A integração dos resultados é realizada por meio do Índice de Efetividade

(IE), que sintetiza o desempenho das alternativas em relação a uma visão de futuro previamente estabelecida (Hoepers *et al.*, 2024; Ferreira *et al.*, 2024).

Embora o IE permita sintetizar o desempenho dos grupos de medidas em relação à visão, sua aplicação enfatiza o atendimento ou não dos valores de referência estabelecidos. Com isso, alternativas que não atingem determinada meta podem receber interpretações semelhantes, ainda que apresentem diferentes graus de proximidade em relação ao valor desejado. Além disso, grupos de medidas com valores próximos de IE podem apresentar composições bastante distintas de desempenho entre indicadores. Essa condição evidencia uma lacuna analítica na interpretação dos resultados do UWU: a necessidade de métodos complementares capazes de avaliar a distância relativa das alternativas em relação a uma solução ideal e, assim, qualificar a hierarquização obtida pelo IE.

Nesse contexto, o *Compromise Programming* (CP) apresenta-se como uma abordagem multicritério complementar, pois permite avaliar o desempenho das alternativas a partir de sua distância em relação a uma solução ideal. Esse método possibilita mensurar o afastamento relativo de cada grupo de medidas em relação aos objetivos definidos (Behzadian *et al.*, 2014; Martin; Smith, 2025). Assim, sua aplicação aos resultados gerados pelo UWU pode contribuir para verificar a robustez da hierarquização obtida pelo IE e para explicitar *trade-offs* entre cobertura dos serviços, redução de cargas poluentes e custos de implantação, operação e manutenção.

Parte-se da hipótese de que o CP complementa o IE do UWU ao mensurar a distância dos grupos de medidas em relação à visão estabelecida, permitindo diferenciar alternativas com níveis semelhantes de atendimento às metas. Diante disso, este artigo tem como objetivo comparar a hierarquização de grupos de medidas de intervenção em sistemas de águas urbanas obtida pelo IE do UWU e pelo método CP, utilizando como base os resultados de uma aplicação da ferramenta UWU no município de Nobres-MT.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia foi estruturada a partir dos resultados previamente obtidos pela aplicação da ferramenta UWU ao sistema de saneamento de Nobres-MT (Monteiro *et al.*, 2024). Neste artigo, esses resultados foram utilizados como base para uma análise multicritério complementar, com o objetivo de comparar a hierarquização dos grupos de medidas obtida pelo IE com aquela resultante da aplicação do método CP.

Estudo de caso e resultados do UWU

O estudo utilizou como base os resultados gerados pela aplicação da ferramenta UWU ao sistema de saneamento do município de Nobres, estado do Mato Grosso. O município apresenta

relevância para a análise por reunir condições que demandam o planejamento integrado dos sistemas de águas urbanas, especialmente em razão da inexistência de sistema público de esgotamento sanitário e da necessidade de preservação da qualidade dos corpos hídricos, associada ao interesse local de ampliação do turismo ecológico (Monteiro *et al.*, 2024).

No estudo de caso base, Nobres apresentava população de 15.492 habitantes, com 83% da população residente na área urbana, atendimento integral pelo sistema de abastecimento de água e ausência de sistema de esgotamento sanitário, exceto por soluções em nível de lote (Nobres, 2017).

Os resultados obtidos para cada grupo de medidas para cada cenário foram utilizados, neste artigo, como matriz de desempenho para a aplicação do *Compromise Programming*. Dessa forma, o estudo de caso de Nobres-MT não foi retomado como uma nova aplicação da ferramenta UWU, mas como base empírica para uma análise complementar dos resultados já gerados.

Indicadores, grupos de medidas e cenários

A análise multicritério foi desenvolvida a partir dos indicadores de sustentabilidade utilizados na definição da visão do UWU. Esses indicadores representam diferentes dimensões dos sistemas de águas urbanas, abrangendo aspectos técnicos, sociais, ambientais e econômicos. Foram considerados os indicadores de cobertura do sistema de abastecimento de água, cobertura do sistema de esgotamento sanitário, carga de lançamento de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), carga de lançamento de Sólidos Suspensos Totais (SST), carga de lançamento de Nitrogênio Total (NT), carga de lançamento de Fósforo Total (PT) e custo total do sistema de tratamento de esgoto.

A Tabela 1 apresenta os indicadores, seus valores de referência e os pesos adotados na visão. Para a aplicação do CP, também foi indicado o tipo de objetivo associado a cada indicador, considerando-se como critérios de maximização os indicadores de cobertura e como critérios de minimização os indicadores de carga de poluentes e custo.

Tabela 1 – Indicadores, visão e pesos utilizados na análise multicritério

Indicador	Sigla	Tipo de objetivo	Visão	Peso
Cobertura do sistema de abastecimento de água	C _{SAA}	Maximização	100%	20%
Cobertura do sistema de esgotamento sanitário	C _{SES}	Maximização	90%	20%
Carga de lançamento de DBO	C _{DBO}	Minimização	59,79 t/ano	12,5%
Carga de lançamento de SST	C _{SST}	Minimização	448,44 t/ano	12,5%
Carga de lançamento de NT	C _{NT}	Minimização	163,59 t/ano	12,5%
Carga de lançamento de PT	C _{PT}	Minimização	0,27 t/ano	12,5%
Custo total do sistema de tratamento de esgotos	Custos	Minimização	R\$18.102.099,32	10%

As medidas consideradas foram: M1 – redução das perdas na rede de abastecimento para 40%; M2 – redução de 10% no consumo de água por meio de uso racional e educação ambiental; M3 – tratamento do escoamento superficial com *wetlands*; M4 – tratamento de esgoto por lagoa anaeróbia

seguida de lagoa facultativa; M5 – tratamento de esgoto por Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente (RAFA) seguido de lodos ativados; M6 – tratamento de esgoto por RAFA seguido de filtro biológico percolador de alta taxa; M7 – tratamento de esgoto por RAFA seguido de filtro anaeróbico; e M8 – tratamento de esgoto por RAFA seguido de flotação por ar dissolvido. Todas as alternativas de tratamento de esgoto foram consideradas com vazão de 23 L/s (Monteiro *et al.*, 2024).

O grupo de medidas GM 0 representa a condição de controle, sem implantação de medidas. Os demais grupos combinam as medidas M1, M2 e M3, diferenciando-se pela alternativa adotada para o tratamento de esgoto. Dessa forma, os grupos de medidas considerados na análise foram organizados conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Grupos de medidas considerados no estudo de caso

Grupo de medidas	Composição	Característica do tratamento de esgotos
GM 0	Grupo de controle	Sem tratamento
GM I	M1 + M2 + M3 + M4	Lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa
GM II	M1 + M2 + M3 + M5	Reator anaeróbico seguido de lodos ativados
GM III	M1 + M2 + M3 + M6	Reator anaeróbico seguido de filtro biológico percolador de alta taxa
GM IV	M1 + M2 + M3 + M7	Reator anaeróbico seguido de filtro anaeróbico
GM V	M1 + M2 + M3 + M8	Reator anaeróbico seguido de flotação por ar dissolvido

Fonte: Monteiro *et al.*, 2024

Os grupos de medidas foram avaliados em quatro cenários, definidos a partir da combinação entre dois fatores externos: taxa de crescimento populacional (λ_g) e temperatura média anual (T). O primeiro cenário considerou os valores atuais ($\lambda_g = 0,27\%$ a.a.; $T = 25,2^\circ\text{C}$) o segundo manteve a temperatura atual e adotou maior crescimento populacional ($\lambda_g = 0,75\%$ a.a.; $T = 25,2^\circ\text{C}$); o terceiro manteve a taxa de crescimento populacional atual e adotou aumento da temperatura ($\lambda_g = 0,27\%$ a.a.; $T = 26,2^\circ\text{C}$); e o quarto considerou simultaneamente o aumento da taxa de crescimento populacional e da temperatura média anual ($\lambda_g = 0,75\%$ a.a.; $T = 26,2^\circ\text{C}$) (Monteiro *et al.*, 2024).

Índice de Efetividade

O IE foi utilizado como método de referência para a hierarquização dos grupos de medidas no UUU. Esse índice avalia o desempenho das alternativas com base no número de cenários em que os indicadores atingem os valores estabelecidos na visão, considerando os pesos atribuídos a cada indicador. O IE pode ser calculado pela Equação 1. Assim, quanto maior o valor do IE, maior a frequência com que o grupo de medidas atinge a visão nos cenários avaliados (Hoepers *et al.*, 2024).

$$IE(n) = \sum N_{(i,n)} w_i \quad (1)$$

onde $IE(n)$ é o índice de efetividade para o grupo de medidas n ; $N_{(i,n)}$ é o número de cenários onde o indicador i alcançou a visão para o grupo de medidas n ; e w_i é o peso do indicador i .

Compromise Programming

O CP foi aplicado como método multicritério complementar ao IE. O método permite avaliar o desempenho de cada alternativa a partir da distância em relação a uma solução ideal (Martin; Smith, 2025). Neste estudo, a solução ideal foi definida a partir da própria visão estabelecida no UWU, de modo que os valores de referência dos indicadores e seus respectivos pesos fossem mantidos na análise. Essa escolha buscou garantir coerência entre os dois métodos comparados, uma vez que tanto o IE quanto o CP foram orientados pelos mesmos objetivos de planejamento. A distância de cada grupo de medidas em relação à solução ideal foi calculada por meio da Equação 2 (Behzadian *et al.*, 2014):

$$L_p(n, x) = \left[\sum w_i |d_i(n, x)|^p \right]^{1/p} \quad (2)$$

em que $L_{p(n,x)}$ representa a distância do grupo de medidas n , no cenário x , em relação à visão; w_i é o peso atribuído ao indicador i ; $d_{i(n,x)}$ é o desvio normalizado do indicador i para o grupo de medidas n , no cenário x ; e p representa o parâmetro de compensação entre critérios.

Neste artigo, adotou-se p igual a 2, por representar uma condição intermediária de compensação entre os critérios. Com essa escolha, desvios mais elevados em determinados indicadores passam a ter maior influência sobre a distância final da alternativa, sem eliminar completamente a possibilidade de compensação entre critérios (Behzadian *et al.*, 2014; Momeni *et al.*, 2021).

Os desvios foram calculados de forma orientada pela visão. Para os indicadores de maximização, correspondentes às coberturas do SAA e SES, valores iguais ou superiores à meta estabelecida receberam desvio igual a zero. Quando o valor observado foi inferior à meta, o desvio foi calculado em relação à visão. Para os indicadores de minimização, correspondentes às cargas de poluentes e ao custo total do sistema de tratamento de esgoto, valores iguais ou inferiores à meta receberam desvio igual a zero. Quando o valor observado foi superior à visão, o desvio foi calculado em relação à meta estabelecida.

A aplicação do CP foi realizada inicialmente para cada grupo de medidas em cada um dos quatro cenários avaliados. Em seguida, foi calculado o valor médio de L_2 para cada grupo de medidas, considerando os quatro cenários. Esse valor médio foi utilizado para a hierarquização final das alternativas pelo CP, conforme a Equação 3:

$$\overline{L}_2(n) = \frac{1}{S} \sum_{x=1}^S L_2(n, x) \quad (3)$$

em que $\overline{L}_2(n)$ representa a distância média do grupo de medidas n , em relação à visão, considerando os S cenários avaliados. Quanto menor o valor de L_2 , mais próximo o grupo de medidas está da visão estabelecida.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Índice de Efetividade

Entre os grupos de intervenção, o melhor desempenho foi obtido pelo GM III, com IE de 2,85, classificado como bom, sendo esse o grupo com tratamento de esgoto por RAFA seguido de filtro biológico percolador de alta taxa. Os demais grupos de intervenção também foram classificados como bons, embora com valores inferiores. O ranking pelo IE foi composto, em ordem decrescente, por GM III, GM IV, GM V, GM I, GM II e GM 0, conforme apresentado na Tabela 3.

A proximidade entre os valores de IE dos grupos de intervenção indica que, embora o GM III tenha apresentado o melhor desempenho geral, as demais alternativas também contribuíram para aproximar o sistema da visão estabelecida. Essa proximidade reforça a necessidade de uma análise complementar, capaz de avaliar não apenas o atendimento ou não das metas, mas também a distância relativa entre os resultados obtidos e os valores desejados.

No estudo base, o GM III foi destacado por combinar bom desempenho na remoção de poluentes com custos inferiores aos de alternativas que demandam sistemas mecanizados de maior consumo energético. Por outro lado, o GM II apresentou bom desempenho ambiental em razão da eficiência associada ao sistema de lodos ativados, mas foi penalizado pelos custos de operação e manutenção. Além disso, nenhum grupo de medidas atingiu a visão para a carga de fósforo total, reforçando a necessidade de considerar alternativas complementares para remoção de nutrientes.

Compromise Programming

O grupo de medidas com menor distância média em relação à visão foi o GM V, com L_2 igual a 0,133. Esse resultado indica que, considerando simultaneamente os indicadores de cobertura, cargas poluentes e custo, esse grupo apresentou o menor afastamento médio em relação aos objetivos definidos na visão. O GM I apresentou o segundo melhor desempenho, seguido por GM III, GM IV, GM II e O GM 0, conforme apresentado na Tabela 3.

Um aspecto relevante observado pela aplicação do CP foi a diferenciação entre grupos que, pelo IE, apresentaram valores relativamente próximos. Enquanto o IE indicou todos os grupos de intervenção como bons, o CP permitiu distinguir a proximidade média de cada alternativa em relação à visão. Nesse sentido, o GM V passou a ocupar a primeira posição, mesmo tendo ocupado apenas a terceira posição no ranking pelo IE. Essa mudança sugere que, embora o GM V não tenha atingido a visão em maior número de cenários, seus resultados permaneceram, em média, mais próximos dos valores desejados.

Esse resultado é particularmente relevante no caso da carga de fósforo total. No estudo base, nenhum grupo de medidas atingiu a visão para esse indicador. No entanto, o GM V apresentou os

melhores valores, devido à maior eficiência de remoção de fósforo associada à flotação por ar dissolvido.

Tabela 3 – Hierarquização dos grupos de medidas pelo IE e pelo CP

Grupo de medidas	IE	Ranking IE	CP	Ranking CP
GM 0	0,40	6	0,322	6
GM I	2,60	4	0,157	2
GM II	2,45	5	0,184	5
GM III	2,85	1	0,161	3
GM IV	2,73	2	0,163	4
GM V	2,65	3	0,133	1

A divergência entre os rankings evidencia que o IE e o CP capturam dimensões distintas do desempenho dos grupos de medidas. Enquanto o IE favorece as alternativas que atingem a visão em maior número de cenários, o CP diferencia os grupos conforme a intensidade dos desvios em relação aos valores desejados. Assim, uma alternativa pode não apresentar o maior IE, mas ainda assim possuir menor distância média em relação à solução ideal.

Esse resultado reforça a hipótese de complementaridade entre os métodos. O IE indica o grau de atendimento da visão em diferentes cenários, funcionando como uma medida sintética de efetividade. O CP, por sua vez, permite aprofundar a interpretação dos resultados ao evidenciar o quanto cada grupo se afastou da visão. Essa distinção é importante porque, em alguns casos, duas alternativas podem não atingir uma mesma meta, mas uma delas pode permanecer muito mais próxima do valor desejado.

Também é importante observar que os valores de L_2 dos grupos GM I, GM III e GM IV foram relativamente próximos, variando entre 0,157 e 0,163. Isso indica que, embora o ranking pelo CP estabeleça uma ordem entre esses grupos, as diferenças de distância média são pequenas. Portanto, a interpretação desses resultados deve considerar não apenas a posição no ranking, mas também a magnitude das diferenças entre os valores obtidos.

A aplicação do CP pode revelar nuances que não ficam plenamente evidentes no IE, especialmente quando os grupos apresentam classificações semelhantes ou quando determinadas metas não são atingidas por nenhuma alternativa.

Implicações para a gestão integrada das águas urbanas

A complementaridade entre o IE e o CP é especialmente relevante para a gestão integrada das águas urbanas visto que decisões sobre saneamento e recursos hídricos raramente envolvem apenas um critério de desempenho. A escolha entre alternativas de intervenção exige considerar simultaneamente cobertura dos serviços, qualidade ambiental, custos, incertezas futuras e prioridades

locais. Nesse contexto, métodos multicritério podem contribuir para tornar mais explícitos os *trade-offs* envolvidos no processo decisório.

No caso de Nobres-MT, a análise reforça que a implantação de medidas integradas é fundamental para aproximar o sistema da visão estabelecida. As medidas de redução de perdas e uso racional da água contribuem para manter a cobertura do sistema de abastecimento ao longo do horizonte de planejamento, enquanto as alternativas de tratamento de esgoto e de escoamento superficial influenciam diretamente a redução das cargas poluentes lançadas nos corpos hídricos. No entanto, a dificuldade de atendimento da visão para PT indica que os grupos de medidas avaliados ainda não são suficientes para alcançar todos os objetivos ambientais definidos.

A mudança do melhor grupo no ranking do CP também tem implicações importantes para o processo de tomada de decisão. Pelo IE, o GM III seria priorizado por atingir a visão em maior número de situações. Pelo CP, o GM V aparece como alternativa mais próxima da solução ideal quando se considera a intensidade dos desvios. Isso não significa que um método esteja correto e o outro incorreto, mas que cada um oferece uma leitura distinta da mesma matriz de resultados.

Dessa forma, a aplicação conjunta do IE e do CP pode apoiar uma tomada de decisão mais transparente, especialmente em contextos nos quais diferentes alternativas apresentam desempenho próximo ou quando nenhuma delas atende plenamente todos os critérios. Enquanto o IE permite identificar os grupos mais efetivos em termos de atendimento da visão, o CP auxilia na identificação daqueles que permanecem mais próximos dos valores desejados, mesmo quando as metas não são integralmente atingidas.

Essa abordagem também contribui para o aprimoramento da própria aplicação do UWU, ao possibilitar uma leitura mais detalhada dos resultados da avaliação integrada. A incorporação de métodos complementares, como o CP, pode ampliar a capacidade da ferramenta de apoiar processos de planejamento estratégico, sobretudo quando os resultados precisam ser discutidos com gestores, técnicos e demais partes interessadas.

CONCLUSÃO

Este artigo comparou a hierarquização de grupos de medidas de intervenção em sistemas de águas urbanas obtida pelo IE do UWU e pelo método CP, utilizando como base os resultados de uma aplicação da ferramenta UWU ao município de Nobres-MT. A análise permitiu avaliar se a ordenação originalmente definida pelo atendimento da visão nos cenários avaliados seria confirmada quando considerada a distância média das alternativas em relação à solução ideal.

Os resultados indicaram convergências e divergências entre os métodos, evidenciando que os diferentes métodos capturam dimensões distintas do desempenho dos grupos de medidas. O IE

sintetiza a frequência de atendimento da visão nos cenários avaliados, enquanto o CP mensura a intensidade dos desvios em relação aos valores desejados. Assim, o CP permite diferenciar alternativas que não atingem plenamente uma meta, mas que apresentam diferentes graus de proximidade em relação à visão, como observado no caso da carga de fósforo total.

Conclui-se que o CP pode atuar como procedimento complementar à avaliação integrada do UWU, contribuindo para uma interpretação mais detalhada dos resultados e para a explicitação de *trade-offs* entre cobertura dos serviços, desempenho ambiental e custos. Para trabalhos futuros, recomenda-se avaliar a sensibilidade dos resultados à adoção de diferentes parâmetros de compensação no CP.

AGRADECIMENTOS – O presente trabalho foi realizado com apoio de Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- BEHZADIAN, K.; KAPELAN, Z.; VENKATESH, G.; BRATTEBØ, H.; SÆGROV, S. (2014). “WaterMet²: a tool for integrated analysis of sustainability-based performance of urban water systems”. *Drink. Water Eng. Sci.* 7, pp. 63-72. DOI: 10.5194/dwes-7-63-2014
- HOEPERS, T.R.; LEITHOLD, J.; MONTEIRO, M.M.; CORZO PEREZ, G.A.; FERNANDES, C.V.S.; ZEVENBERGEN, C.; SANTOS, D.C. (2024). “An integrated approach to decision-making variables on urban water systems using an urban water use (UWU) decision-support tool”. *Science of the Total Environment* 912, pp. 168865. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.168865
- FERREIRA, J.C.; SANTOS, D.C.; CAMPOS, L.C. (2024). “Blue-green infrastructure in view of Integrated Urban Water Management: A novel assessment of an effectiveness index”. *Water Research* 257, pp. 121658. DOI: 10.1016/j.watres.2024.121658
- MARTIN, D.M.; SMITH, D.R. (2025). “Comparing SMART and ELECTRE methods for multi-criteria decision analysis: A case study evaluating conservation strategies”. *Environmental and Sustainability Indicators* 27, pp. 100764. DOI: 10.1016/j.indic.2025.100764
- MIJIC, A.; DOBSON, B.; LIU, L. (2024). “Towards adaptive resilience for the future of integrated water systems planning”. *Cambridge Prisms: Water* 2, e11, pp. 1-10. DOI: 10.1017/wat.2024.9
- MOMENI, M.; BEHZADIAN, K.; YOUSEFI, H.; ZAHEDI, S. (2021). “A Scenario-Based Management of Water Resources and Supply Systems Using a Combined System Dynamics and Compromise Programming Approach”. *Water Resources Management* 35, pp. 4233-4250. DOI: 10.1007/s11269-021-02942-z
- MONTEIRO, M.M.; HOEPERS, T.R.; SANTOS, D.C. (2024). “Gestão integrada das águas urbanas: aplicação da ferramenta UWU no sistema de saneamento de Nobres-MT” in *Anais do XV Encontro Nacional de Águas Urbanas e V Simpósio de Revitalização de Rios Urbanos*, Recife, Set. 2024, pp. 1-10.
- MONTEIRO, M.M.; GIACOBBO, H.A.; LOPES JUNIOR, N.; HOEPERS, T.R.; SANTOS, D.C. (2025). “Explorando a gestão integrada das águas urbanas por meio da ferramenta de apoio à decisão Urban Water Use (UWU): um estudo de caso no Brasil”. *Revista de Gestão de Água da América Latina* 22, e18, pp. 1-17. DOI: 10.21168/reg.v22e18
- NOBRES (2017) Plano Municipal de Saneamento. Disponível em: https://persmt.setec.ufmt.br/wp-content/uploads/2020/08/PMSB_Nobres.pdf