

APLICAÇÃO DO MÉTODO PROMETHEE II PARA GESTÃO DE PERDAS DE ÁGUA EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

Andreia Azevedo Abrantes de Oliveira¹

Júlia Daniele Silva de Souza²

Luisa Thaynara Muricy de Souza Silva³

Saulo de Tarso Marques Bezerra⁴

RESUMO

Historicamente, os investimentos em expansão de redes de distribuição foram prioritários no setor de saneamento brasileiro, corroborando para a expansão da infraestrutura e conseqüente descaso na manutenção dos sistemas de abastecimento existentes, refletindo assim no alto percentual dos índices de perdas de água no Brasil. O desenvolvimento de técnicas direcionadas especificamente para a gestão de perdas em sistemas de distribuição é, relativamente, novo e a avaliação de quais alternativas de controle devem ser implantadas é um problema complexo. Visando propor um modelo multicritério capaz de sintetizar as várias nuances dos problemas reais envolvidos na gestão de perdas, optou-se pela utilização do Método PROMETHEE. Nesse, é possível hierarquizar as alternativas mais recomendadas para a gestão, considerando um cenário de critérios relevantes. O método é capaz de estabelecer uma relação de hierarquização entre as soluções adotadas, analisando-se os critérios estabelecidos pelo agente decisor. O primeiro resultado do estudo é a estruturação do problema proposto, consistindo em avaliar quais as alternativas a serem hierarquizadas e quais os critérios e subcritérios preponderantes na análise. O método PROMETHEE II foi capaz de estruturar satisfatoriamente o problema, elencando as possíveis soluções com base em aspectos sociais, ambientais, econômicos e técnicos. O resultado tende a ter o mesmo padrão de comportamento para as várias combinações de pesos testadas. De maneira geral, o bom desempenho da gestão da pressão nos critérios ambiental, social e econômico garante a sua preferência, indicando-a como melhor solução para o controle de perdas em sistemas de abastecimento de água.

Palavras-chave: Perdas de água, Gestão das perdas de água, Redes de distribuição, Métodos multicritérios.

INTRODUÇÃO

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2009), estima-se que o Brasil possua cerca de 12% da disponibilidade de água doce do planeta, entretanto a distribuição natural desse recurso não é equilibrada. Na Região Nordeste, por exemplo, observam-se condições críticas em períodos de estiagem que, atreladas à alta evapotranspiração, subsolo desfavorável e baixo

¹ Mestranda do Curso de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, andriazvdo92@gmail.com;

² Mestranda do Curso de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, juliadaniele_souza@hotmail.com;

³ Mestranda do Curso de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, luisataynara12@hotmail.com;

⁴ Professor orientador: Doutor, Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, s.bezerra@yahoo.com.br.

desenvolvimento socioeconômico, configuram um cenário preocupante. Apesar disso, o percentual de perdas de água na região é elevado, reflexo dos baixos investimentos na manutenção das redes de abastecimento de água. Em geral, pode-se afirmar que as perdas são influenciadas por diversos fatores infraestruturais e operacionais. Estas dependem basicamente das características das redes de distribuição e de fatores relacionados às práticas de operação, do nível de tecnologia do sistema e da expertise dos técnicos responsáveis pelo controle dos processos (BEZERRA; CHEUNG, 2013).

As empresas prestadoras de serviço devem buscar continuamente níveis elevados de eficiência e estarem aptas a fornecer o melhor serviço aos usuários. Além de impactar diretamente no faturamento, as perdas afetam a imagem das empresas junto à sociedade, aos agentes financiadores, aos órgãos ambientais e ao poder público.

O desenvolvimento de novas técnicas e metodologias que empregam princípios baseados em conhecimentos predominantemente científicos, como, por exemplo, teorias da engenharia hidráulica, sistemas de suporte à decisão, e modelos de gestão (planejamento estratégico), é imprescindível. A tomada de decisão deve incluir um maior número de critérios, além dos aspectos puramente técnicos e econômicos que normalmente são levados em consideração na avaliação de um projeto, o que eleva a complexidade de processo e configura-se como um grande desafio para os gestores.

Sob esse cenário, surge a necessidade da análise multicritério como ferramenta fundamental de apoio à decisão, possibilitando a hierarquização de soluções viáveis para gestão de perdas em um panorama de critérios e subcritérios que refletem as necessidades e anseios locais. Através da análise multicritério PROMETHEE, pode-se obter uma hierarquização da viabilidade das soluções, trazendo a gestão de pressão como alternativa mais viável dentre as demais para redução das perdas reais.

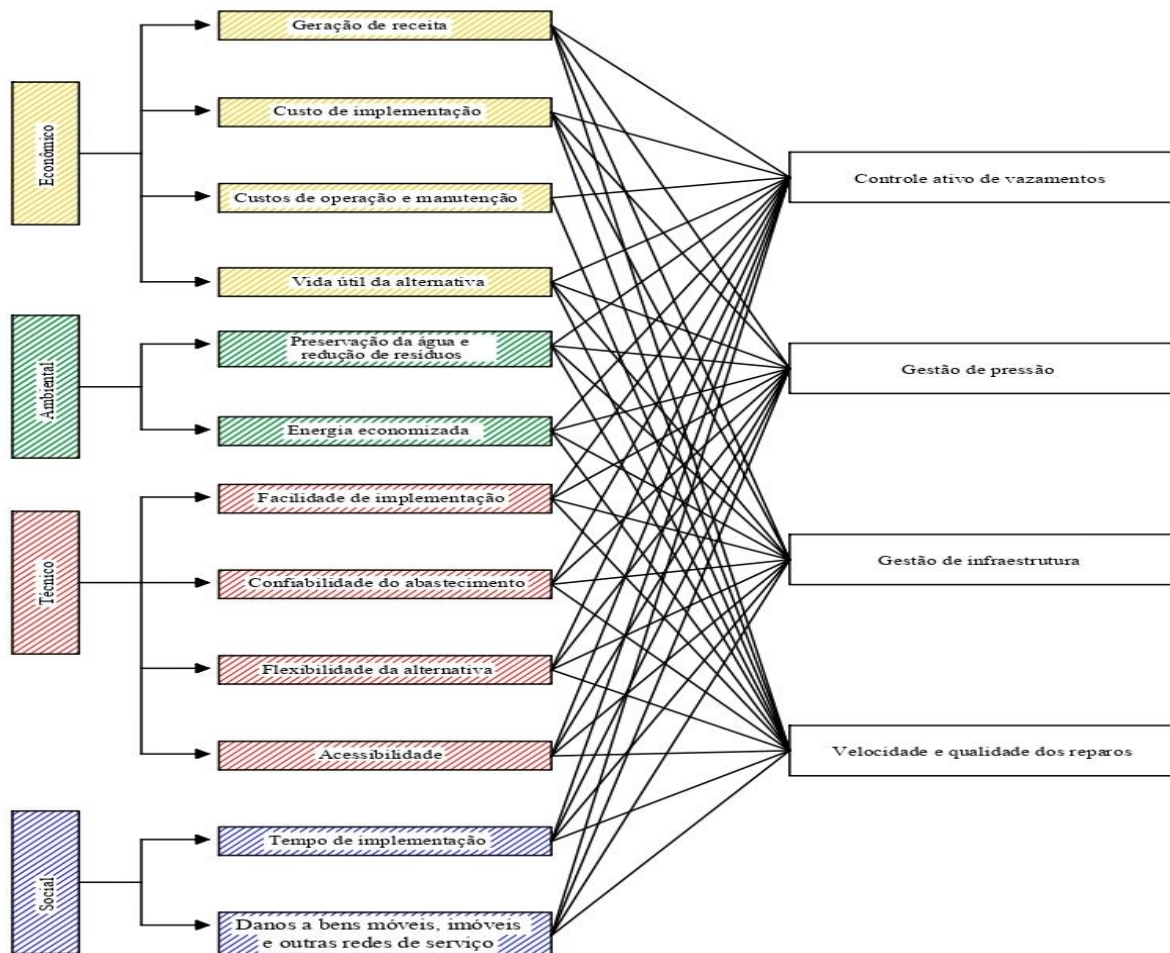
Desta forma, a pesquisa tem como objetivo aplicar o método multicritério PROMETHEE II, a fim de avaliar quais as alternativas são mais viáveis para gestão de perdas de água em sistemas de abastecimento de água, considerando critérios socioeconômicos, técnicos e fatores ambientais preponderantes.

METODOLOGIA

Estruturação do problema

As alternativas escolhidas foram: controle ativo de perdas, gestão de pressão, gestão de infraestrutura e velocidade e qualidade dos reparos. Quanto aos critérios e subcritérios, tem-se a seguinte configuração, apresentadas na Figura 1:

Figura 1 – Estruturação do problema.



Fonte: Autores.

Obtenção dos dados de entrada

Os pesos para cada critério (W_j) e o desempenho das alternativas em cada critério ($g_j(a)$) são parâmetros essenciais no Método PROMETHEE. Na metodologia proposta, os pesos foram determinados com base em informações obtidas por meio de entrevistas com especialistas, através de uma resposta média para cada um dos parâmetros. Desse modo, W_j é um número real (*crisp*) e $g_j(a)$ é expresso por variáveis linguísticas que variam desde uma aceitabilidade muito baixa até muito grande. Cada uma das variáveis linguísticas relaciona-se um valor numérico. É detalhado na Tabela 1 a escala linguística adotada para o problema.

Tabela 1 – Valor numérico por variável linguística.

| Código | Variável linguística | Valor numérico |
|--------|----------------------|----------------|
| 1 | Muito Baixo | 0,00 |
| 2 | Baixo | 0,25 |
| 3 | Médio | 0,50 |
| 4 | Grande | 0,75 |
| 5 | Muito Grande | 1,00 |

Fonte: Autores.

Método PROMETHEE

O método PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*) foi desenvolvido por Brans (1982), sendo considerado um dos métodos multicritérios mais recentes. Segundo Behzadian *et al.* (2010), o PROMETHEE é um método de superação onde um conjunto finito de alternativas é classificado e selecionado entre os critérios, que em sua maioria são conflitantes.

Desde então, o método tem sofrido uma série de desenvolvimentos e adaptações, dando origem a diversas metodologias da família PROMETHEE. Seu vasto uso se dá por seu caráter simples de concepção e aplicação se comparado com outros métodos multicritérios (GOUMAS; LYGEROU, 2000).

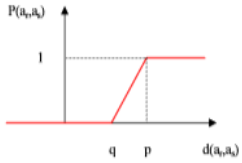
Para esse trabalho optou-se pelo uso do método PROMETHEE II, que classifica as alternativas, estabelecendo uma ordem decrescente de $\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a)$ (fluxo líquido) e estabelece uma ordem completa entre as alternativas, sendo destinada à problemáticas de ordenação. A partir da revisão de literatura, observou-se nos trabalhos de Morais e Almeida (2006) e Mutikanga *et al.* (2011), cuja natureza do tema é análoga ao deste trabalho, utilização em ambos do método PROMETHEE II como metodologia multicritério.

O manuseio do PROMETHEE II demanda o conhecimento de alguns conceitos em sua fase de construção da relação de sobre classificação, tais quais (MORAIS; DE ALMEIDA, 2006):

- w_j é o peso do critério j , que significa a importância que esse critério tem em relação aos demais.
- $g_j(a)$ é o desempenho da alternativa a no critério j .
- q é o limite de indiferença, o maior valor para $[g_j(a) - g_j(b)]$ abaixo do qual existe uma indiferença, neste trabalho, igual a 0.

- p é o limite de preferência, o menor valor para $[g_j(a) - g_j(b)]$ acima do qual existe uma preferência estrita, neste trabalho, igual a 0,4.
- $F_j(a,b)$ é a função de preferência, e representa o comportamento do decisor frente às diferenças das comparações par a par das alternativas, para cada critério, indicando a intensidade da preferência da diferença $[g_j(a) - g_j(b)]$. No geral, são seis as formas mais utilizadas de funções de preferência. Para este trabalho, foi escolhida a função V, conforme pode ser visto no Quadro 1.

Quadro 1 – Função de preferência V do Método PROMETHEE.

| | | | |
|--|---|---|--|
| <p>V – Área de indiferença: Definem-se os parâmetros q (limite de indiferença) e p (limite de preferência)</p> |  | $g_j(a) - g_j(b) > p$ $q < g_j(a) - g_j(b) \leq p$ $g_j(a) - g_j(b) \leq q$ | $F(a,b) = 1$ $F(a,b) = \frac{g_j(a) - g_j(b) - q}{p - q}$ $F(a,b) = 0$ |
|--|---|---|--|

Deve ser definido um índice de preferência ponderada π , de acordo com a Equação 1, para todos os pares de alternativas, indicando assim o nível de preferência da alternativa a em relação à alternativa b , levando em consideração os pesos de cada critério w_j .

$$\pi(a, b) = \frac{\sum_{j=1}^k w_j P_j(a,b)}{\sum_{j=1}^k w_j} \quad (1)$$

A função $\pi(a,b)$, é a relação de sobreclassificação da alternativa a sobre a alternativa b . O método define três fluxos de sobre classificação:

- Fluxo de saída (Φ^+) - representa a média de todos os graus de sobre classificação de a , em relação as outras alternativas, conforme a Equação 2.

$$\Phi^+(a) = \sum_{b \in A} \frac{\Pi(b,a)}{n-1} \quad (2)$$

Quanto maior $\Phi^+(a)$, melhor a alternativa.

- Fluxo de entrada (Φ^-) – representa a média de todos os graus de sobreclassificação de todas as alternativas sobre a , conforme a Equação 3.

$$\Phi^-(a) = \sum_{b \in A} \frac{\Pi(b,a)}{n-1} \quad (3)$$

Quanto maior $\Phi^-(a)$, melhor é a alternativa.

- $\Phi(a)$ é chamado fluxo líquido de sobreclassificação e representa o balanço entre o poder e a fraqueza da alternativa. Quanto maior $\Phi(a)$, melhor a alternativa, conforme a Equação 4.

$$\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a) \quad (4)$$

O PROMETHEE II utiliza o fluxo Φ para obter uma completa classificação evitando as ocorrências de alternativas incomparáveis. A variável n é o número de alternativas do problema. A ordem final das alternativas é definida por:

- a é preferível de b se: $\Phi(a) > \Phi(b)$;
- a é indiferente de b se: $\Phi(a) = \Phi(b)$;

Onde: a e b são alternativas de um conjunto A .

DESENVOLVIMENTO

Classificação das perdas de água

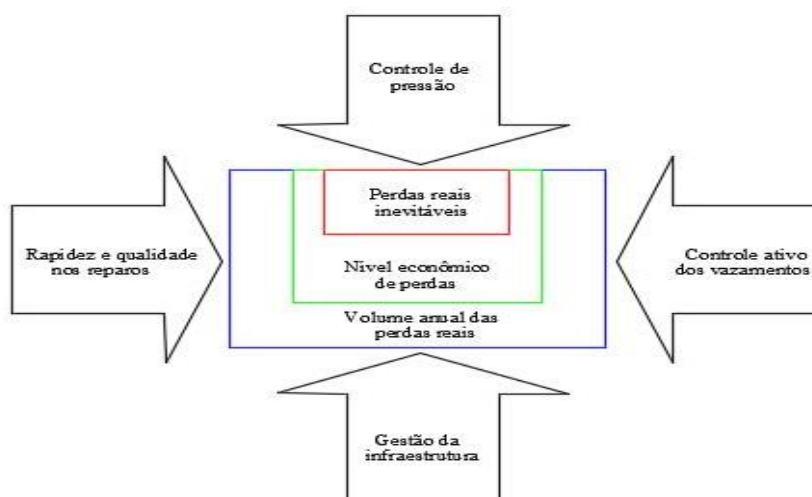
O Programa Nacional do Combate ao Desperdício de Água do Ministério das Cidades define que as perdas de água, do ponto de vista operacional, são consideradas correspondentes aos volumes não contabilizados, englobando tanto as perdas físicas como as perdas não-físicas. Teoricamente, as perdas de água se dividem em perdas aparentes e perdas reais. As perdas aparentes, também chamadas de perdas comerciais, estão ligadas à volume de água que foi efetivamente consumido pelo usuário, mas que não foi medido ou contabilizado, gerando perda de faturamento ao prestador do serviço de água. Tais falhas são oriundas de ligações clandestinas, *by-pass* irregular nos ramais de ligação, falhas no cadastro comercial, erros de medição (submedição de hidrômetros, erros de leitura, fraudes, erros na calibração dos hidrômetros) etc. Em tais casos, tem a ocorrência do consumo da água, mas sem seu devido faturamento. As perdas reais, estão relacionadas a água que sai para a distribuição, mas que não chega aos consumidores. Essas perdas ocorrem devido a vazamentos em adutoras, redes, ramais e conexões, extravasamentos de reservatórios etc. As perdas reais são compreendidas principalmente por vazamentos nas tubulações de rede de distribuição, potencializados pelo excesso de pressão, geralmente em regiões com grande variação de topografia (DUTRA; OLIVEIRA, 2017; BEZERRA; CHEUNG, 2013).

Gestão das perdas de água

A gestão de perdas de água é o conjunto de atividades que visa reduzir as perdas de um sistema de abastecimento de água e, conseqüentemente, os custos de produção dessa água. As perdas ocorrem desde a captação de água até a distribuição e se devem, principalmente, à operação e manutenção deficientes e inadequada gestão das companhias de saneamento.

Para o combate as perdas reais, é necessário um conjunto de ações com alto custo de execução. Para minimiza-lo, o esquema mostrado na Figura 2 foi proposto pela IWA (*Internacional Water Association*) e disseminou-se pelo mundo, composto pelos quatro principais componentes de um programa efetivo de controle e redução de perdas reais, as quais, na medida e na ordem ideal para cada sistema, respondem pela obtenção dos resultados esperados.

Figura 1 – Componentes para controle das perdas reais.



Fonte: LAMBERT e HIRNER (2000).

- Controle ativo de vazamentos: envolve ações programadas de investigação e detecção dos vazamentos não-visíveis, por métodos acústicos e de pesquisa, e a execução dos reparos necessários.
- Gestão de pressão: redução do fluxo de perdas indetectáveis sem modificar a infraestrutura, realizando o controle das pressões do sistema;
- Gestão de infraestrutura: conhecimento das condições dos sistemas de redes de distribuição como, por exemplo, idade e material, para gerenciamento otimizado dos recursos relativos à substituição da rede;
- Velocidade e qualidade de reparos: execução de reparo assim que detectada a ocorrência, seja um vazamento visível ou não.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As alternativas, critérios e subcritérios são a base do modelo proposto e definem quais os tipos de dados e informações a serem incorporadas ao método multicritério. Esses dados foram obtidos através de entrevistas, tomando-se o cuidado de garantir a imparcialidade do questionário, a fim de evitar a geração de uma tendência de respostas que não reflitam a verdadeira opinião dos entrevistados.

Para o método multicritério PROMETHEE II, cada especialista atribuiu uma descrição ao grau de viabilidade da alternativa em relação ao subcritério. A escolha do valor numérico constitui-se como uma ferramenta importante na tomada de decisão, devendo sintetizar numericamente cada opinião qualitativa obtida.

Adicionalmente, cada entrevistado atribuiu um grau de importância para cada um dos critérios e a média das informações de pesos coletados foi calculada, como pode ser visto na Tabela 2. Pode-se perceber que o critério ambiental apresentou maior destaque, conseqüentemente, as pontuações nos subcritérios correspondentes detêm maior representatividade na composição do panorama geral. A atribuição de um peso menor para o critério econômico destaca as mudanças de perspectiva no setor, configurando os impactos na sociedade e no meio ambiente como fatores decisivos na hierarquização das alternativas, ainda que gerem custos adicionais.

Tabela 2 - Pesos médios obtidos via entrevista.

| Critério | Pesos |
|-----------------|--------------|
| Econômico | 0,20 |
| Ambiental | 0,29 |
| Técnico | 0,25 |
| Social | 0,26 |

Fonte: Autores.

Com as informações obtidas via entrevista, foi possível chegar a uma matriz de resultados acerca da aceitabilidade de cada alternativa em relação aos subcritérios propostos. Essa matriz é expressa pela média simples das respostas.

Sendo assim, o método Promethee II utilizou os valores das Tabelas 2 e 3 como variáveis de entrada do sistema.

Tabela 3 - Matriz de avaliação.

| Subcritério | Controle ativo de vazamentos (A1) | Gestão de pressão (A2) | Gestão de infraestrutura (A3) | Velocidade e qualidade de reparos (A4) |
|--|-----------------------------------|------------------------|-------------------------------|--|
| Geração de receita | 0,75 | 0,75 | 0,69 | 0,56 |
| Custo de implementação | 0,56 | 0,63 | 0,56 | 0,50 |
| Custo de operação e manutenção | 0,50 | 0,44 | 0,50 | 0,50 |
| Vida útil da alternativa | 0,56 | 0,69 | 0,63 | 0,69 |
| Preservação da água e redução de resíduos | 0,69 | 0,75 | 0,63 | 0,38 |
| Energia economizada | 0,75 | 0,88 | 0,63 | 0,38 |
| Facilidade de implementação | 0,44 | 0,44 | 0,50 | 0,69 |
| Confiabilidade do abastecimento | 0,75 | 0,94 | 0,81 | 0,75 |
| Flexibilidade da alternativa | 0,75 | 0,56 | 0,56 | 0,75 |
| Acessibilidade | 0,56 | 0,56 | 0,63 | 0,63 |
| Tempo de implementação | 0,63 | 0,56 | 0,81 | 0,75 |
| Danos a bens móveis, imóveis e outras redes de serviço | 0,56 | 0,56 | 0,69 | 0,56 |

Fonte: Autores.

É possível se ter uma ideia geral da aceitabilidade das alternativas. Os subcritérios custo de implementação, custo de operação e manutenção, tempo de implementação e danos a bens móveis, imóveis e outras redes de serviço (destacados na Tabela 3) apresentam melhores resultados tanto quanto menores forem as pontuações. Nos demais critérios, as maiores notas implicam em melhores resultados.

É possível perceber visualmente que a gestão de pressão atende satisfatoriamente os subcritérios, o que pode indicar um bom resultado nas aplicações do método. A alternativa velocidade e qualidade de reparos é a segunda melhor avaliada pela análise da Tabela 3, todavia em muitos subcritérios seu desempenho é o pior dentre todas as alternativas, não sendo possível identificar previamente sua aplicabilidade.

A matriz de sobreclassificação encontrada no Método Promethee II, utilizando os mesmos pesos da Tabela 2, está disposta na Tabela 4.

Tabela 4 - Grau de hierarquização para Promethee II.

| | Controle ativo de vazamentos (A1) | Gestão de pressão (A2) | Gestão de infraestrutura (A3) | Velocidade e qualidade de reparos (A4) |
|-----------|-----------------------------------|------------------------|-------------------------------|--|
| A1 | - | 0,065 | 0,183 | 0,245 |
| A2 | 0,133 | - | 0,237 | 0,318 |
| A3 | 0,051 | 0,038 | - | 0,159 |
| A4 | 0,100 | 0,129 | 0,145 | - |

Fonte: Autores.

Pode ser visto na Tabela 5, o resultado final da hierarquização das alternativas expresso pelo fluxo líquido.

Tabela 5 - Comparativo de fluxos para Promethee II.

| | $\phi +$ | $\phi -$ | ϕ |
|-----------|----------|----------|--------|
| A1 | 0,164 | 0,095 | 0,070 |
| A2 | 0,229 | 0,077 | 0,152 |
| A3 | 0,083 | 0,188 | -0,106 |
| A4 | 0,125 | 0,241 | -0,116 |

Fonte: Autores.

Comparando os índices, pode-se perceber que a gestão da pressão (A2) obteve o melhor desempenho, o que era esperado baseado na análise dos dados de entrada. Apesar da alternativa de velocidade e qualidade de reparos (A4) apresentar a melhor avaliação em cinco dos doze subcritérios, ficando atrás apenas da gestão de pressão, isso não foi suficiente para garantir um resultado satisfatório, tendo em vista a baixa pontuação nos demais subcritérios. Por isso, a alternativa A4 ocupou a última posição no cenário proposto.

O controle ativo de vazamentos (A1) apresentou-se como uma opção viável, mas com índice de aproveitamento inferior ao da gestão de pressão (A2). Já a gestão de infraestrutura (A3) ocupou a terceira posição, não atendendo aos requisitos esperados. Convém salientar que a hierarquização reflete a estruturação do modelo, os subcritérios, os pesos e as alternativas comparadas. Isso significa dizer que em outras circunstâncias, pode-se obter outros resultados, de modo que as alternativas com menores pontuações podem ser implementadas pela concessionária e obter resultados satisfatórios.

Os resultados calculados são justificados pelas pontuações atribuídas e o grau de importância dado aos critérios. A gestão de pressão apresentou o melhor resultado em seis dos doze subcritérios, sendo a melhor avaliada em todos os subcritérios ambientais, cujo peso é maior. Ao retirá-la da análise a fim de avaliar melhor as demais alternativas, é possível perceber que o controle ativo de vazamentos assume posições de destaque em todos os subcritérios sociais e ambientais, corroborando para um fluxo líquido positivo.

Comparando a alternativa gestão de infraestrutura com a velocidade e qualidade de reparos, percebe-se que a segunda se destaca em uma maior quantidade de subcritérios. Apesar disso, na maioria dos subcritérios em que A4 tem melhor desempenho, a pontuação de A3 é apenas centésimos menor, enquanto nos subcritérios em que A3 apresenta melhor resultado, a diferença entre esses chega a décimos. Além disso, a distribuição de pesos confere significativa

vantagem a A3, justificando também a hierarquização obtida e destacando a inconstância desse resultado para diferentes configurações de pesos.

Por fim, a análise de sensibilidade foi realizada para verificar a consistência do modelo adotado, e para observar seu comportamento diante de possíveis variações, principalmente nos pesos atribuídos. Uma análise de sensibilidade procura determinar mudanças que podem ocorrer devido ao efeito da variação de um determinado fator relevante ao problema. Essa análise foi importante para determinar que o resultado alcançado é sólido.

Para isso, foram propostos mais quatro cenários de análise. No cenário 1, optou-se por igualar os graus de importância dos subcritérios. Nos demais cenários, foram utilizados os pesos sugeridos por cada um dos entrevistados. São mostrados na Tabela 6 os pesos considerados em cada cenário de avaliação.

Tabela 6 - Pesos atribuídos nos novos cenários de análise.

| Critério | Cenário 1 | Cenário 2 | Cenário 3 | Cenário 4 |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Econômico | 0,25 | 0,20 | 0,20 | 0,20 |
| Ambiental | 0,25 | 0,20 | 0,35 | 0,30 |
| Técnico | 0,25 | 0,30 | 0,10 | 0,30 |
| Social | 0,25 | 0,30 | 0,35 | 0,20 |

Fonte: Autores.

Os resultados obtidos na análise são apresentados na Tabela 7. No cenário 2, a diminuição considerável do peso do critério ambiental, cuja alternativa A3 tem desempenho superior, e o aumento dos pesos para os critérios social e técnico, cuja alternativa A4 tem melhores pontuações, reflete a situação hierárquica encontrada. Ainda assim, em todos os cenários e métodos, as alternativas A1 e A2 preservam suas posições, confirmando a significativa viabilidade dessas soluções.

Tabela 7 - Resultados obtidos nos diferentes cenários.

| Método | Cenário 1 | Cenário 2 | Cenário 3 | Cenário 4 |
|---------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Promethee II | A2>A1>A4>A3 | A2>A1>A4>A3 | A2>A1>A3>A4 | A2>A1>A3>A4 |

Fonte: Autores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Determinar as melhores alternativas para a gestão de perdas de água é um desafio para os gestores das empresas prestadoras de serviço de saneamento. A dificuldade de encontrar um

consenso de opiniões dos técnicos, além dos possíveis impactos e reflexos das ações na sociedade, reforça a complexidade e subjetividade da tomada de decisão.

A Metodologia PROMETHEE foi capaz de estruturar o cenário de estudo, elencando as possíveis soluções a serem adotadas e os aspectos sociais, ambientais, econômicos e técnicos que exercem forte influência na viabilidade da ação.

Ainda que testadas várias combinações de pesos para os critérios, foi possível perceber que a gestão de pressão se apresentou como a alternativa de maior viabilidade de implantação. De maneira geral, seu bom desempenho nos critérios ambiental, social e econômico garantiu posição de destaque entre as demais alternativas, transformando-a na melhor solução para controle de perdas de água em sistemas de abastecimento de água de municípios de médio porte de Pernambuco.

A fim de aprofundar o estudo, recomenda-se agregar mais alternativas, critérios e subcritérios à análise, além de considerar informações quantitativas relativas aos custos de implantação, manutenção e operação das alternativas. Utilizar outros métodos multicritérios e expandir o número de entrevistados também são ideias para futuras pesquisas na área.

REFERÊNCIAS

- BEZERRA, S. D. T. M.; CHEUNG, P. B. **Perdas de água: tecnologia de controle**. 1a.ed. UFPB. João Pessoa. 2013.
- BRANS, J. P. **Lingenierie de la decision. Elaboration din struments daide a la decision. Method Promethee**. In: Nadeu, R, Landry, M. (Eds.), *Laide a la decision: Nature, instruments et perspectives davenier*. Press de Universite Laval, Quebec, Canada, p. 183-214, 1982.
- BEHZADIAN, M.; KAZEMZADEH, R. B.; ALBADVI, A.; AGHDASI, M. Promethee: A comprehensive literature review on methodologies and applications. **European Journal of Operational Research**, v. 200, p. 198-2015, 2010.
- GOUMAS, M.; LYGEROU, V. An Extension of the Promethee Method for Decision Making in fuzzy Environment: Ranking of Alternative Energy Exploration Projects. **European Journal of Operational Research**, v. 123, p. 606-613, 2000.
- MORAIS, D. C.; DE ALMEIDA, A. T. Modelo de decisão em grupo para gerenciar perdas de água. **Pesquisa Operacional**, v. 26, n. 3, p. 567-584, 2006.
- MUTIKANGA, H. E.; SHARMA, S. K.; VAIRAVAMOORTHY, K. Multi-criteria decision analysis: A strategic planning tool for water loss management. **Water Resources Management**, v. 25, n. 14, p. 3947, 2011.
- DUTRA, R. H. A.; OLIVEIRA, A. L. Utilização de válvulas redutoras de pressão no controle de perdas em redes de abastecimento de água. **Revista DAE**, v. 65, n. 208, p. 122-154, 2017.
- LAMBERT, A. HIRNER, W. Losses from Water Supply Systems: Standart Termonology and Recommended Performance Measures. **IWA-International Water Association.**, p 4-7, U.K, 2000.