

**Aplicação do método Promethee II para gestão de perdas reais em sistemas de abastecimento de água****Application of the Promethee II method for real loss management in water supply systems**

DOI:10.34117/bjdv6n1-255

Recebimento dos originais: 30/11/2019

Aceitação para publicação: 23/01/2020

**Júlia Daniele Silva de Souza**

Mestranda em Engenharia civil e Ambiental pela universidade federal de Pernambuco

Instituição: Universidade Federal de Pernambuco

Endereço: Rua João Cordeiro de Souza, 184, Bairro Vassoural, Caruaru - PE, Brasil

E-mail: juliadaniele\_souza@hotmail.com

**Saulo de Tarso Marques Bezerra**

Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba

Instituição: Universidade Federal de Pernambuco

Endereço: Avenida Marielle Franco, Km 59, Nova Caruaru, Caruaru – PE, Brasil

E-mail: s.bezerra@yahoo.com.br

**Andreia Azevedo Abrantes de Oliveira**

Mestranda em Engenharia civil e Ambiental pela universidade federal de Pernambuco

Instituição: Universidade Federal de Pernambuco

Endereço: Rua Santa Clara, 210, Bairro Maurício de Nassau, Caruaru - PE, Brasil

E-mail: andreiazvdo92@gmail.com

**Sabrina da Silva Corrêa**

Mestranda em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Pernambuco

Instituição: Universidade Federal de Pernambuco

Endereço: Rua Siqueira Campos, 282, cachoeirinha - PE, Brasil

E-mail: sabrinna\_s.c@hotmail.com

**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 eficiente dos sistemas de abastecimento existentes, refletindo no alto percentual dos índices de perdas de água no Brasil. A avaliação de técnicas direcionadas para a gestão eficiente dessas perdas em sistemas de distribuição é, relativamente, novo e a definição de quais alternativas de controle devem ser priorizadas 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 considerando um cenário de critérios relevantes. O modelo desenvolvido 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 reais em sistemas de abastecimento de água.

**Palavras-chave:** Perdas de água, Redes de distribuição, Métodos multicritérios, Promethee II.

## **ABSTRACT**

Historically, investments in expansion of distribution networks have been a priority in the Brazilian sanitation sector, corroborating the expansion of infrastructure and, consequently, neglect in the efficient maintenance of existing supply systems, reflecting the high percentage of water loss rates in Brazil. The evaluation of techniques aimed at the efficient management of these losses in distribution systems is relatively new and the definition of which control alternatives should be prioritized is a complex problem. In order to propose a multicriteria model capable of synthesizing the various nuances of the real problems involved in loss management, the Promethee Method was used. In this, it is possible to rank the most recommended alternatives considering a scenario of relevant criteria. The developed model is able to establish a hierarchical relationship between the adopted solutions, analyzing the criteria established by the decision-making agent. The first result of the study is the structuring of the proposed problem, which consists of evaluating which alternatives are to be ranked and which are the predominant criteria and sub-criteria in the analysis. The Promethee II method was able to satisfactorily structure the problem, listing possible solutions based on social, environmental, economic and technical aspects. The result tends to have the same behavior pattern for the various combinations of weights tested. In general, the good performance of pressure management in environmental, social and economic criteria guarantees your preference, indicating it as the best solution for controlling real losses in water supply systems.

**Key words:** Water losses, Distribution networks, Multicriteria methods, Promethee II.

## **1 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 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 específicos. Através da análise multicritério Promethee, pode-se obter uma hierarquização da viabilidade das soluções.

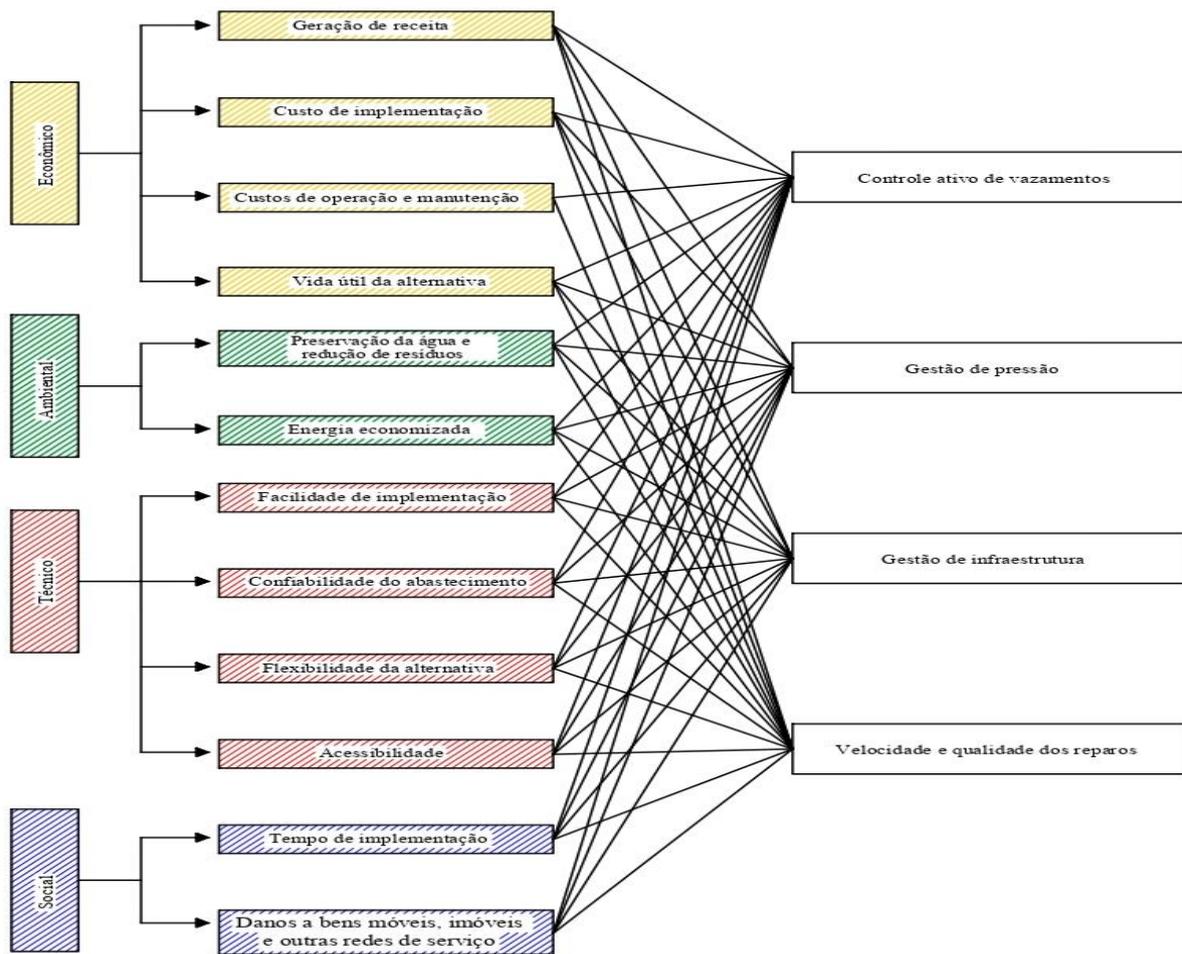
Desta forma, a pesquisa tem como objetivo aplicar o método multicritério Promethee II, a fim de avaliar quais as alternativas são mais viáveis para gestão de perdas reais de água em sistemas de abastecimento de água, considerando critérios socioeconômicos, técnicos e fatores ambientais preponderantes.

## **2 METODOLOGIA**

### **Estruturação do problema**

As alternativas escolhidas foram: controle ativo de vazamentos, 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).

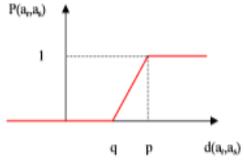
Para esse trabalho optou-se pelo uso do método Promethee II, que classifica as alternativas, estabelecendo uma ordem decrescente de  $\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a)$  (fluxo líquido) e estabelece uma ordem completa entre as alternativas, sendo destinada à problemáticas de ordenação. A partir da revisão 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.
- $gj(a)$  é o desempenho da alternativa  $a$  no critério  $j$ .
- $q$  é o limite de indiferença, o maior valor para  $[gj(a) - gj(b)]$  abaixo do qual existe uma indiferença, neste trabalho, igual a 0.
- $p$  é o limite de preferência, o menor valor para  $[gj(a) - gj(b)]$  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:<br/>Definem-se os parâmetros q<br/>(limite de indiferença) e p<br/>(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  $\pi$ , 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  $w_j$ . A função  $\pi(a, b)$ , é a relação de sobreclassificação da alternativa  $a$  sobre a alternativa  $b$ .

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

O método define três fluxos de sobre classificação:

- Fluxo de saída ( $\Phi^+$ ) representa a média de todos os graus de sobre classificação de  $a$ , em relação as outras alternativas, conforme a Equação 2. Quanto maior  $\Phi^+(a)$ , melhor a alternativa.

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

- Fluxo de entrada ( $\Phi^-$ ) – representa a média de todos os graus de sobreclassificação de todas as alternativas sobre  $a$ , conforme a Equação 3. Quanto maior  $\Phi^-(a)$ , melhor é a alternativa.

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

- Fluxo líquido de sobreclassificação ( $\Phi(a)$ ) – 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  $\Phi$  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  $A$ .

### 3 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, correspondem ao volume não contabilizado de água, englobando tanto as perdas aparentes (não-físicas) como as perdas reais (físicas). 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, *bypass* 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 é fornecida pelos 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).

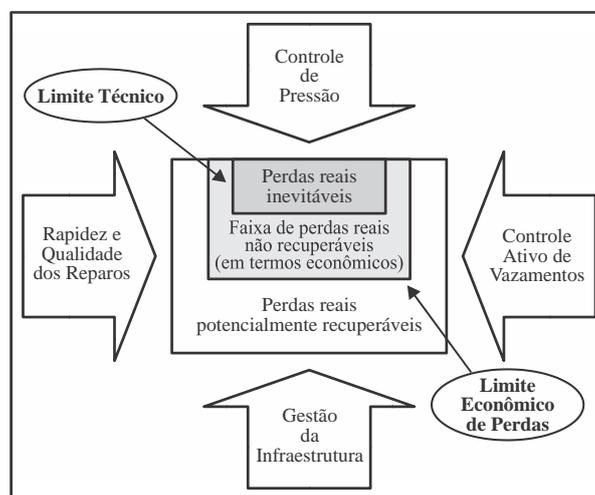
#### Gestão de perdas reais de água

A gestão de perdas reais de água é o conjunto de atividades que visa reduzir o volume perdido em vazamentos de sistemas de distribuição 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.

Diversos estudos foram realizados nas últimas décadas sobre a natureza e o impacto dos vazamentos; várias metodologias e tecnologias eficazes foram desenvolvidas e implementadas com sucesso em todo o mundo para reduzir, controlar e gerenciar as perdas reais. Destacou-se, nos últimos anos, a metodologia proposta pelo Grupo de Trabalho sobre Perdas de Água da *Internacional Water Association* (IWA), que, em resumo, considera que o volume de perdas reais pode ser significativamente reduzido através da implementação das quatro ações apresentadas na Figura 2 (BEZERRA; GOMES, 2019).

Figura 1 – Principais ações para controle de perdas reais



Fonte: BEZERRA e GOMES (2019).

- 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, por meio do 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.

**4 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 dos entrevistados, a fim de evitar a geração de tendências/respostas que não reflitam a verdadeira opinião dos entrevistados. 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.

| <b>Critério</b> | <b>Pesos</b> |
|-----------------|--------------|
| Econômico       | 0,20         |
| Ambiental       | 0,29         |
| Técnico         | 0,25         |
| Social          | 0,26         |

Fonte: Autores.

Com as informações obtidas via entrevistas, 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. 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.

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 perceber que a alternativa gestão de pressão é bem avaliada em todos os subcritérios, o que aponta para um bom resultado nas aplicações do modelo proposto. A alternativa velocidade e qualidade de reparos é a segunda melhor avaliada pela análise, 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 pesos da Tabela 2, está disposta na Tabela 4. Pode ser visto na Tabela 5, o resultado final da hierarquização das alternativas expresso pelo fluxo líquido.

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) |
|-----------|-----------------------------------|------------------------|-------------------------------|--|
| <b>A1</b> | -                                 | 0,065                  | 0,183                         | 0,245                                  |
| <b>A2</b> | 0,133                             | -                      | 0,237                         | 0,318                                  |
| <b>A3</b> | 0,051                             | 0,038                  | -                             | 0,159                                  |
| <b>A4</b> | 0,100                             | 0,129                  | 0,145                         | -                                      |

Fonte: Autores.

Tabela 5 - Comparativo de fluxos para Promethee II.

|           | $\phi +$ | $\phi -$ | $\phi$ |
|-----------|----------|----------|--------|
| <b>A1</b> | 0,164    | 0,095    | 0,070  |
| <b>A2</b> | 0,229    | 0,077    | 0,152  |
| <b>A3</b> | 0,083    | 0,188    | -0,106 |
| <b>A4</b> | 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, 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 quem 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, uma 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.

| <b>Critério</b>  | <b>Cenário 1</b> | <b>Cenário 2</b> | <b>Cenário 3</b> | <b>Cenário 4</b> |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| <b>Econômico</b> | 0,25             | 0,20             | 0,20             | 0,20             |
| <b>Ambiental</b> | 0,25             | 0,20             | 0,35             | 0,30             |
| <b>Técnico</b>   | 0,25             | 0,30             | 0,10             | 0,30             |
| <b>Social</b>    | 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, as alternativas A1 e A2 preservam suas posições, confirmando a significativa viabilidade dessas soluções.

Tabela 7 - Resultados obtidos nos diferentes cenários.

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

Fonte: Autores.

## **5 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.

O Método Promethee 2 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.

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 recomendações para futuras pesquisas na área.

### REFERÊNCIAS

BEZERRA, S. T. M.; CHEUNG, P. B. **Perdas de água: Tecnologia de controle**. 1a.ed. UFPB. João Pessoa. 2013.

BEZERRA, S. T. M.; GOMES, H. P. **Controle de Perdas de Água**. In: Abastecimento de Água. Gomes, H. P. (Ed.), João Pessoa, p. 347-402, 2019.

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. 198-215, 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.