

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

INDICADORES DE DESEMPENHO PARA AVALIAÇÃO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DE UMA BACIA DE ESGOTAMENTO EM FORTALEZA, CEARÁ, BRASIL

* Stephanie de Oliveira Souza ¹
Ana Bárbara de Araújo Nunes ¹

PERFORMANCE INDICATORS FOR THE EVALUATION OF WASTEWATER TREATMENT PLANTS IN A SEWAGE BASIN IN FORTALEZA, CEARÁ, BRAZIL

Recibido el 22 de abril de 2022. Aceptado el 8 de agosto de 2022

Abstract

Wastewater treatment plant are considered punctual sources of pollution, which may compromise the receiving water bodies. The effective and efficient performance of WWTPs contributes to the sustainable management of water resources. In this study, the most relevant performance indicators (PIs) for evaluating the performance of WWTPs in a sewage basin in the city of Fortaleza, Ceará, Brazil, were selected and analyzed based on expert opinions. The answers obtained through the Delphi method were used to define the weights of the PIs, using the AHP method. Of the 18 selected PIs, the following stand out: "Removal of polluting load from affluent sewage at the treatment plant", "Conformity of analyzes of treated sewage for total suspended solids" and "Compliance of analyzes of treated sewage for BOD". Then, the global performances of 3 WWTPs in the study area were determined by the TOPSIS-Sort multicriteria method. The WWTPs Aldemir Martins and José Euclides obtained "Unsatisfactory" performance, while the WWTP Castelão obtained "Satisfactory". It's expected that the PIs structured in this study will be used by the actors involved in the decision-making process, as well as the methodology developed can be applied in other studies, considering their characteristics and local conditions.

Keywords: wastewater treatment plant, multi-criteria decision analysis, Analytic Hierarchy Process, Delphi method, TOPSIS-Sort.

¹ Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Brasil.

* *Autor correspondente:* Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará. Bloco 713, Avenida Humberto Monte, S/N, Campus do Pici. Fortaleza, Ceará. CEP 60451-970, Brasil. Email: stephanieosouza26@gmail.com

Resumo

As estações de tratamento de esgotos são consideradas fontes pontuais de poluição, podendo ocasionar o comprometimento dos corpos hídricos receptores. O desempenho eficaz e eficiente das ETEs contribui para a gestão sustentável dos recursos hídricos. Neste estudo, indicadores de desempenho (IDs) mais relevantes para a avaliação do desempenho de ETEs de uma bacia de esgotamento no município de Fortaleza, Ceará, Brasil, foram selecionados e analisados com base nas opiniões de especialistas. As respostas obtidas por meio do método Delphi foram utilizadas para definir os pesos dos IDs, utilizando o método AHP. Dos 18 IDs selecionados, destacaram-se: “Remoção de carga poluente do esgoto afluente na estação de tratamento”, “Conformidade das análises de esgoto tratado para sólidos suspensos totais” e “Conformidade das análises de esgoto tratado para DBO”. Em seguida, os desempenhos globais de 3 ETEs da área de estudo foram determinados pelo método multicritério TOPSIS-Sort. As ETEs Aldemir Martins e José Euclides obtiveram desempenho “Insatisfatório”, enquanto a ETE Castelão obteve “Satisfatório”. Espera-se que os IDs estruturados neste estudo sejam utilizados pelos atores envolvidos no processo de tomada de decisão, bem como a metodologia desenvolvida possa ser aplicada em outros estudos, considerando suas características e condições locais.

Palavras-chave: estações de tratamento de esgotos, método multicritério de apoio à decisão, método AHP, método Delphi, TOPSIS-Sort.

Introdução

Nos últimos anos, as águas residuais se tornaram um fator importante para a qualidade das águas doces e a saúde humana. O gerenciamento dessas águas é um processo complexo, que abrange geração de efluentes, redes de esgoto, tratamento de efluentes e reintegração de subprodutos ao meio ambiente. O interesse pelo desenvolvimento e implementação de sistemas de tratamento de esgotos vem aumentando devido à adoção de regulamentações destinadas a minimizar o impacto das águas residuais sobre os corpos d'água receptores (Sala-Garrido *et al.*, 2011). De certo, o número de ETEs em todo o mundo aumentará e com isso crescerá a necessidade de avaliação da ecoeficiência desses sistemas, quanto à sustentabilidade (Dong *et al.*, 2017).

A avaliação da eficiência dessas unidades permite a comparação de desempenhos, fornece informações quantitativas em dado momento no tempo, possibilita a identificação das melhores práticas e favorece o reúso da água, contribuindo para uma gestão sustentável dos recursos hídricos e controle da qualidade da água devolvida ao meio ambiente (Castellet e Molinos-Senante, 2016).

Mahjouri *et al.* (2017) ressaltam que o uso de um sistema de controle efetivo da poluição da água e a proteção da sua qualidade são pontos considerados cruciais para países que sofrem alta pressão ambiental e escassez de recursos hídricos. No Brasil, destaca-se o Semiárido que sofre forte restrição em seu desenvolvimento socioeconômico devido às especificidades da região, como irregularidade das chuvas e os baixos índices pluviométricos (abaixo de 800 mm por ano). A sua principal limitação quanto aos recursos ambientais reside sobre a escassez

hídrica (Garcia *et al.*, 2015). A região semiárida ocupa cerca de 12% do território brasileiro (1.03 milhão de km²), abrange 1,262 municípios e aproximadamente 27 milhões de pessoas vivem nessa região (Vasconcelos, 2021).

Nesse sentido, novas abordagens para a gestão das ETEs são necessárias, visando à sustentabilidade e o fortalecimento da gestão das bacias hidrográficas. Sabe-se que a problemática em questão envolve múltiplos critérios, uma pluralidade de pontos de vista, diversos atores de decisão e alternativas. Nesse contexto, a utilização de metodologias multicritério de apoio à decisão é indicada para auxiliar os decisores, em situações nas quais há a necessidade de identificação de prioridades, principalmente, quando coexistem interesses em conflito.

Diante disso, este estudo teve como objetivo aplicar os métodos multicritério Delphi, *Analytic Hierarchy Process* (AHP) com *ratings* e *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) para identificar e classificar um conjunto de indicadores mais relevantes à avaliação do desempenho global de ETEs de uma bacia de esgotamento no município de Fortaleza, Ceará, Brasil, considerando aspectos ambientais e operacionais dessas unidades. Particularmente, esses métodos foram escolhidos em virtude de sua ampla aplicabilidade a diferentes problemas envolvendo recursos ambientais e sustentabilidade.

Metodologia

Área de estudo

A área de estudo foi a Bacia de esgotamento sanitário do Rio Cocó, que contempla 65 bairros do município de Fortaleza, capital do estado do Ceará, Brasil. O processo de tratamento dos efluentes dessa bacia ocorre em estações de tratamento de esgotos. A Bacia do Rio Cocó contabiliza 55 ETEs de vários tipos, porte e condições de operação diferenciadas, como decantodigestores associados a filtros anaeróbios, lagoas de estabilização, lodos ativados e reatores anaeróbios. O serviço de esgotamento sanitário é prestado pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece).

A tecnologia de tratamento escolhida para aplicação dos métodos multicritério foi reatores anaeróbios. Os reatores anaeróbios, como tratamento ou pré-tratamento de outros processos, são os mais utilizados no Brasil com 1,373 unidades, de acordo com o último levantamento. A concepção mais comum, registrada com 212 unidades, foi reator anaeróbio seguido de filtro aeróbio e decantador secundário final (ANA, 2020). Mediante o exposto, a escolha da configuração de tratamento se justifica pela representação da concepção mais comum no País e por apresentar um quantitativo de ETEs na Bacia do Rio Cocó que viabilizou a exibição da metodologia e dos resultados obtidos no formato do presente periódico. Na Tabela 1 estão

listadas as ETEs Aldemir Martins (Figura 1), José Euclides (Figura 2) e Castelão (Figura 3) que utilizam reatores UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) seguido de Filtro Aerado Submerso (FSA) e decantador lamelar.

Tabela 1. Características das ETEs do estudo de caso.

ETE	Descrição	Endereço	Destino final do efluente
Aldemir Martins	ETE de pequeno porte composta de tratamento preliminar (gradeamento, caixa de areia e calha Parshall), duas bombas submersíveis, 02 reatores UASB em paralelo seguidos de 02 FSA e 02 decantadores lamelar, com desinfecção	Rua Chico da Silveira, S/N, Sitio Ancuri	Galeria de águas pluviais
José Euclides	ETE de pequeno porte composta de tratamento preliminar (gradeamento, caixa de areia e calha Parshall), duas bombas submersíveis, 02 reatores UASB em paralelo seguidos de 02 FSA e 02 decantadores lamelar, com desinfecção	Rua B - Conjunto Residencial José Euclides, S/N, Jangurussu	Rio Cocó
Castelão	ETE de pequeno porte com grade, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção, 02 bombas submersíveis, 02 reatores UASB em paralelo seguidos de 01 FSA, 01 decantador lamelar, 01 tanque de contato e 02 filtros de areia e desinfecção	Avenida Alberto Craveiro, 2900, Castelão	Galeria de águas pluviais



Figura 1. ETE Aldemir Martins.



Figura 2. ETE José Euclides.



Figura 3. ETE Castelão.

Seleção de indicadores de desempenho para avaliação de ETEs

Bezerra *et al.* (2019) pontuam que indicadores de desempenho (IDs) são capazes de possibilitar uma visão abrangente, de modo a se obter avaliações consistentes sobre o desempenho de diferentes serviços. A sua quantificação pode impulsionar bastante os processos de tomada de decisão, uma vez que permitem a identificação de problemas e a consequente promoção de medidas corretivas, além de apoiarem à formulação de ações, políticas e estratégias mais eficientes.

No setor de saneamento, várias organizações propuseram diferentes IDs cobrindo todas as tarefas fundamentais dos sistemas de águas residuais. Dimensões de avaliação foram propostas a depender da finalidade de utilização e atributos dos indicadores. Neste estudo, elegeu-se trabalhar com as dimensões ambiental e operacional para avaliar o desempenho das ETEs de estudo quanto ao possível comprometimento da qualidade dos corpos hídricos receptores pelo lançamento de efluentes tratados.

A dimensão ambiental abrangeu indicadores referentes aos impactos ambientais, incluindo o atendimento aos padrões de lançamento, frequência de eventos de extravasamento das vazões afluentes derivadas para o corpo receptor e a disposição final dos resíduos sólidos. A dimensão operacional compreendeu o funcionamento, a manutenção do sistema e a capacidade de operação do tratamento, incluindo o monitoramento da qualidade do esgoto.

Para estruturar o conjunto de IDs mais adequados à avaliação de ETEs, levantaram-se indicadores com aplicação geral ao sistema de esgotamento sanitário de 13 entidades da área de saneamento (IWA, AWWA, WSAA, ISO, IBNET, ADERASA, ERSAR, OFWAT, SSCG, SNIS, ABAR, PNQS e ARCE). Desse levantamento inicial, selecionaram-se apenas os IDs mais adequados à avaliação de ETEs, pois os sistemas analisados apresentam uma abordagem abrangente.

Para esse fim, consideraram-se os critérios aplicabilidade (aplicação na avaliação de ETEs) e redundância (indicadores semelhantes) para a seleção dos IDs nas dimensões ambiental e operacional. Características de contexto local do sistema avaliado foram observadas na seleção, na formulação de novos IDs e na adaptação de algumas variáveis, unidades e nomenclaturas.

Determinação dos pesos dos critérios e dos indicadores pelo método AHP com ratings

Esta etapa teve como objetivo determinar os pesos dos critérios e dos IDs selecionados. Para isso, aplicou-se o método multicritério AHP (*Analytic Hierarchy Process*) que é uma teoria de medição por meio de comparações de pares e se baseia nos julgamentos de especialistas para obter escalas de prioridades. Esse método tem como vantagem a capacidade de integrar os fatores quantitativos e qualitativos obtidos das opiniões de especialistas e categorizá-los em um *ranking* multicritério (Nam *et al.*, 2019).

Neste estudo, utilizou-se o método AHP com *ratings*, em que se estabelecem categorias de classificação (*ratings*) para cada critério e se prioriza as categorias comparando-as aos pares por preferência. As alternativas são avaliadas selecionando a categoria de classificação (*ratings*) em que se enquadram em cada critério. Esse método apresenta como vantagem poder classificar muitas alternativas com bastante rapidez, gerando resultados satisfatoriamente próximos do modelo tradicional.

A Figura 4 mostra a estrutura hierárquica do problema de estudo pelo método AHP com *ratings*. A primeira etapa foi a estruturação do problema como uma hierarquia, em que o objetivo da decisão, os critérios com suas respectivas categorias (*ratings*) e as alternativas foram definidos. No primeiro nível da hierarquia estava o objetivo geral de “Avaliação de estações de tratamento de esgotos por meio de indicadores de desempenho”.

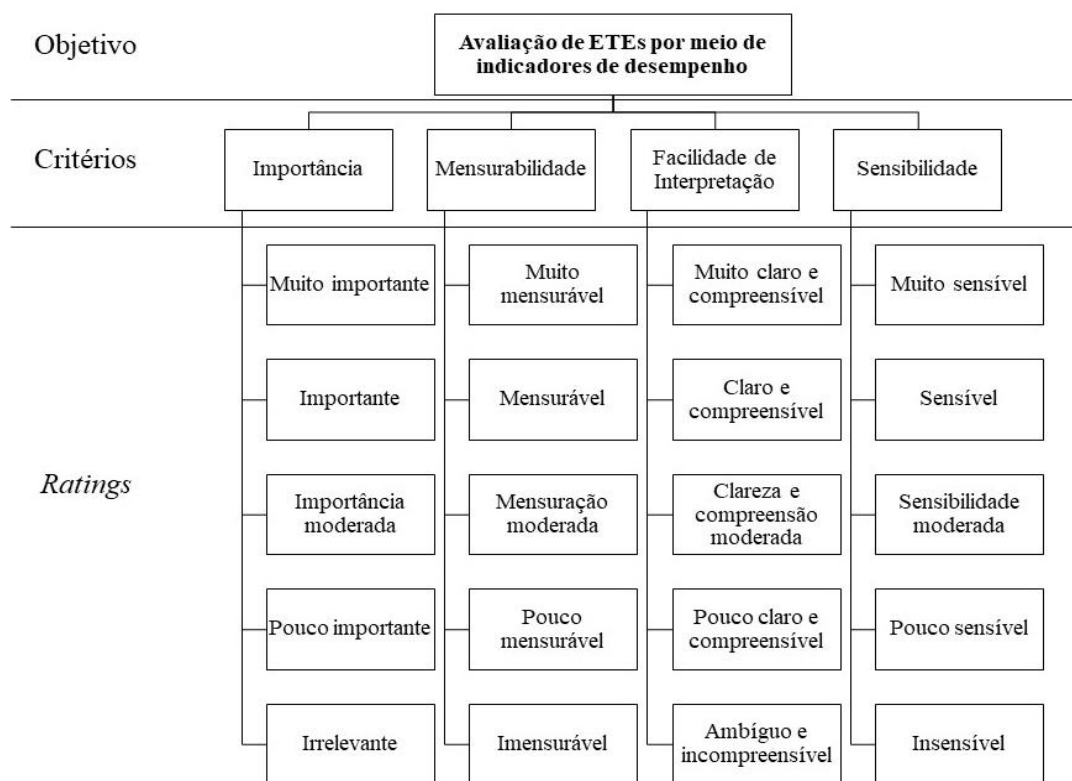


Figura 4. Estrutura hierárquica do problema pelo método AHP com *ratings*.

No segundo nível estavam os critérios que contribuem para atingir o objetivo. Os critérios selecionados para avaliação estavam dentre os principais atributos de indicadores levantados na literatura (Alegre *et al.*, 2004; Matos *et al.*, 2004). Os critérios escolhidos foram:

- importância: relevância do ID para a avaliação de ETEs, representando processos e atividades;
- mensurabilidade: facilidade de obtenção do ID a partir de dados disponíveis e determinados regularmente;
- facilidade de interpretação: o ID é definido claramente, de fácil compreensão e de interpretação única;
- sensibilidade: o ID reflete um efeito cuja causa é passível de mudança.

Por fim, no nível inferior estão as alternativas (IDs) que devem ser avaliadas em termos dos critérios definidos no segundo nível.

Após a construção da hierarquia, iniciou-se o processo de julgamento (segunda etapa) quando os especialistas, consultados por meio do método Delphi, expressaram suas preferências através das matrizes de comparação pareada dos critérios e das categorias (*ratings*), com base na adaptação da Escala Fundamental de Saaty (Saaty e Vargas, 2001) (Tabela 2).

Tabela 2. Adaptação da Escala Fundamental de Saaty.

Escala adaptada	Definição	Explicação
1	Igual importância	Duas atividades contribuem igualmente
3	Importância fraca	A experiência e o julgamento favorecem ligeiramente uma das atividades
5	Importância forte	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade sobre a outra
7	Importância muito forte	Uma atividade é fortemente favorecida em relação a outra; sua dominância é demonstrada na prática
9	Importância absoluta	A evidência que favorece uma atividade sobre a outra é da mais alta ordem de afirmação possível
Recíprocos	Se a atividade <i>i</i> possui um dos números acima, quando comparada com a atividade <i>j</i> , então <i>j</i> terá o valor inverso quando comparada com <i>i</i>	

Quanto as categorias dos critérios (*ratings*), estabeleceram-se cinco níveis de intensidade para todos os critérios, de forma a se obter as suas prioridades idealizadas, ou seja, a melhor categoria recebe o valor 1 e as demais são proporcionalmente menores. Por exemplo, os níveis de intensidade do critério “Importância” foram: Muito importante, Importante, Importância moderada, Pouco importante e Irrelevante. Em seguida, esses níveis foram comparados aos pares, com base na adaptação da Escala Fundamental de Saaty, para estabelecer as prioridades e normalizá-las. Assim, as prioridades encontradas foram divididas pelo maior valor entre elas, de modo que a categoria “Muito importante” apresentou valor 1 e as demais foram proporcionalmente menores (Tabela 3).

Tabela 3. Matriz de comparação pareada das categorias (*ratings*) do critério “Importância”.

RC= 0.0530	Muito importante	Importante	Importância moderada	Pouco importante	Irrelevante	Prioridade	Prioridade idealizada
Muito importante	1	3	5	7	9	0.5128	1.000
Importante	1/3	1	3	5	7	0.2615	0.5099
Importância moderada	1/5	1/3	1	3	5	0.1290	0.2515
Pouco importante	1/7	1/5	1/3	1	3	0.0634	0.1236
Irrelevante	1/9	1/7	1/5	1/3	1	0.0333	0.0650

O método AHP permite, por meio da proposição de índices, avaliar a consistência dos julgamentos estabelecidos nas comparações par a par. A Razão de Consistência dos julgamentos (Equação 1) é obtida comparando o Índice de Consistência (IC) (Equação 2), referente ao maior autovalor da matriz de decisão (λ_{max}) e a ordem da matriz (n), com o Índice de Consistência Randômico (IR), número tabelado correspondente a ordem da matriz (Tabela 4).

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad \text{Equação (1)}$$

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad \text{Equação (2)}$$

Tabela 4. Valores de IR para matrizes de ordem n.

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IR	0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49

Fonte: Saaty e Vargas (2001).

De acordo com Saaty e Vargas (2001), é desejável que a Razão de Consistência dos julgamentos seja menor que 0.10 (< 10%), caso contrário os julgamentos inconsistentes devem ser revistos para melhorar a consistência dessa matriz de comparação. Quanto mais próximo de n estiver o autovalor λ_{max} , mais coerentes serão os julgamentos do decisor. Uma vez realizadas todas as comparações e verificada a consistência dos julgamentos de cada especialista foram registrados os vetores de prioridades e as prioridades idealizadas das categorias. Consultar Saaty e Vargas (2001) para mais detalhes do método AHP com *ratings*.

Na terceira etapa, as prioridades finais das alternativas foram identificadas, adicionando-se os valores provenientes da multiplicação entre as prioridades de cada categoria e as prioridades globais dos critérios dessas categorias (Françoze *et al.*, 2019). Neste estudo, o método AHP com *ratings* foi implementado por meio do *software Super Decisions* (Creative Decisions Foundation, 2021).

Quando há mais de um indivíduo participando do processo de decisão, pode-se agregar as suas preferências individuais em uma preferência de grupo. Essa agregação dependerá de como o grupo deseja atuar, se junto como uma unidade ou como indivíduos separados. Quando os indivíduos estão agindo cada um por si, com diferentes sistemas de valores, preocupa-se com as prioridades alternativas resultantes de cada um, sendo necessário fazer uma Agregação de Prioridades Individuais (AIP).

Os cálculos da abordagem AIP foram feitos usando a média aritmética e considerando o mesmo peso para todos os especialistas participantes. A aplicação da AIP ocorreu em planilha eletrônica. Ao final, obteve-se o *ranking* de prioridades dos IDs, representado pelos pesos das alternativas na hierarquia do problema. A Figura 5 apresenta o fluxograma com o procedimento seguido para a determinação dos pesos dos IDs.

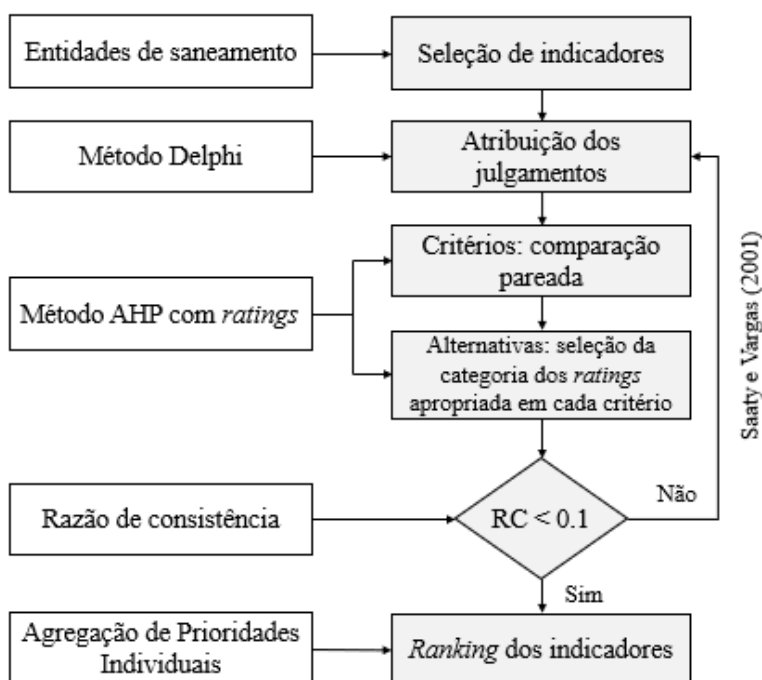


Figura 5. Fluxograma do procedimento de determinação dos pesos dos IDs.

Avaliação dos IDs pelo método Delphi

Visto que a segunda etapa da aplicação do método AHP é o processo de julgamento dos especialistas, o objetivo desta seção foi a construção das matrizes de comparação par a par necessárias para o cálculo das prioridades finais das alternativas. A determinação da importância relativa dos critérios e a avaliação dos indicadores (alternativas) foram feitas por um grupo de especialistas da área de saneamento mediante a aplicação do método Delphi. Esse método se caracteriza como um método de tomada de decisão baseado em opiniões de especialistas, podendo ser empregado para determinar fatores relevantes e priorizá-los com base em sua importância no processo de tomada de decisão (Zangenehmadar e Moselhi, 2016).

O procedimento de seleção dos especialistas é de grande importância para o processo de apoio à decisão. O painel foi formado por indivíduos com conhecimentos avançados relacionados ao tema em questão. Os atores de decisão consultados como representantes do contexto das ETEs foram: companhias de saneamento; órgãos de regulação e fiscalização ambiental; pesquisadores em tratamento de esgotos; e, consultores da área de saneamento.

O questionário é a principal ferramenta de pesquisa e coleta de dados do método Delphi. Elaborou-se um questionário para a consulta na plataforma *Google Forms*, o qual foi enviado para 110 profissionais da área de contexto. A maioria dos estudos utiliza painéis com 10 a 50 especialistas (Nygren *et al.*, 2017). Não há um requisito específico para o tamanho do grupo de especialistas, porém o objetivo, o *design* do método, a ferramenta de coleta de dados, os custos e o prazo determinam o tamanho e a heterogeneidade do painel (Gbededo e Liyanage, 2020).

Os dados de entrada coletados foram usados para implementação do método AHP. Um total de 28 especialistas responderam ao questionário, determinando a importância relativa de cada critério par a par e a avaliação dos indicadores por meio de variáveis linguísticas. Observou-se uma maior adesão à consulta Delphi proposta dos representantes das companhias de saneamento (39%), seguido por atores dos órgãos de regulação (29%), pesquisadores da área de saneamento de instituições públicas (18%), representantes de órgãos ambientais (7%) e consultores autônomos da área de saneamento (7%).

No questionário, a representação da intensidade de importância de um critério em relação ao outro foi feita pela aplicação da Escala Fundamental de Saaty adaptada (Tabela 2). Os indicadores foram avaliados a partir da valoração atribuída pelos especialistas para cada um dos quatro critérios, selecionando a categoria (*ratings*) mais adequada ao indicador naquele critério.

Procedimento de avaliação dos desempenhos globais das ETEs

Esta etapa definiu os desempenhos globais das ETEs por meio da classificação em uma das seguintes categorias de avaliação: “Bom”, “Satisfatório”, “Insatisfatório” e “Ruim”.

Primeiramente, estabeleceram-se faixas de valores ou as situações correspondentes às categorias de avaliação para cada ID.

Em seguida, levantou-se o desempenho individual das ETEs em cada ID, tendo como base de avaliação o ano de 2020 e os dados fornecidos pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará. O objetivo foi a construção da matriz de avaliação para a aplicação do método multicritério TOPSIS-Sort, adaptação do método TOPSIS para a problemática de classificação.

O método TOPSIS é uma ferramenta muito conhecida e utilizada em apoio à tomada de decisão multicritério (Sabokbar *et al.*, 2016). É estruturado de tal forma que as melhores alternativas são as que estão mais próximas de uma solução ideal (A^+) e mais distantes de uma solução anti-ideal (A^-). Neste cálculo, as distâncias euclidianas são adotadas para medir a distância de cada alternativa para essas soluções de referência. O coeficiente de proximidade é calculado para cada alternativa e as alternativas são elencadas em ordem decrescente de seus respectivos coeficientes (Silva, 2018; Silva *et al.*, 2020).

No método TOPSIS-Sort, proposto por Sabokbar *et al.* (2016), são pré-definidas de forma ordinal q classes $\{C_1 > C_2 > C_3 > \dots > C_q\}$. Perfis de contorno (P_k), no total de $q-1$, são necessários para definir essas diferentes classes do problema. Para cada classe, são definidos dois perfis, um perfil de limite superior e um de limite inferior. Assim, o perfil P_k funciona como o limite inferior da classe C_k e o limite superior da classe C_{k+1} . Do mesmo modo que as alternativas do problema, os perfis de contorno possuem valores de desempenho para cada um dos critérios de avaliação. As alternativas são comparadas com os perfis para que possam ser alocadas entre as classes do modelo. Coeficientes de proximidade são calculados para as alternativas e para os perfis, de acordo com o procedimento TOPSIS tradicional. Em seguida, a classificação das alternativas é feita pela comparação dos seus coeficientes de proximidade com os coeficientes dos perfis (Silva, 2018; Silva *et al.*, 2020).

Neste estudo, as classes foram correspondentes às categorias de avaliação: C_1 (Bom), C_2 (Satisfatório), C_3 (Insatisfatório) e C_4 (Ruim). Os perfis de contorno P_1 , P_2 e P_3 receberam os valores dos limites inferiores das classes C_1 , C_2 e C_3 , respectivamente, que equivalem aos limites inferiores das faixas de valores definidas para as categorias “Bom”, “Satisfatório” e “Insatisfatório”. O procedimento do método TOPSIS-Sort para classificação de alternativas com vários critérios é apresentado nos seguintes passos (Silva, 2018):

- Passo 1: Determinar a matriz de decisão $X = (x_{ij})_{n \times m}$
- Passo 2: Estabelecer os perfis de decisão $P = \{P_1, P_2, \dots, P_{q-1}\}$
- Passo 3: Adicionar os perfis à matriz de decisão $M = \{X, P\}$
- Passo 4: Normalizar a matriz de decisão M a partir da equação:

$$r_{ij} = \frac{M_{ij}}{\max_{1 \leq i \leq n+q-1} M_{ij}}, \text{ com } i = 1, \dots, (n+q-1); j = 1, \dots, m \quad \text{Equação (3)}$$

- Passo 5: Calcular a matriz de decisão $V = (v_{ij})_{n \times m}$ normalizada pelos pesos w_j

$$v_{ij} = w_j r_{ij}, \text{ com } i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m; \quad \text{Equação (4)}$$

$$\sum_{j=1}^m w_j = 1 \quad \text{Equação (5)}$$

- Passo 6: Determinar as soluções ideal e anti-ideal

$$A^+ = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_m^+\} = \{\max_j v_{ij} \mid j \in G^+, \min_j v_{ij} \mid j \in G^-\} \quad \text{Equação (6)}$$

$$A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_m^-\} = \{\min_j v_{ij} \mid j \in G^+, \max_j v_{ij} \mid j \in G^-\} \quad \text{Equação (7)}$$

Em que: G^+ e G^- estão associados aos critérios de benefício e custo, respectivamente.

- Passo 7: Computar as distâncias euclidianas de cada alternativa para as soluções ideal e anti-ideal:

$$D^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^+)^2}, \text{ com } i = 1, \dots, n \quad \text{Equação (8)}$$

$$D^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^-)^2}, \text{ com } i = 1, \dots, n \quad \text{Equação (9)}$$

- Passo 8: Calcular os coeficientes de proximidade das alternativas para a solução ideal com base nas distâncias obtidas no passo anterior

$$Cl(x_i) = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}, \text{ com } i = 1, \dots, n \quad \text{Equação (10)}$$

- Passo 9: Definir os coeficientes de proximidade dos perfis $Cl(P_k)$, com $k = 1, \dots, q-1$

- Passo 10: Classificar as alternativas por meio das comparações entre os coeficientes de proximidade das alternativas e dos perfis

$$x_i \in C_1 \text{ se } Cl(x_i) \geq Cl(P_1)$$

$$x_i \in C_k \text{ se } Cl(P_{k-1}) > Cl(x_i) \geq Cl(P_k), k = 2, \dots, q-1$$

$$x_i \in C_q \text{ se } Cl(x_i) < Cl(P_{q-1})$$

O método TOPSIS-Sort necessita da atribuição de pesos (w_j) aos critérios de avaliação. Os pesos utilizados foram os obtidos pelo método AHP com *ratings*. No procedimento de cálculo, executado em planilha eletrônica, as alternativas foram as ETes e os critérios foram os IDs. Após a implementação do procedimento, os desempenhos globais das ETes em uma das categorias de avaliação foram obtidos.

Resultados

Seleção e avaliação dos indicadores de desempenho

A partir da revisão de literatura, realizou-se a triagem de 615 IDs, considerando para a seleção somente os IDs mais adequados à avaliação das ETEs e às características da área de estudo, divididos nas dimensões ambiental e operacional. Segundo Cossio *et al.* (2020), o desenvolvimento de indicadores contextualizados garante o monitoramento eficaz de questões que são fundamentais para o contexto local. Assim, IDs referentes a problemas identificados nas ETEs de estudo foram propostos, como ocorrência de maus odores, irregularidade da licença de operação, estado de conservação, existência de programas de manutenção preventiva e plano de ações de emergências e contingências para o caso de paralisação das ETEs. A Tabela 5 apresenta os 18 indicadores selecionados nas respectivas dimensões e unidades.

Tabela 5. Dimensões e indicadores de desempenho selecionados para o estudo

Dimensão	Indicador	Unidade	Entidade
Ambiental	Reuso de esgoto tratado (AM1)	%	IWA, ABNT NBR ISO 24511
	Disposição satisfatória de lodo (AM2)	%	OFWAT, IWA, ERSAR, Six-Cities Group
	Remoção de carga poluente do esgoto recebido na estação de tratamento (AM3)	%	PNQS, Six-Cities Group
	Frequência de extravasamentos (AM4)	-/ano	IWA
	Reclamações relativas a odor (AM5)	nº/1000 hab./ano	IWA
	Situação da Licença de Operação da ETE (AM6)	-	Proposto pelos autores
Operacional	pH (OP1.1)		
	temperatura (OP1.2)		
	sulfeto (OP1.3)		
	materiais sedimentáveis (OP1.4)		
	Conformidade das análises de esgoto tratado (OP1.5)	%	ABAR, ADERASA, AWWA
	óleos e graxas (OP1.6)		
	materiais flutuantes (OP1.7)		
	sólidos suspensos totais (OP1.8)		
	coliformes termotolerantes (OP1.9)		
	Estado de conservação da ETE (OP2)	-	Proposto pelos autores
Existência de plano de ações de emergências e contingências no caso de paralisação da ETE (OP3)	-	Proposto pelos autores	
Existência de programa de manutenção preventiva (OP4)	-	Proposto pelos autores	

Após a seleção, ocorreu a consulta aos especialistas da área por meio do método Delphi. Após realizar uma rodada do método, percebeu-se que as 28 respostas recebidas foram suficientes para subsidiar as tomadas de decisão desejadas (Material complementar - Tabelas 1 e 2). O objetivo do método Delphi não é chegar a uma resposta única ou a um consenso, mas atingir o maior número possível de respostas e opiniões de grande qualidade de um grupo de especialistas, de modo a subsidiar tomadas de decisão (Marques e Freitas, 2018).

Ranking dos IDs pelo método AHP com ratings

A Tabela 6 apresenta o *ranking* dos pesos dos IDs obtidos pela aplicação do método AHP com *ratings* e abordagem AIP (Material complementar - Tabelas 3 e 4)

Tabela 6. *Ranking* final das alternativas.

Ordem	Indicador	Prioridades (Pesos)
1	Remoção de carga poluente do esgoto recebido na estação de tratamento (AM3)	0.0694
2	Conformidade das análises de esgoto tratado para sólidos suspensos totais (OP1.8)	0.0644
3	Conformidade das análises de esgoto tratado para DBO (OP1.5)	0.0621
4	Conformidade das análises de esgoto tratado para coliformes termotolerantes (OP1.9)	0.0619
5	Situação da Licença de Operação da ETE (AM6)	0.0615
6	Disposição satisfatória de lodo (AM2)	0.0604
7	Conformidade das análises de esgoto tratado para materiais sedimentáveis (OP1.4)	0.0589
8	Existência de programa de manutenção preventiva (OP4)	0.0584
9	Existência de plano de ações de emergências e contingências no caso de paralisação da ETE (OP3)	0.0557
10	Reclamações relativas a odor (AM5)	0.0549
11	Reuso de esgoto tratado (AM1)	0.0548
12	Estado de conservação da ETE (OP2)	0.0515
13	Frequência de extravasamentos (AM4)	0.0514
14	Conformidade das análises de esgoto tratado para pH (OP1.1)	0.0500
15	Conformidade das análises de esgoto tratado para óleos e graxas (OP1.6)	0.0476
16	Conformidade das análises de esgoto tratado para materiais flutuantes (OP1.7)	0.0470
17	Conformidade das análises de esgoto tratado para temperatura (OP1.2)	0.0454
18	Conformidade das análises de esgoto tratado para sulfeto (OP1.3)	0.0448

Destacam-se os IDs que apresentaram pesos mais elevados: “Remoção de carga poluente do esgoto recebido na estação de tratamento”, “Conformidade das análises de esgoto tratado para sólidos suspensos totais”, “Conformidade das análises de esgoto tratado para DBO” e “Conformidade das análises de esgoto tratado para coliformes termotolerantes”.

Esse resultado demonstra que os parâmetros Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e sólidos suspensos totais (SST) e coliformes termotolerantes (CTT) possuem grande influência na avaliação operacional e no atendimento aos padrões e condições de lançamento de efluentes tratados das ETEs, conforme os especialistas consultados. Essa maior influência reflete a associação desses parâmetros aos constituintes convencionais da qualidade da água e, portanto, os mais utilizados para avaliar o desempenho das ETEs.

A importância das ações da prestadora de serviços quanto ao monitoramento dos impactos ambientais gerados pelas ETEs, bem como das ações fiscalizadoras dos órgãos ambientais competentes é evidenciada pela ponderação conferida ao indicador “Situação da Licença de Operação da ETE”. A “Disposição satisfatória de lodo” também foi considerada um importante ID, cuja gestão é um dos problemas enfrentados nas ETEs. As práticas de tratamento e disposição do lodo são importantes para a proteção ambiental, pois o teor de poluentes orgânicos residuais, metais tóxicos e microrganismos patogênicos podem causar problemas de saúde, precisando ser removidos (GHERGHEL *et al.*, 2019).

Avaliação das ETEs pelo desempenho global

As 3 ETEs do estudo de caso tiveram seus desempenhos avaliados em relação aos critérios de avaliação. A Tabela 7 mostra as faixas de valores ou situações correspondentes às quatro categorias de desempenho definidas para cada critério. Pontua-se que poucas entidades nacionais e internacionais da área de saneamento disponibilizam valores de referência para seus indicadores. Assim, os critérios AM1, AM2, AM4, AM5, OP3 e OP4 foram avaliados por respostas do tipo “Sim” ou “Não”, referentes a existência ou ausência do objeto de apreciação do indicador pela ETE. Os critérios AM6 e OP2 foram medidos pela identificação da situação hipotética, estabelecida para cada categoria de desempenho, que melhor define o estado real da ETE. Essas respostas também foram representadas numericamente por uma escala entre 0 e 1 (zero representa o pior desempenho e um indica o melhor), a fim de definir os limites superior e inferior das classes C₁ (Bom), C₂ (Satisfatório), C₃ (Insatisfatório) e C₄ (Ruim) necessários à aplicação do método TOPSIS-Sort.

Os valores de referência para o critério OP1 se basearam em valores utilizados pela ERSAR (Alegre *et al.*, 2020) para indicadores similares. No caso do critério AM3, as categorias de desempenho assumiram as faixas de eficiência na remoção de carga orgânica conforme a tipologia UASB, estabelecidas na atualização da base de dados de ETEs no Brasil do Atlas Esgotos (ANA, 2020). Desta maneira, os perfis de contorno P₁, P₂ e P₃ de cada critério de avaliação foram os limites inferiores das faixas de valores estabelecidas para as categorias “Bom”, “Satisfatório” e “Insatisfatório”, assinaladas em negrito na Tabela 7. Alguns critérios de avaliação não tiveram todas as suas categorias definidas, pois as situações hipotéticas de referência estabelecidas nas outras categorias foram suficientes para apreciar o estado real da ETE, como foi o caso do critério AM2, analisado somente pelas categorias “Bom”, “Satisfatório” e “Ruim”.

Tabela 7. Intervalos das categorias de desempenho para cada critério de avaliação.

Critério de avaliação	Intervalos das categorias de desempenho			
	Bom	Satisfatório	Insatisfatório	Ruim
Reuso de esgoto tratado/ Há reuso de esgoto tratado? (AM1)	Sim, totalmente (1-0.75)	Sim, parcialmente (0.75-0.5)	Não (0.5-0.25)	- (0.25-0)
Disposição satisfatória de lodo/ Há disposição satisfatória de lodo? (AM2)	Sim, totalmente (1-0.75)	Sim, parcialmente (0.75-0.5)	- (0.5-0.25)	Não (0.25-0)
Remoção de carga poluente do esgoto recebido na estação de tratamento (Diferença de concentração entre DQO afluente e DQO efluente/concentração de DQO afluente * 100) (AM3)	100-95	95-85	85-75	75-0
Frequência de extravasamentos/ Há extravasamentos periódicos? (AM4)	Não (1-0.75)	- (0.75-0.5)	Sim, extravasamentos esporádicos (0.5- 0.25)	Sim, extravasamentos frequentemente (0.25- 0)
Reclamações relativas a odor/ Há reclamações de mau odor? (AM5)	Não (1-0.75)	- (0.75-0.5)	Sim, exalação esporádica (0.5-0.25)	Sim, exalação frequente (0.25-0)
Situação da Licença de Operação (LO) da ETE (AM6)	LO regular e cumprimento total das condicionantes (1-0.75)	LO regular e cumprimento parcial das condicionante s (0.75-0.5)	LO regular e condicionantes não atendidas (0.5-0.25)	LO irregular (0.25- 0)
Conformidade das análises de esgoto tratado (Quantidade total de análises do parâmetro do efluente em conformidade com as metas de concentração da legislação/ Quantidade total de análises realizadas no período de referência * 100)	pH (OP1.1) Temperatura (OP1.2) Sulfeto (OP1.3) Materiais sedimentáveis (OP1.4) DBO (OP1.5) Óleos e graxas (OP1.6) Materiais flutuantes (OP1.7) Sólidos suspensos totais (OP1.8) Coliformes termotolerantes (OP1.9)	100	100-95	95-80
Estado de conservação da ETE (OP2)	Bom funcionamento (1- 0.75)	- (0.75-0.5)	Funcionamento deficiente (0.5-0.25)	- (0.25-0)
Existência de plano de ações de emergências e contingências no caso de paralisação da ETE (OP3)	Sim (1-0.75)	- (0.75-0.5)	- (0.5-0.25)	Não (0.25-0)
Existência de programa de manutenção preventiva (OP4)	Sim (1-0.75)	- (0.75-0.5)	- (0.5-0.25)	Não (0.25-0)

A Tabela 8 apresenta a matriz de decisão do problema, com os critérios, alternativas, perfis definidores das classes e os pesos. Os critérios foram de benefício, pois os valores dos perfis diminuem em direção às classes mais baixas à medida que sua adequação diminui. Os indicadores qualitativos receberam o valor intermediário da respectiva faixa de valores pertencente à categoria de desempenho que se adequaram, como: Bom–0.875; Satisfatório–0.625; Insatisfatório–0.375; e, Ruim–0.125.

Tabela 8. Matriz de decisão.

Critério ID	Alternativa (ETE)			Perfis			Pesos w_j
	Aldemir Martins	José Euclides	Castelão	P_1	P_2	P_3	
AM1	0.375	0.375	0.375	0.75	0.5	0.25	0.0548
AM2	0.875	0.875	0.875	0.75	0.5	0.25	0.0604
AM3	79.75	79.55	50.11	95	85	75	0.0694
AM4	0.875	0.375	0.875	0.75	0.5	0.25	0.0514
AM5	0.875	0.875	0.875	0.75	0.5	0.25	0.0549
AM6	0.125	0.125	0.875	0.75	0.5	0.25	0.0615
OP1.1	100	100	100	100	95	80	0.0500
OP1.2	100	100	100	100	95	80	0.0454
OP1.3	100	100	100	100	95	80	0.0448
OP1.4	100	50	100	100	95	80	0.0589
OP1.5	100	50	100	100	95	80	0.0621
OP1.6	100	100	100	100	95	80	0.0476
OP1.7	100	100	100	100	95	80	0.0470
OP1.8	83	50	100	100	95	80	0.0644
OP1.9	50	83	73	100	95	80	0.0619
OP2	0.875	0.375	0.875	0.75	0.5	0.25	0.0515
OP3	0.875	0.875	0.875	0.75	0.5	0.25	0.0557
OP4	0.125	0.125	0.125	0.75	0.5	0.25	0.0584

A partir da matriz de decisão normalizada e ponderada (Material complementar - Tabelas 5 e 6), foi possível calcular as distâncias euclidianas (D^+ e D^-), os coeficientes de proximidade de cada alternativa ($Cl(x_i)$) e alocar as alternativas às classes: Bom (B), Satisfatório (S), Insatisfatório (I) ou Ruim (R) (Tabela 9). Os desempenhos globais das ETEs Aldemir Martins e José Euclides foram classificados como “Insatisfatório”, enquanto a ETE Castelão obteve “Satisfatório”. Observou-se que o desempenho global refletiu os desempenhos nas dimensões ambiental e operacional separadamente.

No *ranking*, a ETE Castelão foi a alternativa com melhor desempenho global. Na dimensão ambiental, o desempenho “Satisfatório” foi obtido pela composição dos desempenhos: “Bom” para AM2, AM4, AM5 e AM6; “Insatisfatório” pela ausência de reuso de esgoto tratado (AM1); e “Ruim” devido à baixa remoção de DQO (AM3). Na dimensão operacional, destaca-se a classificação “Insatisfatório” em virtude da ausência de programa de manutenção preventiva (OP4) e a conformidade das análises de esgoto tratado para CTT (OP1.9).

Tabela 9. Classificação das ETEs em categorias de desempenho.

ETE/Perfis	Desempenho Global					Desempenho Ambiental				Dimensão Operacional			
	D ⁺	D ⁻	Cl(x _i)	Classe	Ranking	D ⁺	D ⁻	Cl(x _i)	Classe	D ⁺	D ⁻	Cl(x _i)	Classe
Aldemir Martins	0.105	0.084	0.554	I	2º	0.073	0.060	0.546	S	0.075	0.059	0.562	I
José Euclides	0.081	0.104	0.438	I	3º	0.063	0.067	0.485	S	0.050	0.079	0.388	I
Castelão	0.119	0.067	0.639	S	1º	0.087	0.043	0.671	S	0.080	0.051	0.610	I
P ₁	0.126	0.020	0.865	B	-	0.086	0.016	0.840	B	0.092	0.011	0.895	B
P ₂	0.084	0.066	0.563	S	-	0.049	0.053	0.483	S	0.068	0.039	0.638	S
P ₃	0.043	0.117	0.270	I	-	0.020	0.091	0.182	I	0.038	0.074	0.341	I

A ETE Aldemir Martins exibiu o desempenho “Satisfatório” devido à ausência de reuso de esgoto tratado, à baixa remoção de DQO e situação irregular da licença de operação (AM6). Na dimensão operacional, destacam-se a ausência de programa de manutenção preventiva e a conformidade das análises de esgoto tratado para SST (OP1.8) e CTT.

Em contrapartida, a ETE José Euclides apresentou a pior colocação no *ranking*, em razão da ausência de reuso de esgoto tratado, baixa remoção de DQO, extravasamentos esporádicos (AM4), situação irregular da licença de operação, ausência de programa de manutenção preventiva e a conformidade das análises de esgoto tratado para materiais sedimentáveis (OP1.4), DBO (OP1.5), SST e CTT.

Diante do exposto, a avaliação das ETEs por categorias de desempenho permitiu uma análise global dessas unidades, identificando as dimensões e os IDs que precisam de maior atenção por parte da companhia de saneamento e dos órgãos de fiscalização ambiental. O *ranking* das ETEs pode orientar a escolha entre as unidades para possíveis intervenções, visando a melhoria do tratamento das águas residuais e a qualidade da água dos corpos receptores desses efluentes.

Conclusões

Os métodos multicritério Delphi, AHP e TOPSIS-Sort se mostraram eficientes para alcançar o objetivo deste trabalho. A aplicação do método Delphi possibilitou identificar consensos e divergências de opiniões dos atores de decisão sobre os IDs selecionados para avaliar o desempenho das ETEs. O método AHP com *ratings* permitiu a avaliação e hierarquização dos indicadores segundo seus pesos. O método TOPSIS-Sort possibilitou a determinação do desempenho global das ETEs, representando adequadamente os desempenhos individuais identificados nessas unidades.

A metodologia deste trabalho pode ser aplicada a outros tipos de sistemas de tratamento e situações de contexto, possibilitando a variação dos indicadores de acordo com a disponibilidade de dados. Espera-se com esses resultados dar suporte aos atores de decisão do contexto das ETEs, fornecendo contribuições relevantes para a avaliação de inconformidades de natureza operacional e de atendimento aos padrões e condições de lançamento de efluentes tratados. Assim, será possível implementar ações que garantam a qualidade da água dos corpos hídricos receptores e a sustentabilidade das estações ao longo do tempo.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela Bolsa de Doutorado concedida à autora principal.

Referências bibliográficas

- Alegre, H., Hirner, W., Baptista, J. M., Parena, R. (2004) *Indicadores de Desempenho para Serviços de Abastecimento de Água*, International Water Association (IWA), Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR) e Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), London, 277 pp.
- Alegre, H.; Matos, R.; Neves, E.; Cardoso, A.; Duarte, P.; Baptista, J. M.; Simas, L. (2020) *Guia de avaliação da qualidade dos serviços de águas e resíduos prestados aos utilizadores. 3.ª geração do sistema avaliação*. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR) e Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa, 354 pp.
- ANA, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2020) *Atlas esgotos: atualização da base de dados de estações de tratamento de esgotos no Brasil*, Agência Nacional de Águas, Brasília, 44 pp.
- Bezerra, S. T. M., Pertel, M., Macêdo, J. E. S. (2019) Avaliação de desempenho dos sistemas de abastecimento de água do Agreste brasileiro, *Ambiente Construído*, **19**(3), 249-258. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212019000300336>
- Castellet, L., Molinos-Senante, M. (2016) Efficiency assessment of wastewater treatment plants: A data envelopment analysis approach integrating technical, economic, and environmental issues, *Journal of Environmental Management*, **167**, 160-166. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.11.037>
- Cossio, C., Norrman, J., Mcconville, J., Mercado, A., Rauch, S. (2020) Indicators for sustainability assessment of small-scale wastewater treatment plants in low and lower-middle income countries, *Environmental and Sustainability Indicators*, **6**, 100028. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2020.100028>
- Creative Decisions Foundation. *Super Decisions software for decision making*. Acesso em 15 de abril de 2021, disponível em: <http://www.superdecisions.com>
- Dong, X., Zhang, X., Zeng, S. (2017) Measuring and explaining eco-efficiencies of wastewater treatment plants in China: An uncertainty analysis perspective, *Water Research*, **112**, 195-207. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.01.026>
- Françoço, R.V., Silva, A. C. S., Belderrain, M. C. N. (2019) Avaliação de Projetos em Feiras Científicas Estudantis Combinando Value-Focused Thinking e Analytic Hierarchy Process, *Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha*, Rio de Janeiro, Brasil.
- Garcia, E. N. A., Moreno, D. A. A. C., Fernandes, A. L. V. (2015) A importância da preservação e conservação das águas superficiais e subterrâneas: um panorama sobre a escassez da água no Brasil. *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista*, **11**(6), 235-249. <https://doi.org/10.17271/1980082711620151259>

- Gbededo, M. A., Liyanage, K. (2020) Descriptive framework for simulation-aided sustainability decision-making: A Delphi study, *Sustainable Production and Consumption*, **22**, 45-57. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.02.006>
- Gherghel, A., Teodosiu, C., De Gisi, S. (2019) A review on wastewater sludge valorization and its challenges in the context of circular economy, *Journal of cleaner production*, **228**, 244-263. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.240>
- Mahjouri, M., Ishak, M. B., Torabian, A., Manaf, L. A., Halimoon, N. (2017) The application of a hybrid model for identifying and ranking indicators for assessing the sustainability of wastewater treatment systems, *Sustainable Production and Consumption*, **10**, 21-37. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2016.09.006>
- Marques, J. B. V., Freitas, D. (2018) Método DELPHI: caracterização e potencialidades na pesquisa em Educação, *Pro-Posições*, **29**(2), 389-415. <https://doi.org/10.1590/1980-6248-2015-0140>
- Matos, R., Cardoso, A., Ashley, R., Duarte, P., Molinari, A., Schulz, A. (2004) *Indicadores de Desempenho para Serviços de Águas Residuais*, International Water Association (IWA), Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR) e Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), London, 283 pp.
- Nam, S. N., Nguyen, T. T., Oh, J. (2019) Performance indicators framework for assessment of a sanitary sewer system using the analytic hierarchy process (AHP), *Sustainability*, **11**(10), 2746. <https://doi.org/10.3390/su11102746>
- Nygren, N. A., Tapio, P., Qi, Y. (2017) Lake management in 2030 - Five future images based on an international Delphi study, *Futures*, **93**, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2017.08.004>
- Saaty, T., Vargas, L. (2001) *Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process*, 1. ed., Springer, New York, 335 pp.
- Sabokbar, H. F., Hosseini, A., Banaitis, A., & Banaitiene, N. (2016) A novel sorting method TOPSIS-SORT: an applicaiton for Tehran environmental quality evaluation, *E A M: Economie A Management*, **19**(2), 87-104. <https://doi.org/10.15240/tul/001/2016-2-006>
- Sala-Garrido, R., Molinos-Senante, M., Hernández-Sancho, F. (2011) Comparing the efficiency of wastewater treatment technologies through a DEA metafrontier model, *Chemical Engineering Journal*, **173**(3), 766-772. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.08.047>
- Silva, D. F. L. (2018) *Estado da arte em modelagem financeira com múltiplos critérios através de uma revisão sistemática e um novo método PDTOPSIS-Sort aplicado na avaliação de debêntures*, Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 139 pp.
- Silva, D. F. L., Ferreira, L., Almeida-Filho, A. T. (2020) A new preference disaggregation TOPSIS approach applied to sort corporate bonds based on financial statements and expert's assessment, *Expert systems with applications*, **152**, 113369. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113369>
- Vasconcelos, J. P. D. S. (2021) *Tecnologia sociais de convivência com o semiárido: impactos ambientais, sociais e econômicos*. Acesso em 25 de junho de 2022, disponível em: https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/6939/1/Jo%c3%a3oPSV_ART.pdf
- Zangenehmadar, Z., Moselhi, O. (2016) Prioritizing deterioration factors of water pipelines using Delphi method, *Measurement*, **90**, 491-499. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2016.05.001>

Anexo. Material complementar

Tabela 1. Respostas dos especialistas para a avaliação dos indicadores de desempenho conforme os critérios de avaliação.

Indicadores	Critérios	Especialistas																											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Reuso de esgoto tratado (AM1)	Importância	5	5	4	4	5	3	5	2	-	5	4	4	5	5	3	4	5	3	3	3	5	5	3	4	5	4	5	3
	Mensurabilidade	4	5	4	4	4	2	4	3	-	5	4	5	4	4	5	3	5	-	5	5	5	5	5	3	4	5	5	4
	Facilidade de interpretação	3	5	5	3	4	4	4	5	-	5	4	5	4	4	5	3	5	3	5	5	5	5	5	4	3	5	-	5
	Sensibilidade	3	5	4	5	3	2	5	5	-	5	5	5	3	5	3	3	3	3	3	2	5	4	4	4	5	4	-	4
Disposição satisfatória do lodo (AM2)	Importância	5	4	4	5	5	3	5	4	-	5	5	5	4	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	4	5	5
	Mensurabilidade	4	5	3	5	5	2	5	4	-	5	5	5	4	3	5	4	5	-	4	3	5	5	2	2	4	4	5	4
	Facilidade de interpretação	3	5	4	4	4	4	5	4	-	5	4	5	4	3	5	4	5	3	4	3	5	5	3	4	4	4	-	5
	Sensibilidade	3	4	5	5	4	2	5	5	-	5	4	5	3	4	3	4	4	5	3	3	5	4	4	4	5	4	-	4
Remoção de carga poluente do esgoto recebido na estação de tratamento (AM3)	Importância	5	4	5	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Mensurabilidade	4	4	4	4	5	3	4	5	5	5	4	5	5	5	3	5	4	5	5	4	5	5	2	5	5	5	5	5
	Facilidade de interpretação	4	4	5	4	5	3	4	5	5	5	4	5	5	4	5	5	4	5	5	5	5	4	5	4	4	5	-	4
	Sensibilidade	4	4	4	5	5	4	4	5	3	5	4	5	4	4	5	5	3	5	3	4	4	5	5	3	5	5	-	4
Frequência de extravasamentos (AM4)	Importância	4	3	4	4	5	2	3	3	5	5	5	5	5	5	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4
	Mensurabilidade	3	3	5	4	2	3	3	2	5	5	4	4	5	5	3	5	4	-	3	5	5	4	2	4	3	5	5	3
	Facilidade de interpretação	3	3	5	4	2	2	2	5	5	5	4	4	5	4	3	5	3	-	3	5	4	5	2	5	4	5	-	3
	Sensibilidade	3	3	2	4	3	2	3	5	5	5	4	4	5	4	5	5	3	5	3	5	3	4	5	4	5	4	-	4
Reclamações relativas a odor (AM5)	Importância	4	4	4	5	5	3	5	4	5	5	5	5	5	4	5	3	4	5	3	5	5	5	5	3	5	4	-	4
	Mensurabilidade	3	5	3	3	3	2	5	4	5	5	5	5	4	5	3	3	3	5	3	5	5	4	3	2	5	5	-	2
	Facilidade de interpretação	3	4	5	3	3	2	5	5	5	5	4	4	5	3	3	3	3	5	3	1	5	5	3	2	5	5	-	2
	Sensibilidade	3	4	3	4	3	3	5	5	5	5	4	5	5	4	5	3	4	5	3	1	3	5	3	3	5	4	-	5
Situação da Licença de Operação da ETE (AM6)	Importância	5	4	5	5	5	3	5	4	5	-	5	5	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	5	4
	Mensurabilidade	4	4	5	4	4	4	5	5	5	-	4	4	3	4	5	4	5	5	5	5	5	5	3	5	3	5	5	3
	Facilidade de interpretação	-	4	5	4	4	4	5	5	5	-	4	4	3	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	4	5	3
	Sensibilidade	-	4	5	4	3	3	2	5	5	-	4	4	3	5	3	4	5	5	5	5	5	5	4	3	5	4	-	3
	Importância	5	3	5	4	5	3	5	2	5	-	4	4	4	4	3	4	3	5	4	2	5	4	5	2	5	5	5	4

Indicadores	Critérios	Especialistas																											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Conformidade das análises de esgoto tratado para pH (OP1.1)	Mensurabilidade	5	3	5	5	5	3	5	5	5	-	4	4	5	4	5	4	5	5	5	5	5	5	5	4	3	5	5	5
	Facilidade de interpretação	5	4	4	5	5	4	4	5	4	-	3	4	5	4	3	4	4	5	5	5	5	5	2	3	3	4	4	4
	Sensibilidade	5	3	3	4	4	3	2	5	3	-	3	5	3	3	2	4	3	5	4	5	3	5	3	3	4	3	4	3
Conformidade das análises de esgoto tratado para temperatura (OP1.2)	Importância	4	3	3	3	5	2	4	2	5	-	4	4	4	3	3	4	3	5	4	2	5	4	5	2	4	5	-	4
	Mensurabilidade	5	3	5	5	5	3	3	5	5	-	4	4	5	4	5	4	5	5	5	5	5	5	5	4	3	5	-	5
	Facilidade de interpretação	5	3	5	3	5	4	4	5	4	-	4	3	5	3	3	4	5	5	5	5	5	5	2	4	3	4	-	4
Conformidade das análises de esgoto tratado para sulfeto (OP1.3)	Sensibilidade	5	3	2	3	4	3	2	5	3	-	4	3	3	3	2	4	4	5	4	2	3	5	2	2	4	3	-	3
	Importância	4	2	4	4	5	3	5	3	5	-	4	5	4	5	3	4	3	3	4	5	5	3	5	3	5	5	-	4
	Mensurabilidade	4	2	4	3	5	3	5	5	5	-	4	5	5	4	3	4	4	-	4	3	5	5	4	3	4	5	-	5
Conformidade das análises de esgoto tratado para materiais sedimentáveis (OP1.4)	Facilidade de interpretação	4	2	2	3	5	4	5	5	4	-	4	4	5	4	4	4	4	-	5	4	5	5	3	3	4	5	-	4
	Sensibilidade	4	2	3	4	4	3	5	5	3	-	5	5	4	4	2	4	4	-	4	3	3	5	3	3	4	5	-	3
	Importância	5	3	4	5	5	4	4	5	5	-	5	4	4	4	3	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	-	4
Conformidade das análises de esgoto tratado para materiais orgânicos (OP1.5)	Mensurabilidade	5	3	4	5	5	3	4	5	5	-	5	4	5	3	5	5	5	5	5	5	4	5	5	4	3	5	-	5
	Facilidade de interpretação	5	3	3	5	4	4	2	5	5	-	4	5	4	4	3	5	4	5	4	5	3	5	4	5	4	4	-	3
	Sensibilidade	5	4	5	5	5	4	5	5	5	-	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4
Conformidade das análises de esgoto tratado para DBO (OP1.5)	Importância	5	3	4	5	5	3	5	5	3	-	5	4	5	4	3	5	4	5	5	2	5	5	5	5	3	5	5	5
	Mensurabilidade	5	5	4	5	5	4	4	5	5	-	5	4	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	-	4
	Facilidade de interpretação	5	3	3	4	4	4	2	5	4	-	5	5	4	4	5	5	4	5	4	4	3	5	5	5	4	5	-	3
Conformidade das análises de esgoto tratado para óleos e graxas (OP1.6)	Importância	4	3	4	5	5	3	5	3	5	-	4	5	4	4	4	5	3	5	5	4	5	4	5	3	5	5	-	4
	Mensurabilidade	4	5	4	4	5	3	5	5	4	-	5	4	5	4	3	5	4	5	4	2	5	5	5	3	4	5	-	5
	Facilidade de interpretação	4	3	3	4	5	4	4	5	5	-	5	4	5	4	3	5	4	5	5	2	5	5	3	3	3	4	-	4
Conformidade das análises de esgoto tratado para materiais orgânicos (OP1.6)	Sensibilidade	4	4	3	4	4	3	2	5	5	-	5	5	4	4	3	5	4	5	4	2	3	4	3	2	4	5	-	3
	Importância	5	5	3	4	5	3	5	3	5	-	4	5	4	4	3	4	3	5	5	3	5	5	5	3	5	5	-	4
	Mensurabilidade	5	4	4	5	5	3	5	5	5	-	4	4	5	4	2	3	3	-	5	1	5	5	5	4	4	5	-	5
Conformidade das análises de esgoto tratado para materiais orgânicos (OP1.7)	Facilidade de interpretação	5	4	4	4	5	4	4	5	5	-	5	4	5	4	2	4	3	-	5	1	5	4	4	3	4	4	-	4
	Sensibilidade	5	4	3	5	4	3	2	5	5	-	5	5	4	4	3	4	2	4	4	1	3	4	4	4	5	5	-	3

Indicadores	Crítérios	Especialistas																											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Conformidade das análises de esgoto tratado para sólidos suspensos totais (OP1.8)	Importância	5	5	5	4	5	4	5	5	5	-	5	5	4	5	5	5	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4
	Mensurabilidade	5	5	4	5	5	3	4	5	5	-	5	4	5	4	5	5	4	5	5	4	5	5	5	5	4	5	5	5
	Facilidade de interpretação	5	5	4	5	5	4	4	5	5	-	5	4	5	4	5	5	3	5	5	4	5	5	5	5	4	5	-	4
Conformidade das análises de esgoto tratado para coliformes termotolerantes (OP1.9)	Sensibilidade	5	5	3	5	4	4	2	5	5	-	5	5	3	3	3	5	4	5	4	5	3	5	5	5	5	4	-	3
	Importância	5	5	5	5	5	4	5	5	5	-	5	5	5	5	3	5	4	5	5	4	5	3	5	4	5	5	-	4
	Mensurabilidade	5	5	4	4	5	3	5	5	5	-	5	5	5	5	2	5	4	5	4	3	5	5	4	3	4	5	-	5
Estado de conservação da ETE (OP2)	Facilidade de interpretação	5	5	4	5	5	4	4	5	5	-	5	4	5	4	3	5	3	5	5	3	5	5	5	4	4	5	-	4
	Sensibilidade	5	5	5	5	4	4	5	5	5	-	5	4	5	5	3	5	3	5	4	5	5	4	3	4	5	5	-	3
	Importância	5	4	4	5	5	4	5	4	4	5	5	4	4	5	5	4	4	5	3	3	5	5	5	5	5	5	-	4
Existência de plano de ações de emergências e contingências no caso de paralisação da ETE (OP3)	Mensurabilidade	2	4	3	5	3	2	4	5	5	5	4	3	3	5	2	4	4	1	3	2	2	5	4	4	4	5	-	3
	Facilidade de interpretação	2	4	4	5	2	2	2	5	4	5	4	3	3	5	2	4	3	2	3	5	2	5	5	4	4	5	-	3
	Sensibilidade	2	4	3	5	3	3	2	5	3	5	4	4	3	5	4	4	4	5	3	2	2	5	5	3	5	5	-	2
Existência de programa de manutenção preventiva (OP4)	Importância	5	4	4	5	5	3	5	4	5	5	5	5	4	5	5	4	4	1	5	5	5	5	5	4	5	5	5	4
	Mensurabilidade	4	4	5	3	3	4	5	5	5	5	4	4	3	4	3	4	5	1	5	5	5	4	5	5	4	5	-	4
	Facilidade de interpretação	4	4	5	2	3	4	5	5	5	5	4	4	3	5	3	4	5	1	3	5	5	4	4	2	4	4	-	4
Existência de programa de manutenção preventiva (OP4)	Sensibilidade	4	4	5	3	3	3	1	5	5	5	4	5	3	4	4	4	4	1	3	5	4	5	4	2	5	4	-	3
	Importância	5	4	5	5	5	3	5	5	5	5	5	4	5	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	4
	Mensurabilidade	5	4	5	5	3	4	4	5	5	5	4	4	3	4	3	4	5	1	5	3	5	4	4	5	3	5	-	4
Existência de programa de manutenção preventiva (OP4)	Facilidade de interpretação	5	4	5	4	3	4	4	5	5	5	4	3	3	4	3	4	5	1	3	3	5	4	4	2	2	4	-	4
	Sensibilidade	5	4	5	4	3	3	1	5	5	5	4	4	4	4	4	4	5	1	3	5	4	4	5	2	2	4	-	3

Tabela 2. Respostas dos especialistas para a comparação pareada entre os critérios de avaliação.

Comparação pareada	Especialistas																											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Importância/Mensurabilidade	5	5	3	1	1/3	3	7	9	1	9	1	1	1	7	1/9	9	5	5	1/9	1/5	5	1	5	5	5	1	7	7
Importância/Facilidade de interpretação	7	5	9	5	1/3	5	1/3	5	1/3	1	1	1	9	9	9	5	1	9	1	1/5	5	5	5	9	5	3	1	5
Importância/Sensibilidade	5	7	5	5	1/5	3	1/3	5	1	9	9	1	9	5	7	1	1/5	7	1	1/7	1/7	9	5	5	5	1	5	9
Mensurabilidade/Facilidade de interpretação	5	7	7	5	1/5	3	1/3	1	1	1	9	3	1	9	3	1	1	5	1	1	7	5	1/3	5	1/3	3	1/5	7
Mensurabilidade/Sensibilidade	5	9	7	1	1/5	1	1/3	5	9	9	1/3	3	1	9	5	1	1/3	5	1	5	1/5	9	1	1	1/5	9	5	9
Facilidade de interpretação/Sensibilidade	5	9	1/5	1	1/5	1/3	1/3	1	1	9	1/5	3	1/9	7	5	1	1/3	9	1	1	1/5	9	3	1/5	1/5	7	5	7

Tabela 3. Prioridades normalizadas das alternativas (IDs) por especialista.

Indicador	Peso individual dos especialistas															
	0.03571															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
AM1	0.0543	0.1018	0.0461	0.0419	0.0387	0.0388	0.0777	0.0259	0.0000	0.1250	0.0414	0.0706	0.0645	0.0622	0.0801	0.0308
AM2	0.0543	0.0727	0.0419	0.0716	0.0577	0.0388	0.0943	0.0451	0.0000	0.1250	0.0644	0.0799	0.0389	0.0528	0.0963	0.0610
AM3	0.0572	0.0519	0.0696	0.0612	0.0979	0.0770	0.0481	0.0815	0.0641	0.1250	0.0563	0.0799	0.0766	0.0720	0.0503	0.0780
AM4	0.0289	0.0256	0.0555	0.0384	0.0269	0.0262	0.0202	0.0313	0.0698	0.1250	0.0563	0.0501	0.0834	0.0720	0.0458	0.0780
AM5	0.0289	0.0680	0.0369	0.0482	0.0308	0.0380	0.0943	0.0496	0.0698	0.1250	0.0644	0.0698	0.0766	0.0490	0.0458	0.0196
AM6	0.0516	0.0519	0.0869	0.0557	0.0387	0.0568	0.0605	0.0553	0.0698	0.0000	0.0563	0.0501	0.0210	0.0622	0.0963	0.0662
OP1.1	0.0712	0.0281	0.0785	0.0527	0.0689	0.0477	0.0470	0.0345	0.0540	0.0000	0.0327	0.0462	0.0474	0.0382	0.0748	0.0398
OP1.2	0.0504	0.0256	0.0431	0.0349	0.0689	0.0360	0.0316	0.0345	0.0540	0.0000	0.0370	0.0325	0.0474	0.0253	0.0748	0.0398
OP1.3	0.0363	0.0126	0.0407	0.0309	0.0689	0.0477	0.0943	0.0414	0.0540	0.0000	0.0414	0.0698	0.0510	0.0605	0.0261	0.0398
OP1.4	0.0712	0.0256	0.0411	0.0754	0.0689	0.0805	0.0332	0.0815	0.0698	0.0000	0.0644	0.0462	0.0510	0.0331	0.0801	0.0780
OP1.5	0.0712	0.0469	0.0656	0.0700	0.0689	0.0805	0.0470	0.0815	0.0426	0.0000	0.0726	0.0555	0.0766	0.0605	0.0503	0.0780
OP1.6	0.0363	0.0514	0.0411	0.0557	0.0689	0.0477	0.0470	0.0414	0.0544	0.0000	0.0533	0.0555	0.0510	0.0391	0.0309	0.0780
OP1.7	0.0712	0.0788	0.0296	0.0543	0.0689	0.0477	0.0470	0.0414	0.0698	0.0000	0.0453	0.0555	0.0510	0.0391	0.0159	0.0377
OP1.8	0.0712	0.1018	0.0656	0.0581	0.0689	0.0805	0.0439	0.0815	0.0698	0.0000	0.0726	0.0555	0.0474	0.0596	0.0963	0.0780
OP1.9	0.0712	0.1018	0.0723	0.0649	0.0689	0.0805	0.0808	0.0815	0.0698	0.0000	0.0726	0.0643	0.0834	0.0736	0.0167	0.0780
OP2	0.0461	0.0519	0.0352	0.0754	0.0279	0.0617	0.0333	0.0553	0.0490	0.1250	0.0563	0.0279	0.0345	0.0767	0.0336	0.0398
OP3	0.0572	0.0519	0.0634	0.0444	0.0308	0.0568	0.0582	0.0553	0.0698	0.1250	0.0563	0.0555	0.0345	0.0636	0.0430	0.0398
OP4	0.0712	0.0519	0.0869	0.0662	0.0308	0.0568	0.0417	0.0815	0.0698	0.1250	0.0563	0.0354	0.0636	0.0605	0.0430	0.0398

Tabela 4. Prioridades das alternativas (IDs) por especialista (continuação) e a agregação individual de prioridades.

Indicador	Peso individual dos especialistas												Prioridade AIP
	0.03571												
	Prioridades por especialista												
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
AM1	0.0602	0.0140	0.0593	0.0736	0.0863	0.0629	0.0336	0.0469	0.0448	0.0566	0.0497	0.0463	0.0548
AM2	0.0748	0.0488	0.0365	0.0273	0.0863	0.0629	0.0487	0.0761	0.0933	0.0618	0.0334	0.0463	0.0604
AM3	0.0482	0.0735	0.0664	0.0638	0.0580	0.0640	0.0675	0.0719	0.0915	0.0829	0.0656	0.0432	0.0694
AM4	0.0340	0.0465	0.0232	0.0953	0.0350	0.0497	0.0499	0.0532	0.0520	0.0508	0.0497	0.0658	0.0514
AM5	0.0459	0.0735	0.0208	0.0509	0.0461	0.0508	0.0479	0.0226	0.0638	0.0928	0.0497	0.0574	0.0549
AM6	0.1025	0.0735	0.0826	0.0953	0.0863	0.0640	0.0600	0.0881	0.0446	0.0282	0.0515	0.0658	0.0615
OP1.1	0.0372	0.0735	0.0673	0.0914	0.0461	0.0508	0.0506	0.0212	0.0523	0.0423	0.0506	0.0543	0.0500
OP1.2	0.0587	0.0735	0.0673	0.0730	0.0461	0.0508	0.0499	0.0203	0.0523	0.0310	0.0506	0.0614	0.0454
OP1.3	0.0467	0.0110	0.0495	0.0341	0.0461	0.0439	0.0495	0.0252	0.0523	0.0587	0.0656	0.0574	0.0448
OP1.4	0.0748	0.0735	0.0720	0.0520	0.0461	0.0640	0.0576	0.0902	0.0523	0.0476	0.0639	0.0543	0.0589
OP1.5	0.0697	0.0735	0.0720	0.0470	0.0461	0.0640	0.0675	0.1002	0.0523	0.0476	0.0656	0.0658	0.0621
OP1.6	0.0467	0.0735	0.0542	0.0135	0.0461	0.0497	0.0524	0.0231	0.0523	0.0534	0.0532	0.0627	0.0476
OP1.7	0.0185	0.0451	0.0720	0.0070	0.0461	0.0590	0.0576	0.0335	0.0523	0.0618	0.0532	0.0574	0.0470
OP1.8	0.0431	0.0735	0.0720	0.0611	0.0461	0.0640	0.0675	0.1002	0.0523	0.0618	0.0639	0.0463	0.0644
OP1.9	0.0340	0.0735	0.0542	0.0408	0.0863	0.0428	0.0600	0.0469	0.0523	0.0618	0.0656	0.0348	0.0619
OP2	0.0486	0.0488	0.0208	0.0356	0.0270	0.0640	0.0645	0.0782	0.0409	0.0618	0.0656	0.0574	0.0515
OP3	0.0643	0.0048	0.0551	0.0953	0.0600	0.0469	0.0576	0.0511	0.0490	0.0618	0.0515	0.0574	0.0557
OP4	0.0920	0.0456	0.0551	0.0430	0.0600	0.0458	0.0576	0.0511	0.0490	0.0372	0.0515	0.0658	0.0584

Tabela 5. Matriz de decisão normalizada para o método TOPSIS-Sort.

Critério ID	Alternativa (ETE)			Perfis		
	Aldemir Martins	José Euclides	Castelão	P ₁	P ₂	P ₃
AM1	0.50	0.50	0.50	1.00	0.67	0.33
AM2	1.00	1.00	1.00	0.86	0.57	0.29
AM3	0.84	0.84	0.53	1.00	0.89	0.79
AM4	1.00	0.43	1.00	0.86	0.57	0.29
AM5	1.00	1.00	1.00	0.86	0.57	0.29
AM6	0.14	0.14	1.00	0.86	0.57	0.29
OP1.1	1.00	1.00	1.00	1.00	0.95	0.80
OP1.2	1.00	1.00	1.00	1.00	0.95	0.80
OP1.3	1.00	1.00	1.00	1.00	0.95	0.80
OP1.4	1.00	0.50	1.00	1.00	0.95	0.80
OP1.5	1.00	0.50	1.00	1.00	0.95	0.80
OP1.6	1.00	1.00	1.00	1.00	0.95	0.80
OP1.7	1.00	1.00	1.00	1.00	0.95	0.80
OP1.8	0.83	0.50	1.00	1.00	0.95	0.80
OP1.9	0.50	0.83	0.73	1.00	0.95	0.80
OP2	1.00	0.43	1.00	0.86	0.57	0.29
OP3	1.00	1.00	1.00	0.86	0.57	0.29
OP4	0.17	0.17	0.17	1.00	0.67	0.33

Tabela 6. Matriz de decisão normalizada e ponderada para o método TOPSIS-Sort.

Critério ID	Alternativa (ETE)			Perfis			Solução Ideal	Solução Anti-ideal
	Aldemir Martins	José Euclides	Castelão	P1	P2	P3		
AM1	0.0274	0.0274	0.0274	0.0548	0.0365	0.0183	0.0548	0.0183
AM2	0.0604	0.0604	0.0604	0.0518	0.0345	0.0173	0.0604	0.0173
AM3	0.0583	0.0581	0.0366	0.0694	0.0621	0.0548	0.0694	0.0366
AM4	0.0514	0.0220	0.0514	0.0440	0.0294	0.0147	0.0514	0.0147
AM5	0.0549	0.0549	0.0549	0.0470	0.0314	0.0157	0.0549	0.0157
AM6	0.0088	0.0088	0.0615	0.0527	0.0351	0.0176	0.0615	0.0088
OP1.1	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0475	0.0400	0.0500	0.0400
OP1.2	0.0454	0.0454	0.0454	0.0454	0.0431	0.0363	0.0454	0.0363
OP1.3	0.0448	0.0448	0.0448	0.0448	0.0426	0.0359	0.0448	0.0359
OP1.4	0.0589	0.0294	0.0589	0.0589	0.0559	0.0471	0.0589	0.0294
OP1.5	0.0621	0.0311	0.0621	0.0621	0.0590	0.0497	0.0621	0.0311
OP1.6	0.0476	0.0476	0.0476	0.0476	0.0452	0.0381	0.0476	0.0381
OP1.7	0.0470	0.0470	0.0470	0.0470	0.0447	0.0376	0.0470	0.0376
OP1.8	0.0534	0.0322	0.0644	0.0644	0.0612	0.0515	0.0644	0.0322
OP1.9	0.0310	0.0514	0.0452	0.0619	0.0588	0.0495	0.0619	0.0310
OP2	0.0515	0.0221	0.0515	0.0442	0.0294	0.0147	0.0515	0.0147
OP3	0.0557	0.0557	0.0557	0.0478	0.0318	0.0159	0.0557	0.0159
OP4	0.0097	0.0097	0.0097	0.0584	0.0389	0.0195	0.0584	0.0097