

Análise multicritério dos serviços de saneamento da microrregião de Catolé do Rocha – PB utilizando o TOPSIS

Multicriteria analysis of sanitation services in the Catolé do Rocha – PB microregion using TOPSIS

Érica Cristine Medeiros Machado¹ , Uigno Jefsson de Sousa Bispo¹ 

¹Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Pombal, PB, Brasil. E-mails: ericacristine@gmail.com, wigno15@hotmail.com

Como citar: Machado, E.C.M., & Bispo, U.J.S. (2024). Análise multicritério dos serviços de saneamento da microrregião de Catolé do Rocha – PB utilizando o TOPSIS. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 21, e23. <https://doi.org/10.21168/rega.v21e23>

RESUMO: A gestão dos serviços do saneamento básico é complexa por envolver múltiplos agentes, alguns com perspectivas conflitantes, e múltiplos critérios de análise, tornando adequada e recomendável a utilização de métodos multicritérios. O método TOPSIS, além de considerar múltiplos critérios simultaneamente, resulta em uma hierarquização dos municípios na área analisada, apontando suas principais deficiências em termos de saneamento, o que poderá auxiliar a tomada de decisão de gestores públicos na alocação de recursos. Este trabalho avaliou os serviços de saneamento dos onze municípios que compõem a microrregião de Catolé do Rocha, no estado da Paraíba, utilizando nove critérios abrangendo as seguintes dimensões: aspectos de abastecimento, aspectos financeiros, aspectos de qualidade da água e aspectos de coleta. A análise apontou o município de Catolé do Rocha como o de melhor sistema de saneamento básico da microrregião analisada, apresentando três dos critérios analisados como ideais.

Palavras-chave: TOPSIS; Saneamento; Indicadores; Gestão de Recursos Hídricos.

ABSTRACT: The sanitation services management is complex because it involves multiple agents, some with conflicting perspectives, and multiple analysis criteria and the use of multi-criteria methods is appropriate and recommended. The TOPSIS method, in addition to considering multiple criteria simultaneously, results in a hierarchy of municipalities in the analyzed area, pointing out their main deficiencies in terms of sanitation, which could assist decision-making by public managers in allocating resources. This work evaluated the sanitation services of the eleven municipalities that make up the Catolé do Rocha microregion, in the state of Paraíba, using nine criteria covering the following dimensions: supply aspects, financial aspects, water quality aspects and collection aspects. The analysis identified the municipality of Catolé do Rocha as having the best basic sanitation system in the micro-region, presenting three of the criteria analyzed as ideal.

Keywords: TOPSIS; Sanitation; Indicators; Water Management.

1. INTRODUÇÃO

A qualidade de vida da população está diretamente ligada às condições do saneamento básico, definido como o conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos como também da drenagem e manejo das águas pluviais urbanas.

Na gestão dos serviços de saneamento deve-se considerar múltiplos agentes e múltiplos critérios, justificando a utilização de métodos multicritérios, que permitem análises de problemas que envolvem uma extensa gama de variáveis. Melo et al. (2018), por exemplo, avaliaram o serviço de abastecimento de água em oito municípios do estado do Rio Grande do Norte utilizando o método multicritério Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), no qual foram considerados onze critérios, divididos entre critérios operacionais, financeiros e de qualidade da água.

No trabalho de Heller (2007) e Heller et al. (2009), foi realizada uma análise dos serviços de saneamento em quatro municípios da bacia do rio das Velhas, em Minas Gerais, utilizando também o método TOPSIS. O autor empregou doze critérios para avaliar o sistema de abastecimento de água e cinco para o de esgotamento sanitário. Já Silva (2021) utilizou o Analytic Hierarchy Process (AHP) para avaliar o sistema de saneamento básico da cidade de Caruaru, Pernambuco e demonstrou que os bairros com maiores riscos de desabastecimento e de insuficiência de esgotamento sanitário estão situados em zonas mais periféricas da cidade.

Recebido: Julho 30, 2024. Revisado: Dezembro 19, 2024. Aceito: Dezembro 21, 2024.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Outros autores também utilizaram o método AHP em aplicações relacionadas à gestão dos serviços de saneamento. Marchezetti et al. (2011) avaliaram alternativas de tratamento de resíduos sólidos domésticos na região metropolitana Curitiba; Barros (2013) analisou o sistema de saneamento básico em assentamentos da reforma agrária, no estado de Goiás. Muller et al. (2021), utilizaram a abordagem para avaliar alternativas para o tratamento de resíduos sólidos urbanos no município de Juazeiro do Norte, no Ceará.

Outro método multicritério bastante utilizado é o Elimination et Choix Traduisant la Réalité (ELECTRE). Claudino et al. (2021), por exemplo, aplicaram este método para avaliar a qualidade de sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário nos municípios do Curimataú Oriental Paraibano, utilizando critérios operacionais, econômico-financeiros, administrativos e de qualidade. O ELECTRE II foi utilizado por Reis et al. (2022) para selecionar sistemas de tratamento de esgoto para a bacia do rio Pardo.

Kusterko et al. (2018), por outro lado, utilizaram o Método de Apoio à Decisão Construtiva (MCDA-C) para criar um modelo de avaliação de desempenho para apoiar uma empresa de saneamento na gestão de perdas nos sistemas de abastecimento de água.

Os métodos combinados são cada vez mais usados em abordagens que envolvem vários critérios. Mezhoud et al. (2021), por exemplo, combinaram o processo de hierarquia analítica (AHP), o modelo de produto ponderado (WPM) e o TOPSIS para priorizar o trabalho de manutenção em redes de águas residuais. Farias et al. (2024) desenvolveram uma metodologia multicritério baseada no Grey-TOPSIS para avaliar a qualidade da operação dos serviços do sistema de abastecimento de água em empresas brasileiras, objetivando a obtenção de um ranking de desempenho. Projetos de saneamento são analisados por Campos et al. (2020) pelo método Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation II (PROMETHEE II) e a extensão gráfica Geometric Analysis for Interactive Aid (GAIA) para fornecer uma análise detalhada das potencialidades das alternativas.

A utilização de técnicas de análise multicritério tem sido cada vez mais utilizada para a abordagem de desafios complexos, tais como a gestão dos serviços de saneamento. Os critérios considerados como aspectos operacionais, financeiros, de qualidade da água, tarifas e cobertura de redes, demonstram a abrangência e a complexidade dos aspectos considerados.

Este trabalho contribui para o reconhecimento da importância da análise multicritério na gestão dos serviços de saneamento, ao realizar uma análise dos serviços que compõem a microrregião de Catolé do Rocha, composta por onze municípios do sertão paraibano. A hierarquização dos municípios na área de estudo poderá auxiliar também a tomada de decisão de gestores públicos, visando uma melhor alocação de recursos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A área de estudo escolhida foi a microrregião de Catolé do Rocha, uma das sete mesorregiões do estado da Paraíba, composta pelos municípios de Belém do Brejo do Cruz, Bom Sucesso, Brejo do Cruz, Brejo dos Santos, Catolé do Rocha, Jericó, Lagoa, Mato Grosso, Riacho dos Cavalos, São Bento e São José do Brejo do Cruz, conforme apresentado na Figura 1.

A área totaliza uma extensão de 3038 km² e uma população de 117.846 habitantes (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2022). É caracterizada por um clima tropical, predominando o semiárido no interior, com médias térmicas elevadas (em torno de 27 °C) e chuvas escassas e irregulares, com menos de 800 mm por ano (Melo & Lima, 2021).

2.2 Metodologia

O TOPSIS, desenvolvido por Hwang e Yoon em 1981 é uma abordagem de análise multicritério que visa a classificação de alternativas com base na distância em relação ao ideal e ao anti-ideal, por meio de uma Taxa de Similaridade. Segundo Hwang & Yoon (1981), essa técnica é indicada para auxiliar a seleção de alternativas em situações complexas, as quais levam a considerar múltiplos critérios de avaliação.

O método se destaca dentre os métodos de distância, por apresentar uma grande simplicidade de aplicação e leva em consideração a distância ao ideal e ao anti-ideal, isso garante menor erro associado. Uma importante característica do método é a sua capacidade de ponderar de forma sistemática e transparente os diversos critérios que impactam os serviços de saneamento, com isso é possível embasar decisões informadas, promover alocações eficientes de recursos e contribuir para o avanço rumo a sistemas de saneamento mais resilientes e equitativos.

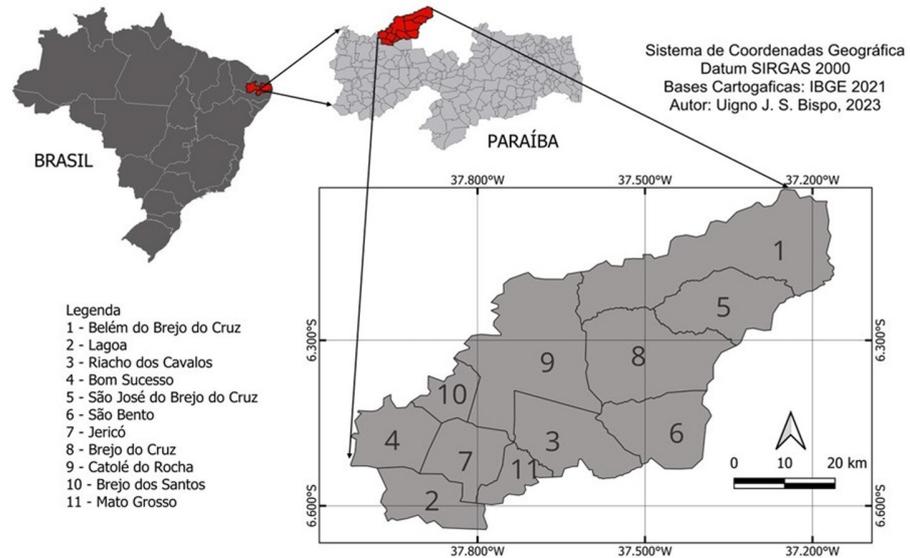


Figura 1. Localização da área de estudo (Fonte: Autor)

No TOPSIS, para cada alternativa analisada a_j (neste estudo considerados municípios) são calculadas as distâncias em relação às soluções ideais (Equação 1) e as distâncias em relação às soluções anti-ideais (Equação 2), de cada critério de análise.

$$d_p^M(a_j) = [\sum w_i^p |a_i^M - a_{ji}|^p]^{1/p} \quad (1)$$

$$d_p^m(a_j) = [\sum w_i^p |a_i^m - a_{ji}|^p]^{1/p} \quad (2)$$

Onde:

d^M é a distância em relação à solução ideal;

d^m é a distância em relação à solução anti-ideal;

i é o critério analisado;

w_i é o peso do critério i ;

p é o valor correspondente ao tipo de distância que se deseja calcular;

a_i^M é o valor máximo, dentre as alternativas, para o critério i ;

a_i^m é o valor mínimo, dentre as alternativas, para o critério i ;

a_{ij} é o valor da alternativa j para o critério i ;

Neste estudo foi considerado para a variável p o valor 2, correspondente a distância do tipo Euclidiana.

A partir do resultado da Equação 1 e da Equação 2, calcula-se a Taxa de Similaridade (Equação 3), que varia do valor 0 para a alternativa anti-ideal a 1 no caso da solução ideal. Finalmente, a ordenação das alternativas é feita com base nos valores calculados para a taxa de similaridade para cada alternativa.

$$D_p(a_i) = d_p^m(a_i) / [d_p^M(a_i) + d_p^m(a_i)] \quad (3)$$

Onde:

$D_p(a_i)$ é a taxa de similaridade da alternativa a_i .

A coleta dos dados dos valores obtidos para cada critério foi realizada utilizando o portal do Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS), ele é administrado pelo governo federal brasileiro, através da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA) do Ministério das Cidades, o qual se constitui como o maior e mais importante sistema de informações do setor de saneamento no Brasil.

O portal SNIS disponibiliza informações para 84 indicadores e, por meio dessas informações, objetiva-se estabelecer um panorama conciso para o planejamento do setor, desenvolvimento de políticas públicas, direcionamento das atividades regulatórias, fiscalização, orientação e aprimoramento da gestão, assim como a comparação do desempenho do setor (Brasil, 2020).

Esses indicadores formam um vasto banco de dados que contém informações de caráter institucional, administrativo, operacional, gerencial, econômico-financeiro, contábil e de qualidade sobre a prestação de serviços de água, de esgotos, manejo de resíduos sólidos urbanos e drenagem urbana, além desses indicadores ele fornece os dados primários utilizados para a confecção dos indicadores, além de apresentar a descrição de como é obtido cada um dos dados.

Para este estudo foram selecionados nove indicadores como critérios para a caracterização dos serviços de saneamento dos municípios da área de estudo, abrangendo as categorias de abastecimento, financeiro, qualidade e coleta. Foram coletados os dados do período entre os anos de 2004 e 2021, um total de 15 anos de dados. Os indicadores selecionados estão definidos na Tabela 1, já na Tabela 2 tem-se a categorização deles nas dimensões analisadas.

Tabela 1. Indicadores selecionados.

Indicador	Definição	Unidade
Índice de atendimento urbano de água	Relação entre a população atendida com o abastecimento de água com a população do município no ano de referência.	%
Índice de micromedição relativo ao volume disponibilizado	Relação entre o volume de água micro medido na cidade com o volume de água produzido pela ETA	%
Índice bruto de perdas lineares	Relação entre o volume de água produzido pela ETA e extensão da rede de distribuição, multiplicado por 1.000 dividido por 365 dias	m ³ /dia/km
Índice de despesas com energia elétrica nas despesas de exportação	Relação entre as despesas com energia elétrica e as despesas com exportação.	%
Índice de conformidade da quantidade de amostras - Turbidez	Quantidade de amostra analisadas, nas quais os valores de turbidez, devem estar dentro dos padrões estabelecidos pela Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017 do Ministério da Saúde em relação a quantidade de mínima de amostra que se devem analisar ao longo ano.	%
Índice de conformidade da quantidade de amostras - Coliformes Totais	Quantidade de amostras analisadas, as quais devem apresentar os valores de coliformes, dentro dos padrões estabelecidos pela Portaria Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017 do Ministério da Saúde, em relação a quantidade de mínima de amostra que se devem analisar ao longo ano.	%
Índice de conformidade da quantidade de amostras - Cloro	Quantidade de amostras analisadas, as quais devem apresentar os valores de cloro, dentro dos padrões estabelecidos pela Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde, em relação a quantidade de mínima de amostra que se devem analisar ao longo ano.	%
Índice de coleta de resíduos sólidos urbanos	Relação entre a população atendida pelo sistema de coleta e a população do município no ano de referência.	%
Índice de coleta de esgoto	Relação entre o volume de esgoto tratado em relação ao volume de água consumido pela população no ano de referência.	%

Tabela 2. Categorização dos critérios.

Categoria	Critério	Indicador
Abastecimento	C1	Índice de atendimento urbano de água
	C2	Índice de micromedição relativo ao volume disponibilizado
	C3	Índice bruto de perdas lineares
Financeiro	C4	Índice de despesas com energia elétrica nas despesas de exportação
Qualidade	C5	Índice de conformidade da quantidade de amostras - Turbidez
	C6	Índice de conformidade da quantidade de amostras - Coliformes Totais
	C7	Índice de conformidade da quantidade de amostras - Cloro
Coleta	C8	Índice de coleta de resíduos sólidos urbanos
	C9	Índice de coleta de esgoto

A definição dos pesos de cada critério foi realizada a partir de consulta a dez pesquisadores e/ou profissionais da área de saneamento (considerados especialistas), que classificaram cada critério em uma escala de 1 a 4 segundo o grau de importância, no qual o valor 1 seria pouca importância e o valor 4 muita importância. Dois dos especialistas atuam como técnicos em saneamento na Companhia de Águas e Esgotos na Paraíba (CAGEPA), cinco são professores da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) que lecionam disciplinas de saneamento, um é engenheiro atuante na Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), outro é técnico em engenharia que trabalha na Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) e o último é o diretor do departamento de saneamento do município de Itapoá-SC. Os valores atribuídos pelos especialistas aos critérios desse estudo estão apresentados na Tabela 3, bem como os valores médios e os valores parametrizados, obtidos pela relação entre o valor médio do grau de importância de cada critério pelo somatório de todos os valores médios dos critérios.

Tabela 3. Pesos atribuídos a cada critério.

Critérios	Grau de importância				Valor médio	Valor parametrizado
	1	2	3	4	3,9	0,120
C1			1	9	3,7	0,114
C2		1	1	8	3,4	0,105
C3		1	4	5	3,1	0,095
C4	2	1	1	6	3,6	0,111
C5		1	2	7	3,8	0,117
C6			2	8	3,7	0,114
C7			3	7	3,5	0,108
C8		2	1	7	3,8	0,117
C9			2	8	3,9	0,120

Observa-se que o critério C1, que corresponde ao índice de atendimento urbano de água, e C9, relativo ao índice de coleta de esgoto, são os que receberam uma maior atribuição de importância por parte dos especialistas, refletido no seu peso. Já o critério C3, referente ao índice de bruto de perdas lineares, revela uma diversidade de opiniões, com cinco dos entrevistados conferindo o grau de importância máximo, quatro atribuindo o grau 2 e um atribuindo o grau 1.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 4 reúne-se um resumo estatístico dos valores coletados para os critérios em análise. Observa-se uma alta dispersão dos dados relativos aos critérios C5, C6 e C7, evidenciados pelo seu desvio padrão. Os critérios C5 e C6 são referentes a qualidade das amostras de água analisadas, turbidez e coliformes totais respectivamente, como esses índices tratam da quantidade de amostras de acordo com o padrão de qualidade em relação à quantidade de amostras coletadas pode ter ocorrido uma maior quantidade de coleta de amostras nesse período, justificando essa discrepância.

Tabela 4. Resumo estatístico dos valores coletados.

Critério	Média	Desvio Padrão	Mediana	Valor Máximo	Valor Mínimo
C1	93,69	17,82	100	100	0
C2	48,77	19,14	49,085	98,37	0
C3	26,20	24,66	20,3	104,24	0
C4	14,36	10,98	11,44	56,34	0
C5	137,33	159,52	98,48	860,48	0
C6	98,97	96,33	71,67	655	0
C7	52,27	30,87	50	200	0
C8	95,33	13,49	100	100	27,94
C9	84,11	22,91	97,01	169,52	40,3

Na Tabela 5 têm-se detalhadamente os valores médios de cada critério obtido para os municípios avaliados, para o período de análise, do ano de 2004 até o ano de 2021. Para eliminar discrepâncias de escalas entre diferentes critérios, os valores das médias dos critérios foram normalizados dividindo-se o valor da média de cada critério pelo somatório das médias do critério para todos os municípios. Na Tabela 6 são apresentados os valores normalizados dos critérios.

Tabela 5. Valores das médias dos critérios.

Município	Critérios								
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
Belém do Brejo do Cruz	87,93	46,21	15,34	18,07	120,02	60,43	39,67	92,78	80,49
Bom Sucesso	99,79	67,21	11,86	9,53	425,64	73,49	52,17	93,14	48,59
Brejo do Cruz	96,78	48,40	33,14	16,67	106,47	138,52	63,29	99,92	82,14
Brejo dos Santos	99,83	54,13	14,84	18,31	194,46	165,69	81,13	89,15	71,42
Catolé do Rocha	97,47	47,93	61,23	31,60	73,62	139,13	39,68	99,74	97,24
Jericó	94,91	51,26	23,71	10,54	80,34	47,94	44,35	92,68	87,78
Lagoa	99,12	53,10	10,61	10,01	91,54	45,95	44,67	90,26	81,72
Mato Grosso	93,24	67,59	2,01	4,73	127,52	78,74	36,96	98,92	100,00
Riacho dos Cavalos	63,79	8,44	36,60	9,92	100,89	66,31	64,56	92,91	100,00
São Bento	99,87	40,02	55,87	17,65	76,55	168,51	45,67	96,71	100,00
São José do Brejo do Cruz	93,27	24,01	8,42	7,75	101,30	82,59	71,48	100,00	91,79

Tabela 6. Valores normalizados dos critérios.

Município	Critérios								
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
Belém do Brejo do Cruz	0,086	0,091	0,056	0,117	0,080	0,057	0,068	0,089	0,086
Bom Sucesso	0,097	0,132	0,043	0,062	0,284	0,069	0,089	0,089	0,052
Brejo do Cruz	0,094	0,095	0,121	0,108	0,071	0,130	0,108	0,096	0,087
Brejo dos Santos	0,097	0,106	0,054	0,118	0,130	0,155	0,139	0,085	0,076
Catolé do Rocha	0,095	0,094	0,224	0,204	0,049	0,130	0,068	0,095	0,103
Jericó	0,093	0,101	0,087	0,068	0,054	0,045	0,076	0,089	0,093
Lagoa	0,097	0,104	0,039	0,065	0,061	0,043	0,077	0,086	0,087
Mato Grosso	0,091	0,133	0,007	0,031	0,085	0,074	0,063	0,095	0,106
Riacho dos Cavalos	0,062	0,017	0,134	0,064	0,067	0,062	0,111	0,089	0,106
São Bento	0,097	0,079	0,204	0,114	0,051	0,158	0,078	0,092	0,106
São José do Brejo do Cruz	0,091	0,047	0,031	0,050	0,068	0,077	0,122	0,096	0,098

Os valores ideais e anti-ideais para cada um dos critérios analisados foram tomados como aqueles referentes aos limites superior e inferior dos valores coletados para cada critério, apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Valor ideal e anti-ideal de cada critério.

Critérios	Ideal	Anti-ideal
C1	0,097	0,062
C2	0,133	0,016
C3	0,223	0,007
C4	0,204	0,030
C5	0,284	0,049
C6	0,157	0,043
C7	0,139	0,063
C8	0,095	0,085
C9	0,106	0,051

Após a determinação dos valores ideal e anti-ideal, calculou-se para cada município os valores de d^M e d^m , que correspondem respectivamente a distância entre os valores apresentados por cada município em relação ao valor ideal e anti-ideal, e a taxa de similaridade D_p , valores apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Taxa de similaridade dos municípios.

Município	d^m	d^M	D_p
Catolé do Rocha	3,3537	1,4265	0,2984
Bom Sucesso	2,6886	3,0154	0,5286
São Bento	2,8342	2,1081	0,4265
Brejo dos Santos	2,6398	2,3466	0,4706
Brejo do Cruz	2,7795	3,1980	0,5350
Riacho dos Cavalos	3,5615	1,4596	0,2907
Belém do Brejo do Cruz	3,7540	1,2629	0,2517
Mato Grosso	3,8001	1,6062	0,2971
Jericó	3,4254	1,6249	0,3217
Lagoa	2,8813	2,7924	0,4922
São José do Brejo do Cruz	3,7255	1,1366	0,2338

Por fim, com os valores da taxa de similaridade, obteve-se a hierarquização dos municípios, apresentada na Tabela 9. O município que apresentou o melhor sistema de saneamento básico, segundo a análise multicritério, foi o de Catolé do Rocha, o qual apresentou a maior taxa de similaridade dentre todos os municípios, e obteve 3 dos 9 critérios selecionados na categoria ideal (índice bruto de perdas lineares, C3; índice de despesas com energia elétrica, C4; índice de coleta de resíduos sólidos urbanos, C8), e apenas 1 na categoria anti-ideal.

Na sequência são classificados os municípios de Bom Sucesso e São Bento cada um com dois critérios considerados ideais: índice de atendimento urbano de água (C1) e o índice de conformidade da qualidade de amostras – Turbidez (C5), para Bom Sucesso; e índice de conformidade da qualidade de amostras – Coliforme Totais (C6) e o índice de coleta de esgoto (C9), para São Bento.

Os municípios de Brejo dos Santos e Mato Grosso obtiveram 1 entre os 9 critérios considerados como ideal, que foi o índice de conformidade da quantidade de amostras – Cloro (C7) e o índice de micromedicação relativo ao volume disponibilizado (C2), respectivamente.

Já para o critério anti-ideal, destaca-se o município de Mato Grosso que apresentou a maior quantidade de critérios, 3 de 9 dos critérios considerados: índice bruto de perdas lineares (C3), índice de despesas com energia elétrica (C4) e índice de conformidade da quantidade de amostras – Cloro (C7). Em seguida o município de Riacho dos Cavalos com 2 dos 9 critérios: índice de atendimento urbano de água (C1) e índice de micromedicação relativo ao volume disponibilizado (C2).

Em última classificação ficou o município de São José do Brejo do Cruz, que não apresentou nem um critério na categoria ideal e nem na categoria anti-ideal. É um município relativamente novo, com apenas 29 anos de emancipação.

Tabela 9. Hierarquização dos municípios.

Município	Classificação
Catolé do Rocha	1
Bom Sucesso	2
São Bento	3
Brejo dos Santos	4
Brejo do Cruz	5
Riacho dos Cavalos	6
Belém do Brejo do Cruz	7
Mato Grosso	8
Jericó	9
Lagoa	10
São José do Brejo do Cruz	11

4. CONCLUSÕES

A partir da avaliação comparativa pode-se observar que dentre os 11 municípios que compõem a microrregião analisada, os municípios que apresentaram os melhores indicadores de saneamento básico são os mesmos que apresentaram os maiores valores do Produto Interno Bruto (PIB), indicando uma possível relação entre desenvolvimento do município e o volume de investimentos em obras de infraestrutura nesse setor.

Outras particularidades específicas de cada município, e não contempladas na hierarquização, também podem explicar alguns resultados. O município de São José do Brejo do Cruz, por exemplo, apesar de estar entre os maiores geradores de renda da microrregião, está em último na hierarquização deste estudo, talvez pelo fato de ser um município relativamente jovem, com apenas 29 anos de emancipação.

O emprego da análise multicritério, especificamente o método TOPSIS, foi considerado positivo e relevante para na análise da eficiência de sistemas de saneamento, já que possibilita uma hierarquização comparativa entre municípios e permite avaliar simultaneamente múltiplos critérios, de dimensões e magnitudes distintas.

Os critérios utilizados neste trabalho estão conforme a literatura, que normalmente utiliza critérios operacionais, econômico-financeiros, administrativos e de qualidade, como Claudino et al. (2021) e Melo et al. (2018). Neste trabalho, o critério C1, que corresponde à taxa de abastecimento urbano de água, foi considerado o mais relevante pelos especialistas, em concordância com a pesquisa de Mundim & Volschan Junior (2020), que também destacaram o índice de atendimento urbano de água como o mais importante.

O Brasil atravessa um período de transformações institucionais no setor de saneamento, com a aprovação da Lei nº 14.026 de 15 de julho de 2020, o Novo Marco Legal do Saneamento Básico, que atualiza a política federal de saneamento básico do país. Metodologias que permitam uma melhor compreensão da eficiência atual dos sistemas de saneamento municipais, bem como contribuam para uma melhor tomada de decisão na alocação de recursos, são relevantes e necessárias.

REFERÊNCIAS

- Barros, E. F. S. (2013). *Avaliação do saneamento ambiental em assentamentos de reforma agrária utilizando o método de análise hierárquica de processos* (Dissertação de mestrado). Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.
- Brasil. (2020). Lei Federal nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília.
- Campos, V. R., Cazarini, E. W., & Campos, J. N. B. (2020). Gerenciamento de portfólio de projetos de saneamento nos Comitês das Bacias PCJ: método multicritério para hierarquização. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 25(3), 457-465.
- Claudino, C. M. A., Gomes, B. A., Ogata, I. S., & Sena, T. S. (2021). Análise multicritério para avaliar a qualidade de sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário nos municípios do Curimataú Oriental Paraibano, Brasil. *Revista DAE*, 69(233), 68-85.
- Farias, P. G. S., Silva, M. M., & Bezerra, S. T. M. (2024). A multicriteria evaluation based on the Grey-TOPSIS method for water distribution companies in Brazil. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 150(5), 04024013.
- Heller, P. G. B., von Sperling, M., & Heller, L. (2009). Desempenho tecnológico dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário em quatro municípios de Minas Gerais: uma análise comparativa. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 14(1), 109-118.
- Heller, P. G. B. (2007). *Avaliação dos serviços de saneamento de quatro municípios da bacia hidrográfica do Rio das Velhas – MG: uma abordagem da dimensão tecnológica* (Dissertação de mestrado). Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). *Multiple attribute decision making: methods and applications a state-of-the-art* (1st ed.). Berlin: Springer.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2022). *Censo demográfico 2022: características da população e domicílios*. Rio de Janeiro: IBGE.
- Kusterko, S., Ensslin, S. R., Ensslin, L., & Chaves, L. C. (2018). Chaves, L. C. *Gestão de perdas em sistemas de abastecimento de água: uma abordagem construtivista*. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 23(3), 615-626.

- Marchezetti, A. L., Kaviski, E., & Braga, M. C. B. (2011). Aplicação do método AHP para a hierarquização das alternativas de tratamento de resíduos sólidos domiciliares. *Ambiente Construído*, 11(2), 173-187.
- Melo, F. L. N. B., Silva, M. P., Silva, R. R., & Aries, R. F. F. (2018). Apoio ao processo de avaliação do serviço de abastecimento de água no Rio Grande do Norte: uma abordagem multicritério. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 23(4), 675-686.
- Melo, V. S., & Lima, L. M. (2021). Caracterização da chuva da microrregião de Catolé do Rocha no Estado da Paraíba baseada em estatística aplicada. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 36(1), 97-106.
- Mezhoud, C., Berreski, A., Bedjou, A., & Bosseler, B. (2021). Prioritization of maintenance work in wastewater networks using decision support methods. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 36(1), 97-106.
- Muller, L. N. P. S., Arruda, J. B. F., Alcantara, R. L. C., & Pereira, R. L. (2021). Uma análise multicritério de alternativas para o tratamento de resíduos sólidos urbanos do município de Juazeiro do Norte no Ceará. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 26(1), 159-170.
- Mundim, B. C., & Volschan Junior, I. (2020). Avaliação dos indicadores de desempenho operacionais e de qualidade do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento para sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário. *Revista DAE*, 6(227), 20-34.
- Reis, J. A. T., Poton, I. S. B., Almeida, K. N., Rodrigues, M. B., Reis, A. O. P., Silva, F. G. B., & Mendonça, A. S. F. (2022). Seleção de sistemas de tratamento de esgotos com o emprego da análise multicritério: avaliação do emprego de diferentes estruturas de preferências. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 27(4), 761-771.
- Silva, M. C. O. (2021). *Abordagem multicritério para análise de sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário com auxílio de dados espaciais de alta resolução* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

Contribuições dos autores:

Érica Cristine Medeiros Machado: orientação da parametrização do modelo, análise dos dados e discussão dos resultados.

Uigno Jefsson de Sousa Bispo: parametrização do modelo, coleta de dados, análises dos dados, discussão dos resultados.