

Políticas públicas ambientais locais e o desenvolvimento de cidades inteligentes: avaliando a realidade dos municípios da Região Metropolitana do Rio de Janeiro usando análise de multicritérios

Viviane dos Santos Coelho¹, Andrey Ferreira de Figueiredo², Dilma dos Santos Lacerda², Jefferson Bechtluft Lima Brito², Julia Pinto de Lima², Lorena Dias Tenório², Luciana Barreto de Oliveira², Rafael Alves Esteves^{3*}

¹Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Universitário da Zona Oeste (RJ), Brasil.

²Especialista em Gestão Ambiental Integrada, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil.

³Doutor em Ciências do Meio Ambiente, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. (*Autor correspondente: estevesralves@gmail.com)

Histórico do Artigo: Submetido em: 01/09/2023 – Revisado em: 22/12/2023 – Aceito em: 30/03/2024

RESUMO

Este estudo avaliou a realidade estrutural das cidades da região metropolitana do Rio de Janeiro em critérios e indicadores definidores de políticas públicas voltadas ao desenvolvimento de cidades inteligentes explorando quais esforços vêm sendo tomados pelos governos locais para o desenvolvimento de novas políticas que agreguem desempenho ao desenvolvimento dessas cidades. Para efeito da avaliação, foi desenvolvido um ranqueamento entre os 22 municípios da Região Metropolitana do estado do Rio de Janeiro, utilizando critérios e diretrizes estabelecidos pela norma ABNT NBR ISO 37122:2020 – Indicadores para Cidades Inteligentes, por meio do método de análises multicritérios TOPSIS. Com os resultados obtidos é possível identificar a maturidade dos municípios que respondem positivamente aos indicadores, bem como aqueles que se distanciam e carecem de maior incentivo a esforços do poder público municipal para a execução de políticas mínimas necessárias à implementação de soluções inteligentes.

Palavras-Chaves: Agenda ambiental; Cidades inteligentes; Estratégia de gestão local; Gestão pública ambiental; Governança ambiental.

Environmental local public policies and the development of smart cities: assessing the reality of municipalities in the Metropolitan Region of the Rio de Janeiro State using multicriteria analysis

ABSTRACT

This study evaluated the structural reality of cities in the Metropolitan Region of Rio de Janeiro in terms of criteria and indicators that define public policies aimed at the development of smart cities, exploring what efforts have been taken by local governments to develop new policies that add performance to the development of these cities. To evaluate it, a ranking was developed among the 22 municipalities of the Metropolitan Region of the state of Rio de Janeiro, using criteria and guidelines established by the ABNT NBR ISO 37122:2020 standard - Indicators for Smart Cities, through the TOPSIS multicriteria analysis method. With the results obtained, it is possible to identify the maturity of the municipalities that respond positively to the indicators, as well as those that distance themselves and need greater incentives for the efforts of the municipal public power to implement the minimum policies necessary for the implementation of intelligent solutions.

Keywords: Environmental agenda; Smart cities; Local management strategy; Public environmental management; Environmental governance.

Políticas públicas ambientales locales y desarrollo de ciudades inteligentes: evaluación de la realidad de los municipios de la Región Metropolitana de Río de Janeiro mediante análisis multicriterio

Coelho, V. S., Figueiredo, A. F., Lacerda, D. S., Brito, J. B. L., Lima, J. P., Tenório, L. D., Oliveira, L. B., Esteves, R. A. (2024). Políticas públicas ambientais locais e o desenvolvimento de cidades inteligentes: avaliando a realidade dos municípios da Região Metropolitana do Rio de Janeiro usando análise de multicritérios. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v.12, n.1, p.137-159.



RESUMEN

Este estudio evaluó la realidad estructural de las ciudades de la región metropolitana de Río de Janeiro en términos de criterios e indicadores que definen las políticas públicas orientadas al desarrollo de ciudades inteligentes, explorando qué esfuerzos han realizado los gobiernos locales para desarrollar nuevas políticas que sumen desempeño. al desarrollo de estas ciudades. Para efectos de la evaluación, se desarrolló un ranking entre los 22 municipios de la Región Metropolitana del estado de Río de Janeiro, utilizando criterios y directrices establecidos por la norma ABNT NBR ISO 37122:2020 - Indicadores para Ciudades Inteligentes, a través del TOPSIS. método de análisis multicriterio. Con los resultados obtenidos, es posible identificar la madurez de los municipios que responden positivamente a los indicadores, así como aquellos que se distancian y necesitan mayores incentivos a los esfuerzos del poder público municipal para implementar las políticas mínimas necesarias para la implementación. de soluciones inteligentes.

Palabras clave: Agenda ambiental; Ciudades inteligentes; Estrategia de gestión local; Gestión pública ambiental; Gobernanza ambiental.

1. Introdução

Dados da Organização das Nações Unidas (ONU, 2022) preveem que 54% da população mundial vive em áreas urbanas e que, até 2050, esse percentual pode chegar a 75%. Para o Brasil, no entanto, o Instituto Brasileiro de Estatística e Geografia (IBGE, 2015) estima que 85% da população já vive em áreas urbanas e apenas 15% em áreas rurais.

Os aglomerados urbanos ofertam oportunidades possíveis em sociedades organizadas, como a troca de capitais, bens e serviços, o que gera perspectivas de vida mais digna, mas que também apresentam diversos problemas estruturais e de conflitos com o mundo natural (Basiri *et al.*, 2017). O gerenciamento dessas grandes áreas urbanas tem se tornado um dos mais desafiadores problemas da humanidade no século XXI (Zdraveski *et al.*, 2017).

As dificuldades relacionadas com as aglomerações urbanas têm sido enfrentadas com inovação tecnológica, criatividade, recursos humanos capazes de compreender as novas tendências, cooperação institucional e políticas públicas não ortodoxas. Tudo isso materializa a concepção de soluções inteligentes. A partir desse ideal, diversos autores têm cunhado o termo de cidades inteligentes, que diz respeito ao surgimento de respostas engenhosas aos desafios urbanos por meio de melhorias quantitativas, qualitativas e tecnológicas (*e.g.*, Caragliu *et al.*, 2009; Angelidou, 2015; Caird *et al.*, 2016).

O princípio básico das soluções tecnológicas de interconexão das interfaces criadas pelas cidades contemporâneas é o uso da tecnologia da informação análoga à coluna vertebral do corpo urbano. De acordo com Angelidou (2015), as cidades querem se capitalizar na promessa de eficiência e excelência que a tecnologia trás em todos os sistemas urbanos, tais como qualidade de vida, trabalho e renda, mobilidade, empreendedorismo, ecoeficiência, medidas protetivas da natureza, educação, saúde e segurança.

Desta forma, o conceito de Cidades Inteligentes (*Smart Cities*) surgiu em meados da década de 1990 para conceituar o fenômeno de desenvolvimento urbano frente às novas tecnologias (Gibson *et al.*, 1992). Essa inovação traz como resultado uma melhor qualidade de vida à população, baseada em importantes pilares, como: ações do poder público, bem-estar, meio ambiente e mobilidade urbana.

É neste cenário que assume o protagonismo dos governos locais para o desenvolvimento de cidades inteligentes. O papel dos municípios frente à concepção, construção, elaboração, implementação e manutenção de políticas públicas voltadas para o desenvolvimento de soluções inteligentes torna-se imprescindível para o sucesso das cidades inteligentes, no Brasil e no mundo.

De acordo com o *Ranking Connected Smart Cities* (2022) – mapeamento que analisa dados de todos os municípios brasileiros com mais de 50 mil habitantes para apontar os mais desenvolvidos e conectados do país –, Curitiba (PR) é a cidade mais inteligente do Brasil. Do estado do Rio de Janeiro, somente quatro cidades constam no ranque nacional: Niterói, Rio de Janeiro, Petrópolis e Saquarema. Niterói e Rio de Janeiro são as únicas cidades fluminenses que estão entre as dez cidades mais inteligentes do país, de acordo com os resultados nacionais de 2022.

Publicado anualmente, o ranqueamento é realizado a partir de 75 indicadores segmentados em 11 critérios de avaliação: mobilidade, meio ambiente, empreendedorismo, educação, energia, governança, urbanismo, tecnologia e inovação, saúde, segurança e economia. Todos esses critérios de avaliação são reflexos dos esforços que os municípios desempenham em prol de políticas públicas para lograrem êxito no desenvolvimento de seus programas de ações ambientais e de sustentabilidade, integradas aos eixos da vida em sociedade.

O Rio de Janeiro é o terceiro estado mais populoso do Brasil (com mais de 17 milhões de habitantes) e o segundo de maior importância econômica e cultural do país (IBGE, 2021). O estado está dividido atualmente em seis mesorregiões administrativas, sendo a Região Metropolitana, também conhecida como Grande Rio, a mais populosa do estado, com aproximadamente 14 milhões de habitantes (IBGE, 2021).

Apesar da importância que esta região possui, não apenas para o próprio estado do Rio de Janeiro, mas também para o país, as informações sobre o desenvolvimento de políticas públicas que fomentem o desenvolvimento de cidades inteligentes são escassas e limitadas aos municípios do Rio de Janeiro, Niterói e, por vezes, Petrópolis.

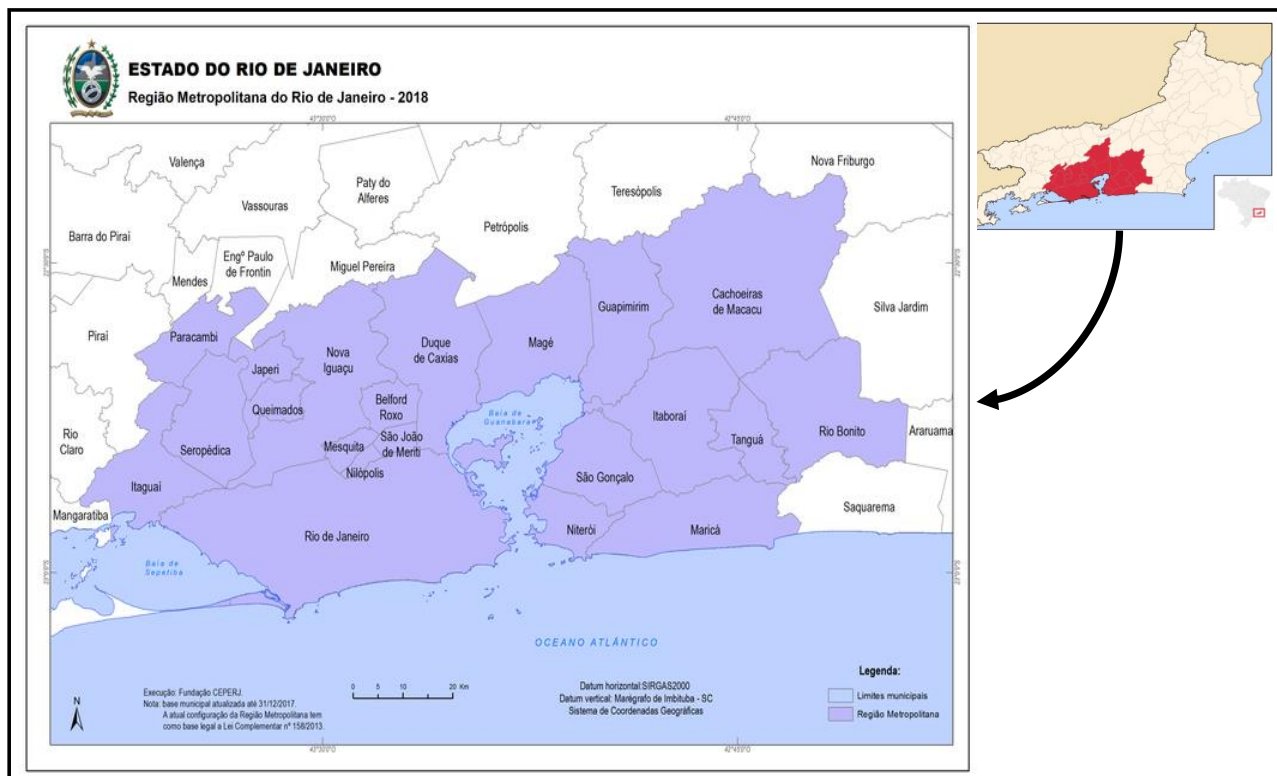
Neste sentido, o presente estudo tem o objetivo de avaliar a realidade estrutural das cidades da Região Metropolitana do estado do Rio de Janeiro, nos critérios delineadores de políticas públicas para o desenvolvimento de cidades inteligentes, analisando como os esforços dos governos locais tem sido refletido em ações que sinalizam graus de maturidade como cidades inteligentes. Desta forma, este estudo busca construir um ranqueamento das cidades da Região Metropolitana do estado do Rio de Janeiro que melhor tem desempenhado suas políticas públicas em prol de soluções sustentáveis e interconectadas com as necessidades da sociedade, a partir do método de análise multicritério TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*), utilizando critérios de Governança e Meio Ambiente determinantes para cidades inteligentes.

2. Material e Métodos

2.1 Área de estudo

O estudo concentrou esforços nos municípios da Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro, a mais populosa do estado, com aproximadamente 14 milhões de habitantes (IBGE, 2021). A Região Metropolitana desempenha papel fundamental para o estado do Rio de Janeiro, pois representa um recorte político-espacial complexo que envolve uma cidade central (Rio de Janeiro) que polariza e dinamiza as demais cidades ao redor, influenciando-as econômica, social e politicamente (Figura. 1).

Figura 1. Mapa da composição da Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro.
Figure 1. Map of the composition of the Metropolitan Region of the State of Rio de Janeiro.



Fonte: Adaptado de Instituto Rio Metr pole (<http://www.irm.rj.gov.br/formacao.html>).

Desde de 2018, com a publicação da Lei Complementar 184/2018, que dispõe sobre a formação da Região Metropolitana, região conta com 22 municípios (Rio de Janeiro, Belford Roxo, Cachoeiras de Macacu, Duque de Caxias, Guapimirim, Itaboraí, Itaguaí, Japeri, Magé, Maricá, Mesquita, Nilópolis, Niterói, Nova Iguaçu, Paracambi, Pet polis, Queimados, Rio Bonito, São Gonçalo, São João de Meriti, Seropédica e Tanguá), que juntos ocupam uma área total de 7.535 km , com densidade demográfica de 1.750 hab./km .

2.2 Defini o dos Temas, Critérios e Indicadores e Coleta dos Dados

Numerosos autores têm conceituado cidades inteligentes, cada um com suas concepções, objetivos e principais características (e.g., Hall *et al.*, 2000; Giffinger *et al.*, 2007; Hollands, 2008; Toppeta, 2010; Dameri, 2012; Cocchia, 2014; Angelidou, 2015; Kim *et al.*, 2017; Ruhlandt, 2018; Beretta, 2018, Li *et al.*, 2019). No entanto, mesmo com a diversidade de ideias e concepções acerca das cidades inteligentes, algumas características principais permeiam as definições de todos os autores citados como temas centrais a todas as cidades inteligentes: conectividade, pessoas, tecnologia, eficiência, sustentabilidade, mobilidade, meio ambiente e governan a.

Dada essa perspectiva multiconceitual, o Organismo Internacional de Padronização (*International Organization for Standardization* – ISO), no Brasil revalidado por meio da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) como uma Norma Brasileira de Regulamentadora (NBR), consolidou as concepções de cidades inteligentes, organizando os temas e estabeleceu indicadores tangíveis para as cidades inteligentes na Norma ABNT NBR ISO 37122:2020 – Indicadores para Cidades Inteligentes. Os temas, critérios e indicadores

utilizados no presente estudo foram definidos orientados pelas diretrizes consolidadas da ABNT NBR ISO 37122:2020 e adaptados à realidade dos municípios fluminenses (Quadro 1).

Quadro 1. Critérios e indicadores definidos para o estudo, com base nos temas para cidades inteligentes de Governança e Ambiente inteligentes.

Frame 1. Criteria and indicators defined for the study, based on the themes for smart cities of Smart Governance and Smart Environment.

Tema	Critério	ID	Indicador	Fonte	Unidade
Governança Inteligente	Educação	I001	Percentual de alunos que concluíram o ensino fundamental	INEP 2021	%
		I002	Percentual de alunos que concluíram o ensino médio	INEP 2021	%
		I003	IDEB Ensino fundamental, anos finais	INEP 2021	Índice
		I004	IDEB Ensino Médio	INEP 2021	Índice
		I005	Proporção entre alunos e docentes nas escolas de ensino médio	IBGE 2021	Razão
	Governança	I006	Participação do eleitor nas últimas eleições municipais	TSE 2020	Razão
		I007	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal - IDHM	IBGE 2010	Índice
	Trabalho e Renda	I008	Percentual da população ocupada no município	IBGE 2020	%
		I009	Percentual da população com rendimento nominal mensal per capita de até 1/2 salário-mínimo	IBGE 2020	%
	Saúde	I010	Número de leitos hospitalares por 1k habitantes	CEPERJ 2019	Razão
		I011	Mortalidade abaixo de 5 anos por causas evitáveis por 100k nascidos vivos	DATASUS 2022	Razão
		I012	Número de médicos por 1k habitantes	CEPERJ 2019	Razão
		I013	Internações por diarreia por 1k habitantes	IBGE 2016	Razão
	Telecomunicação	I014	Densidade de acesso - Banda Larga por 100 habitantes	ANATEL 2022	%
		I015	Densidade de acesso - Telefonia Móvel por 100 habitantes	ANATEL 2022	%
		I016	Densidade de acesso - TV por Assinatura por 100 habitantes	ANATEL 2022	%
	Planejamento Urbano	I017	Área urbanizada (área km2)	IBGE 2019	Km2
Ambiente Inteligente	Energia	I018	Tarifa de energia elétrica	ANEEL 2022	R\$
		I019	Porcentagem de domicílios com existência de energia	IBGE 2010	%

			elétrica		
	Meio Ambiente e Clima	I020	Esgotamento sanitário adequado	IBGE 2010	%
		I021	Porcentagem de arborização de vias públicas	IBGE 2010	%
		I022	Porcentagem de urbanização de vias públicas	IBGE 2010	%
		I023	Percentual de área total protegida sobre área total dos municípios	CEPERJ 2019	%
	Resíduos Sólidos	I024	Percentual da população da cidade atendida pela coleta seletiva (residencial)	CEPERJ 2018	%
		I025	Percentual dos resíduos sólidos da cidade que é encaminhado para reciclagem	CEPERJ 2018	%
	Água	I026	Número de economias abastecidas	IBGE 2017	Unidade
		I027	Extensão total da rede de distribuição de água tratada	IBGE 2017	km
		I028	Volume de água tratada distribuída por dia	IBGE 2017	m3
		I029	Volume de água consumido por dia	IBGE 2017	m3
		I030	Porcentagem de perda de água (não contabilizada pela água)	IBGE 2017	%
	Águas Residuais	I031	Número de economias esgotadas	IBGE 2017	Unidade
		I032	Extensão total da rede coletora de esgoto	IBGE 2017	km
		I033	Volume de esgoto tratado por dia	IBGE 2017	m3

A coleta dos dados foi realizada a partir das informações disponíveis nos portais de transparências dos órgãos federais, estaduais e municipais, além de autarquias e outras instituições legalmente habilitadas e reconhecidas pelos governos, como institutos de medição e pesquisas. As fontes dos dados constam no Quadro 1.

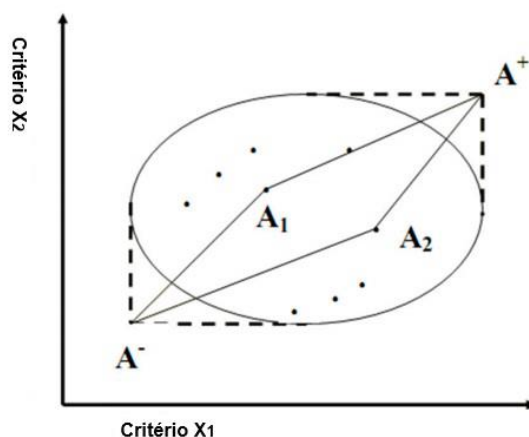
2.3 Método de Análise Multicritério Utilizado

O método utilizado neste estudo foi o TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*), proposto por Tzeng & Huang (2011). O método é baseado em funções de distância euclidiana, que é carregado da ideia implícita de que a substituição de uma função de maximização por uma função de minimização da distância entre um valor e outro resulta em dados propriedades preferenciais (Díaz-Balteiro, 2017).

Neste estudo, o método TOPSIS foi utilizado para avaliar a sustentabilidade das observações referente aos indicadores das cidades da Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro medindo o quão longe ela está de dois pontos de referência, o ponto ideal e o ponto anti-ideal, ou solução ideal negativa. Quanto mais próximo da solução ideal, e mais longe da solução anti-ideal, melhor o nível de soluções sustentáveis dos municípios avaliados. A solução ideal é calculada levando-se em consideração os melhores resultados de todos os critérios, ou seja, dos indicadores simples, de cada observação estudada. A solução ideal negativa é computada de forma similar, tomando-se os piores valores (Kahraman, 2008) (Figura 2).

Figura 2. Esquema de funcionamento do método TOPSIS.

Figure 2. Operation scheme of the TOPSIS method.



Fonte: Adaptado de Baliot *et al.*, 2018.

Foi utilizada versão convencional do método TOPSIS, que consiste na ponderação dos indicadores por meio da atribuição de pesos através da opinião e experiência de especialistas na matéria. Como recomendado pelas diretrizes normativas da ABNT NBR ISO 37122:2020, onde a base de qualquer cidade inteligente está na acessibilidade à tecnologia e informação, educação de qualidade e meio ambiente urbano sustentável, neste estudo foram atribuídos maiores pesos aos indicadores de governança municipal, telecomunicação, educação e meio ambiente (Quadro 2).

Foi atribuído o maior peso ao Índice de Desenvolvimento Humano Municipal – IDHM – do critério Governança, que, embora seja um índice calculado pelo aporte de dados de outros indicadores, foi considerado um indicador que melhor explica os resultados das políticas públicas municipais. Mesmo sendo o resultado referente aos anos pretéritos a 2010, o dado é o mais recente disponível na base de dados oficiais.

Quadro 2. Peso atribuído aos indicadores de cada critério.
Frame 2. Weight attributed to the indicators of each criterion.

Critério	Indicador	ID	Peso
Educação	Percentual de alunos que concluíram o ensino fundamental	I001	3
	Percentual de alunos que concluíram o ensino médio	I002	3
	IDEB Ensino fundamental, anos finais	I003	5
	IDEB Ensino Médio	I004	5
	Proporção entre alunos e docentes nas escolas de ensino médio	I005	3
Governança	Participação do eleitor nas últimas eleições municipais	I006	0.6
	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal - IDHM	I007	10
Trabalho e Renda	Percentual da população ocupada no município	I008	0.8
	Percentual da população com rendimento nominal mensal per capita de até 1/2 salário-mínimo	I009	0.6
Saúde	Número de leitos hospitalares por 1k habitantes	I010	0.6

	Mortalidade abaixo de 5 anos por causas evitáveis por 100k nascidos vivos	I011	0.6
	Número de médicos por 1k habitantes	I012	0.6
	Internações por diarreia por 1k habitantes	I013	0.6
Telecomunicação	Densidade de acesso - Banda Larga por 100 habitantes	I014	9
	Densidade de acesso - Telefonia Móvel por 100 habitantes	I015	9
	Densidade de acesso - TV por Assinatura por 100 habitantes	I016	9
Planejamento Urbano	Área urbanizada (área km2)	I017	9
Energia	Tarifa de energia elétrica	I018	0.6
	Porcentagem de domicílios com existência de energia elétrica	I019	0.6
Meio Ambiente e Clima	Esgotamento sanitário adequado	I020	2
	Porcentagem de arborização de vias públicas	I021	9
	Porcentagem de urbanização de vias públicas	I022	9
	Percentual de área total protegida sobre área total dos municípios	I023	0.6
Resíduos Sólidos	Percentual da população da cidade atendida pela coleta seletiva (residencial)	I024	0.6
	Percentual dos resíduos sólidos da cidade que é encaminhado para reciclagem	I025	0.6
Água	Número de economias abastecidas	I026	0.6
	Extensão total da rede de distribuição de água tratada	I027	0.6
	Volume de água tratada distribuída por dia	I028	0.6
	Volume de água consumido por dia	I029	0.6
	Porcentagem de perda de água (não contabilizada pela água)	I030	0.6
Águas Residuais	Número de economias esgotadas	I031	0.6
	Extensão total da rede coletora de esgoto	I032	2
	Volume de esgoto tratado por dia	I033	2

O cálculo do método TOPSIS ocorreu em cumprindo-se as seguintes etapas de análise dos dados:

1. Construção da matriz de decisão para as n alternativas candidatas que foram avaliadas considerando m critérios. Se $A = A_1, A_2, \dots, A_n$ é o conjunto de n alternativas candidatas e $C = C_1, C_2, \dots, C_m$ é o conjunto dos m critérios de avaliação, a matriz de decisão consistiu em:

$$\begin{matrix} & C_1 & C_2 & \cdots & C_m \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_n \end{matrix} & \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

Onde x_{ij} representa a i -ésima solução candidata ($i \in 1, \dots, n$) em relação ao j -ésimo critério ($j \in 1, \dots, m$).

2. Normalizar a matriz de decisão para cada critério, utilizando a equação, estando r_{ij} entre 0 e 1:

$$r_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^m x_{ij} \quad (2)$$

3. Ponderar a matriz. Os elementos v_{ij} da matriz normalizada ponderada pode ser calculado através da equação:

$$v_{ij} = \omega_i \cdot r_{ij}, \quad j = 1, \dots, m; \quad i = 1, \dots, n \quad (3)$$

4. Com a matriz normalizada e ponderada, a próxima etapa consiste em determinar a solução ideal (A^*) e anti-ideal (A^-) através das equações:

$$A^* = \{v_i^+, \dots, v_n^+\} = \{(max_j v_{ij} \mid i \in B), (min_j v_{ij} \mid i \in C)\} \quad (4)$$

$$A^- = \{v_i^-, \dots, v_n^-\} = \{(min_j v_{ij} \mid i \in B), (max_j v_{ij} \mid i \in C)\} \quad (5)$$

Onde B são os critérios de maximização e C são os critérios de minimização.

5. Na sequência, o método calcula a distância Euclidiana que cada alternativa se encontra em relação à solução ideal (S^*) e a solução anti-ideal (S^-) respectivamente, conforme as equações:

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad (6)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (7)$$

6. Por fim, determinar a proximidade relativa de cada alternativa (C^*_i) em relação a solução ideal, utilizando a equação:

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{(S_i^* + S_i^-)} \quad (8)$$

A partir do coeficiente de proximidade obtido, as alternativas são ranqueadas para encontrar a ordem de preferência das alternativas. No modelo proposto, as alternativas são os municípios da Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro e os coeficientes de proximidades obtidos nos cálculos forneceram o ranqueamento das alternativas mais bem estruturadas em termos de cidades inteligentes.

2.4 Cálculo e Análise Estatística

Além dos cálculos inerentes ao método TOPSIS, o presente estudo analisou como as cidades se distanciam entre si em termos de maturidade nos indicadores selecionados. Para isso foi aplicado o Escalonamento Multidimensional Não Métrico (NMDS) para ordenação das cidades em relação aos indicadores de cidades inteligentes utilizando distância Euclidiana (Figura 3). Em seguida, com os dados brutos obtidos pelas fontes consultadas, os valores foram plotados em um gráfico do tipo *boxplot* para avaliar a variação entre os indicadores (Figura 4). Para testar a relação da maturidade das cidades nos indicadores e critérios para cidades inteligentes, foi realizada uma regressão linear do resultado das cidades contra os valores do indicador IDHM – Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (I007) (Figura 5).

A tabulação, tratamento e cálculos foram realizados na planilha eletrônica MS Excel 2019 e o tratamento estatístico dos dados foi realizado no software Past 4.03 (Hamer *et al.*, 2001).

3. Resultados e Discussão

A matriz de decisão foi obtida a partir dos dados brutos coletados nas fontes de pesquisas utilizados (Tabela 1). A partir dos dados bruto constantes na matriz de decisão, os valores foram normalizados, segundo os pressupostos do método TOPSIS (Tabela 2).

Tabela 1. Matriz de decisão com os valores brutos obtidos nas fontes oficiais para os indicadores selecionados.
Table 1. Decision matrix with raw values obtained from official sources for selected indicators.

ID	T*	BR	CM	DC	GP	IB	IG	JP	MG	MC	MQ	NL	NT	NI	PC	PT	QM	RB	RJ	SG	SJM	SP	TA
I001	+	94.4	96.9	94.1	98.8	94.7	98.1	96.0	97.9	99.6	95.4	98.2	95.7	97.1	96.0	92.7	97.2	93.8	98.6	94.9	93.7	99.7	98.5
I002	+	94.5	97.9	94.5	94.2	95.3	92.7	96.2	96.1	92.6	89.7	96.1	93.6	94.1	91.4	95.0	95.8	94.8	95.1	95.3	95.6	95.4	87.9
I003	+	4.1	4.8	4.1	4.8	4.5	4.6	4.1	4.4	5.4	4.2	4.4	4.7	4.4	4.9	4.6	4.4	4.7	5.1	4.4	4.3	5.2	4.7
I004	+	3.5	4.6	3.8	4.1	3.7	3.7	3.7	3.8	4.0	3.4	4.0	4.0	3.8	3.9	4.5	3.7	4.0	4.0	3.9	3.9	3.9	3.7
I005	+	0.070	0.100	0.070	0.070	0.080	0.090	0.050	0.060	0.060	0.090	0.080	0.100	0.070	0.090	0.090	0.070	0.090	0.070	0.100	0.070	0.090	0.080
I006	+	0.755	0.772	0.764	0.794	0.747	0.767	0.782	0.777	0.771	0.757	0.752	0.720	0.742	0.771	0.672	0.853	0.786	0.659	0.777	0.683	0.715	0.818
I007	+	0.680	0.700	0.711	0.698	0.693	0.715	0.659	0.709	0.765	0.737	0.753	0.837	0.713	0.720	0.745	0.680	0.710	0.799	0.739	0.719	0.713	0.654
I008	+	6.2	12.5	17.2	12.2	14.0	20.4	8.2	10.4	16.3	9.6	11.9	37.7	12.1	12.3	25.9	11.0	30.0	34.7	10.4	12.1	18.7	12.8
I009	+	39.3	35.6	37.8	37.2	37.7	37.1	41.4	38.2	33.8	36.5	33.8	29.5	38.7	36.8	30.6	39.1	35.4	31.4	34.5	35.4	37.4	38.3
I010	+	0.340	1.750	0.770	1.220	1.470	0.770	0.170	0.580	0.610	0.560	0.570	1.980	0.570	1.040	3.340	0.500	1.400	1.330	1.010	0.210	0.310	2.770
I011	-	15.7	ND	18.3	ND	13.2	12.3	20.2	17.8	13.6	14.2	27.4	14.3	18.1	ND	18.5	15.4	ND	14.2	15.8	20.0	26.3	ND
I012	+	0.74	1.50	2.49	1.91	1.86	2.30	0.58	0.89	1.69	1.22	1.77	6.15	1.64	1.15	3.48	0.65	1.73	3.23	0.80	0.66	0.33	0.32
I013	+	0.6	0.6	0.3	0.2	0.2	0.0	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.9	0.0	0.3	0.8	0.1	0.3	0.3	0.1	0.2
I014	+	10.3	6.0	15.0	16.9	10.5	16.8	1.7	13.8	21.1	17.0	25.6	37.1	15.6	9.1	32.2	14.1	17.5	25.9	8.5	17.3	19.8	21.3
I015	+	77.9	86.7	96.6	79.8	94.2	93.0	76.1	93.9	131.4	75.7	77.5	125.5	103.3	73.0	118.1	90.5	93.6	117.9	78.8	92.7	101.0	81.7
I016	+	4.9	6.8	4.0	9.5	4.4	6.4	6.0	4.7	6.8	5.6	5.6	14.9	7.5	2.9	10.0	7.3	6.7	13.0	4.8	4.5	5.2	9.3
I017	+	62.890	24.55 0	138.680	27.150	92.810	35.360	21.490	64.720	85.880	13.830	9.580	70.520	122.990	6.880	81.780	27.690	16.040	640.340	129.830	35.210	30.280	10.720

Coelho, V. S., Figueiredo, A. F., Lacerda, D. S., Brito, J. B. L., Lima, J. P., Tenório, L. D., Oliveira, L. B., Esteves, R. A. (2024). Políticas públicas ambientais locais e o desenvolvimento de cidades inteligentes: avaliando a realidade dos municípios da Região Metropolitana do Rio de Janeiro usando análise de multicritérios. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v.12, n.1, p.137-159.

I018	+	0.754	0.649	0.701	0.649	0.649	0.754	0.754	0.649	0.649	0.754	0.754	0.649	0.754	0.754	0.649	0.754	0.649	0.754	0.649	0.754	0.754	0.649
I019	+	99.8	99.5	99.9	100.0	99.8	99.7	99.8	99.7	99.9	97.7	99.8	99.9	99.8	99.8	99.8	99.8	99.6	99.9	99.9	99.9	99.9	99.7
I020	+	81.4	65.8	85.3	68.5	65.2	77.5	68.3	63.2	64.4	93.3	98.7	91.1	83.1	83.0	82.1	83.4	75.4	94.4	81.4	94.2	64.1	58.9
I021	+	35.1	57.4	47.0	79.5	34.5	36.1	25.7	54.1	45.6	62.4	70.4	78.5	57.9	81.6	38.0	61.4	74.2	70.5	34.4	30.1	46.7	73.0
I022	+	38.1	26.3	68.2	49.7	10.6	54.1	26.8	24.5	8.1	62.3	91.3	58.8	53.3	59.0	44.3	47.4	47.0	78.4	28.7	46.9	19.7	28.2
I023	+	11.6	53.9	58.6	82.3	5.9	46.1	50.9	73.1	37.3	66.3	ND	72.0	65.6	99.6	56.5	29.6	28.4	23.2	20.5	1.7	25.3	3.3
I024	+	ND	100	0.1	ND	ND	ND	14.6	5.8	ND	12.8	5.1	2.9	ND	6.2	18.2	ND	ND	68.1	ND	0.3	ND	ND
I025	+	ND	9.77	0.30	ND	0.69	1.04	0.75	0.63	ND	0.58	0.27	1.32	ND	0.79	0.83	ND	0.50	1.12	ND	0.13	0.15	ND
I026	+	106.602	16.109	232.955	8.621	61.495	36.686	23.8	59.89	29.66	62.597	64.496	208.121	269.71	13.096	81.683	43.362	17.484	2433.264	271.26	158.516	19.717	7.255
I027	+	563.0	343.0	1.3	142.0	396.0	560.0	161.0	305.0	143.0	412.0	248.0	1.3	761.0	111.0	793.0	388.0	62.0	10.7	1.7	542.0	301.0	25.0
I028	+	171.731	6.878	298.987	7.167	35.916	35.266	30.334	34.847	17.607	60.504	60.227	153.360	259.459	11.044	38.534	43.079	13.928	2948.953	364.195	178.605	22.419	5.256
I029	-	88.775	5.909	172.733	3.719	31.044	21.644	12.206	26.710	11.071	31.611	36.083	102.848	180.861	7.256	27.989	26.400	9.356	2144.398	193.244	91.117	12.736	3.230
I030	-	48.3	14.1	42.2	48.1	13.6	38.6	59.8	23.4	37.1	47.8	40.1	32.9	30.3	34.3	28.5	38.7	32.8	27.3	46.9	49.0	43.2	38.5
I031	+	50.143	11.518	102.711	0.000	0.000	15.256	0.000	0.000	5.675	26.723	55.784	0.000	114.834	16.355	71.006	19.103	0.000	1840.748	110.481	0.000	8.868	0.000
I032	+	418	123	675	0	0	100	0	0	23	179	190	758	560	61	280	132	0	8.302	0	0	53	100.00
I033	+	22.637	0	10.805	0	960	0	0	691	518	0	0	112.752	266	0	27.994	0	0	402.059	29.808	0	849	259

*T: Tipo do dado (+ = maximização; - = minimização). ND: Não Disponível.

BR: Belford Roxo; CM: Cachoeiras de Macacu; GP: Guapimirim; IB: Itaboraí; IG: Itaguaí; JP: Japeri; MG: Magé; MC: Maricá; MQ: Mesquita; NL: Nilópolis; NT: Niterói; NI: Nova Iguaçu; PC: Paracambi; PT: Petrópolis; QM: Queimados; RB: Rio Bonito; SG: São Gonçalo; SJM: São João de Meriti; SP: Seropédica; TA: Tanguá.

Tabela 2. Matriz com os dados normalizados.

Table 2. Matrix with normalized data.

ID	*T	BF	CM	DC	GP	IB	IG	JP	MG	MC	MQ	NL	NT	NI	PC	PT	QM	RB	RJ	SG	SJM	SP	TA
I001	+	0.6258	0.6424	0.6239	0.6550	0.6278	0.6504	0.6364	0.6490	0.6603	0.6325	0.6510	0.6345	0.6437	0.6364	0.6146	0.6444	0.6219	0.6537	0.6292	0.6212	0.6610	0.6530
I002	+	0.6410	0.6641	0.6410	0.6390	0.6465	0.6288	0.6526	0.6519	0.6281	0.6085	0.6519	0.6349	0.6383	0.6200	0.6444	0.6498	0.6431	0.6451	0.6465	0.6485	0.6471	0.5963
I003	+	0.9512	1.1136	0.9512	1.1136	1.0440	1.0672	0.9512	1.0208	1.2528	0.9744	1.0208	1.0904	1.0208	1.1368	1.0672	1.0208	1.0904	1.1832	1.0208	0.9976	1.2064	1.0904
I004	+	0.9566	1.2573	1.0386	1.1206	1.0113	1.0113	1.0113	1.0386	1.0933	0.9293	1.0933	1.0933	1.0386	1.0660	1.2300	1.0113	1.0933	1.0933	1.0660	1.0660	1.0660	1.0113
I005	+	0.5577	0.7967	0.5577	0.5577	0.6373	0.7170	0.3983	0.4780	0.4780	0.7170	0.6373	0.7967	0.5577	0.7170	0.7170	0.5577	0.7170	0.5577	0.7967	0.5577	0.7170	0.6373
I006	+	0.1276	0.1304	0.1290	0.1341	0.1261	0.1295	0.1320	0.1312	0.1302	0.1279	0.1271	0.1216	0.1254	0.1302	0.1136	0.1440	0.1328	0.1113	0.1312	0.1154	0.1208	0.1381
I007	+	2.0091	2.0682	2.1007	2.0623	2.0475	2.1125	1.9471	2.0948	2.2602	2.1775	2.2248	2.4730	2.1066	2.1273	2.2012	2.0091	2.0977	2.3607	2.1834	2.1243	2.1066	1.9323
I008	+	0.0580	0.1170	0.1609	0.1142	0.1310	0.1909	0.0767	0.0973	0.1525	0.0898	0.1114	0.3528	0.1132	0.1151	0.2424	0.1029	0.2807	0.3247	0.0973	0.1132	0.1750	0.1198
I009	+	0.1386	0.1255	0.1333	0.1312	0.1329	0.1308	0.1460	0.1347	0.1192	0.1287	0.1192	0.1040	0.1365	0.1298	0.1079	0.1379	0.1248	0.1107	0.1217	0.1248	0.1319	0.1351
I010	+	0.0328	0.1688	0.0743	0.1177	0.1418	0.0743	0.0164	0.0560	0.0588	0.0540	0.0550	0.1910	0.0550	0.1003	0.3222	0.0482	0.1351	0.1283	0.0974	0.0203	0.0299	0.2672
I011	-	0.1279	0.0000	0.1491	0.0000	0.1075	0.1002	0.1646	0.1450	0.1108	0.1157	0.2232	0.1165	0.1475	0.0000	0.1507	0.1255	0.0000	0.1157	0.1287	0.1629	0.2143	0.0000
I012	+	0.0446	0.0904	0.1501	0.1151	0.1121	0.1386	0.0350	0.0536	0.1019	0.0735	0.1067	0.3707	0.0989	0.0693	0.2098	0.0392	0.1043	0.1947	0.0482	0.0398	0.0199	0.0193
I013	+	0.2140	0.2140	0.1070	0.0713	0.0713	0.0000	0.0713	0.0357	0.0713	0.0357	0.0357	0.0357	0.0713	0.3210	0.0000	0.1070	0.2853	0.0357	0.1070	0.1070	0.0357	0.0713
I014	+	1.0523	0.6130	1.5324	1.7266	1.0727	1.7163	0.1737	1.4098	2.1556	1.7368	2.6154	3.7902	1.5937	0.9297	3.2896	1.4405	1.7879	2.6460	0.8684	1.7674	2.0228	2.1761
I015	+	1.5730	1.7507	1.9506	1.6114	1.9022	1.8780	1.5367	1.8961	2.6534	1.5286	1.5650	2.5342	2.0859	1.4741	2.3848	1.8275	1.8901	2.3808	1.5912	1.8719	2.0395	1.6498
I016	+	1.2654	1.7561	1.0330	2.4534	1.1363	1.6528	1.5495	1.2138	1.7561	1.4462	1.4462	3.8479	1.9369	0.7489	2.5825	1.8852	1.7303	3.3572	1.2396	1.1621	1.3429	2.4017

I017	+	0.7975	0.3113	1.7586	0.3443	1.1769	0.4484	0.2725	0.8207	1.0890	0.1754	0.1215	0.8943	1.5596	0.0872	1.0370	0.3511	0.2034	8.1200	1.6464	0.4465	0.3840	0.1359
I018	+	0.1367	0.1176	0.1271	0.1176	0.1176	0.1367	0.1367	0.1176	0.1176	0.1367	0.1367	0.1176	0.1367	0.1367	0.1176	0.1367	0.1176	0.1367	0.1176	0.1367	0.1367	0.1176
I019	+	0.1280	0.1277	0.1282	0.1283	0.1280	0.1279	0.1280	0.1279	0.1282	0.1253	0.1280	0.1282	0.1280	0.1280	0.1280	0.1280	0.1278	0.1282	0.1282	0.1282	0.1282	0.1279
I020	+	0.4384	0.3544	0.4594	0.3689	0.3512	0.4174	0.3679	0.3404	0.3468	0.5025	0.5316	0.4906	0.4476	0.4470	0.4422	0.4492	0.4061	0.5084	0.4384	0.5073	0.3452	0.3172
I021	+	1.1812	1.9316	1.5816	2.6753	1.1610	1.2148	0.8648	1.8205	1.5345	2.0998	2.3691	2.6416	1.9484	2.7460	1.2788	2.0662	2.4969	2.3724	1.1576	1.0129	1.5715	2.4566
I022	+	1.4972	1.0335	2.6800	1.9530	0.4165	2.1259	1.0531	0.9627	0.3183	2.4481	3.5877	2.3106	2.0945	2.3185	1.7408	1.8626	1.8469	3.0808	1.1278	1.8430	0.7741	1.1081
I023	+	0.0297	0.1379	0.1499	0.2105	0.0151	0.1180	0.1303	0.1871	0.0955	0.1696	0.0000	0.1841	0.1678	0.2547	0.1445	0.0757	0.0726	0.0593	0.0524	0.0043	0.0647	0.0085
I024	+	0.0000	0.4827	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0705	0.0280	0.0000	0.0618	0.0246	0.0140	0.0000	0.0299	0.0878	0.0000	0.0000	0.3287	0.0000	0.0014	0.0000	0.0000
I025	+	0.0001	0.5774	0.0177	0.0001	0.0408	0.0615	0.0443	0.0372	0.0001	0.0343	0.0160	0.0780	0.0001	0.0467	0.0491	0.0001	0.0296	0.0662	0.0001	0.0077	0.0089	0.0001
I026	+	0.0256	0.0039	0.0560	0.0021	0.0148	0.0088	0.0057	0.0144	0.0071	0.0150	0.0155	0.0500	0.0648	0.0031	0.0196	0.0104	0.0042	0.5850	0.0652	0.0381	0.0047	0.0017
I027	+	0.1932	0.1177	0.0004	0.0487	0.1359	0.1922	0.0553	0.1047	0.0491	0.1414	0.0851	0.0005	0.2612	0.0381	0.2722	0.1332	0.0213	0.0037	0.0006	0.1860	0.1033	0.0086
I028	+	0.0342	0.0014	0.0595	0.0014	0.0071	0.0070	0.0060	0.0069	0.0035	0.0120	0.0120	0.0305	0.0516	0.0022	0.0077	0.0086	0.0028	0.5870	0.0725	0.0355	0.0045	0.0010
I029	-	0.0245	0.0016	0.0476	0.0010	0.0086	0.0060	0.0034	0.0074	0.0031	0.0087	0.0100	0.0284	0.0499	0.0020	0.0077	0.0073	0.0026	0.5915	0.0533	0.0251	0.0035	0.0009
I030	-	0.1596	0.0466	0.1395	0.1590	0.0450	0.1276	0.1977	0.0773	0.1226	0.1580	0.1325	0.1087	0.1002	0.1134	0.0942	0.1279	0.1084	0.0902	0.1550	0.1620	0.1428	0.1273
I031	+	0.0162	0.0037	0.0332	0.0000	0.0000	0.0049	0.0000	0.0000	0.0018	0.0086	0.0181	0.0000	0.0372	0.0053	0.0230	0.0062	0.0000	0.5958	0.0358	0.0000	0.0029	0.0000
I032	+	0.6366	0.1873	1.0280	0.0000	0.0000	0.1523	0.0000	0.0000	0.0350	0.2726	0.2893	1.1544	0.8528	0.0929	0.4264	0.2010	0.0000	0.0126	0.0000	0.0000	0.0807	0.1523
I033	+	0.0275	0.0000	0.0131	0.0000	1.1679	0.0000	0.0000	0.8406	0.6302	0.0000	0.0000	0.1372	0.3236	0.0000	0.0341	0.0000	0.0000	0.4891	0.0363	0.0000	1.0329	0.3151

*T: Tipo do dado (+ = maximização; - = minimização).

BR: Belford Roxo; CM: Cachoeiras de Macacu; GP: Guapimirim; IB: Itaboraí; IG: Itaguaí; JP: Japeri; MG: Magé; MC: Maricá; MQ: Mesquita; NL: Nilópolis; NT: Niterói; NI: Nova Iguaçu; PC: Paracambi; PT: Petrópolis; QM: Queimados; RB: Rio Bonito; SG: São Gonçalo; SJM: São João de Meriti; SP: Seropédica; TA: Tanguá.

Com os dados normalizados da Tabela 2, foram aplicados os pesos atribuídos para cada indicador e calculados os valores das soluções ideais e anti-ideais para cada indicador, conforme pressuposto do método (Tabela 3). A partir de então, foram calculadas as distâncias Euclidianas dessas soluções e o coeficiente de proximidade entre elas, obtendo-se a ordenação do nível de maturidade das cidades em relação aos indicadores sustentáveis (Tabela 4).

O Rio de Janeiro foi a cidade que apresentou maior distância entre as cidades estudadas no ordenamento espacial obtido pelo NMDS (Figura 3), seguida de Niterói e Duque de Caxias. O valor de *stress* que representa a diferença entre a distância na dimensão reduzida em comparação com o espaço multidimensional completo foi de 0.1277. Este valor indica que o ajuste do modelo que representa as cidades no espaço dimensional reduzido foi muito bom.

Tabela 3. Matriz de solução ideal e anti-ideal.

Table 3. Ideal and anti-ideal solution matrix.

ID	Tipo	Ideal	Anti-ideal	ID	Tipo	Ideal	Anti-ideal
I001	+	0.6610	0.6146	I018	+	0.1176	0.1367
I002	+	0.6641	0.5963	I019	+	0.1283	0.1253
I003	+	1.2528	0.9512	I020	+	0.5316	0.3172
I004	+	1.2573	0.9293	I021	+	2.7460	0.8648
I005	+	0.7967	0.3983	I022	+	3.5877	0.3183
I006	+	0.1440	0.1113	I023	+	0.2547	0.0000
I007	+	2.4730	1.9323	I024	+	0.4827	0.0000
I008	+	0.3528	0.0580	I025	+	0.5774	0.0001
I009	+	0.1460	0.1040	I026	+	0.5850	0.0017
I010	+	0.3222	0.0164	I027	+	0.2722	0.0004
I011	-	0.0000	0.2232	I028	+	0.5870	0.0010
I012	+	0.3707	0.0193	I029	-	0.0009	0.5915
I013	+	0.0000	0.3210	I030	-	0.0450	0.1977
I014	+	3.7902	0.1737	I031	+	0.5958	0.0000
I015	+	2.6534	1.4741	I032	+	1.1544	0.0000
I016	+	3.8479	0.7489	I033	+	1.1679	0.0000
I017	+	8.1200	0.0872				



Coelho, V. S., Figueiredo, A. F., Lacerda, D. S., Brito, J. B. L., Lima, J. P., Tenório, L. D., Oliveira, L. B., Esteves, R. A. (2024). Políticas públicas ambientais locais e o desenvolvimento de cidades inteligentes: avaliando a realidade dos municípios da Região Metropolitana do Rio de Janeiro usando análise de multicritérios. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v.12, n.1, p.137-159.

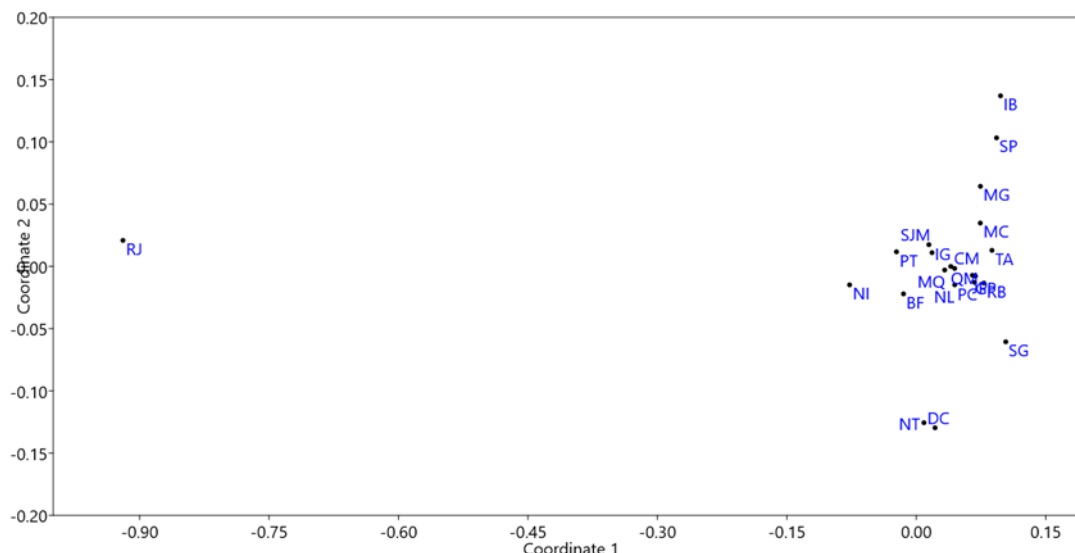
Tabela 4. Distância Euclidiana das soluções ideais e anti-ideais.
 Table 4. Euclidean distance of ideal and anti-ideal solutions.

Cidade	Dsi	Dsai	Cprox.*
Belford Roxo	8.9294	2.2543	0.2016
Cachoeiras de Macacu	9.3400	2.1257	0.1854
Duque de Caxias	7.7169	3.8170	0.3309
Guapimirim	8.6749	3.6620	0.2968
Itaboraí	8.9182	2.3791	0.2106
Itaguaí	8.7961	2.9539	0.2514
Japeri	9.8158	1.7160	0.1488
Magé	8.8225	2.5126	0.2217
Maricá	8.5009	3.2352	0.2757
Mesquita	8.9590	3.2884	0.2685
Nilópolis	8.7524	4.5430	0.3417
Niterói	7.5183	6.0071	0.4441
Nova Iguaçu	7.5820	3.5842	0.3210
Paracambi	9.4798	3.2065	0.2528
Petrópolis	7.8163	4.3505	0.3576
Queimados	8.8560	2.9520	0.2500
Rio Bonito	8.9228	3.3464	0.2727
Rio de Janeiro	2.1726	9.5295	0.8143
São Gonçalo	8.4582	2.5563	0.2321
São João de Meriti	9.0400	2.6683	0.2279
Seropédica	9.0691	2.8159	0.2369
Tanguá	8.9329	3.4167	0.2767

Dsi: Distância das soluções ideais; Dsai: Distância das soluções anti-ideais; *Cprox: Coeficiente de proximidade – quanto mais próximo de 1, mais maturidade em soluções inteligentes possui nos indicadores analisados.

Figura 3. Escalonamento Multidimensional Não Métrico (NMDS) mostrando a similaridade (ordenação) das cidades a partir matriz de distância Euclidiana (*stress* = 0,1277).

Figure 3. Non-Metric Multidimensional Scaling (NMDS) showing the similarity (ordering) of cities based on the Euclidean distance matrix (*stress* = 0.1277).



BR: Belford Roxo; CM: Cachoeiras de Macacu; GP: Guapimirim; IB: Itaboraí; IG: Itaguaí; JP: Japeri; MG: Magé; MC: Maricá; MQ: Mesquita; NL: Nilópolis; NT: Niterói; NI: Nova Iguaçu; PC: Paracambi; PT: Petrópolis; QM: Queimados; RB: Rio Bonito; SG: São Gonçalo; SJM: São João de Meriti; SP: Seropédica; TA: Tanguá.

Em seguida, a ordenação obtida na Tabela 4 foi ranqueada em ordem decrescente (do maior para o menor valor obtido), resultando, desta forma, o rank das cidades que apresentaram maiores interconexões com as soluções inteligentes nos indicadores selecionados, abrangendo os critérios assumidos no estudo.

Rio de Janeiro, Niterói, Petrópolis, Nilópolis e Dique de Caxias foram as cidades que apresentaram melhor desempenho nos indicadores de cidades inteligentes analisados. Por outro lado, Magé, Itaboraí, Belford Roxo, Cachoeiras de Macacu e Japeri foram as cidades que pior desempenharam os indicadores (Tabela 5).

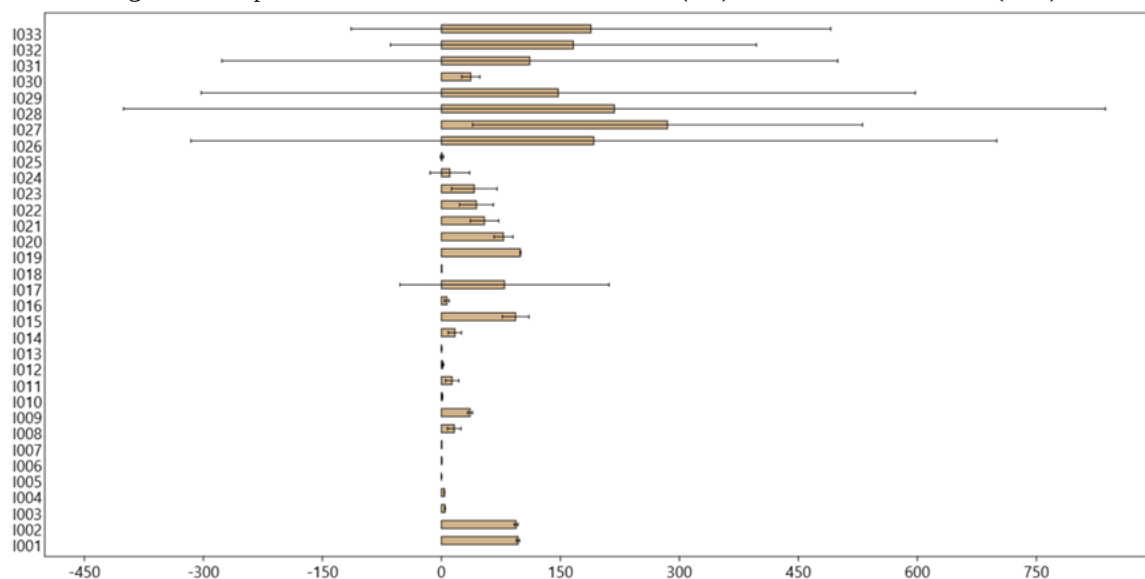
Tabela 5. Cidades da Região Metropolitana do estado do Rio de Janeiro ordenadas por nível de maturidade nos sistemas inteligentes dos indicadores avaliados.

Table 5. Cities in the Metropolitan Region of the state of Rio de Janeiro ordered by level of maturity in the intelligent systems of the evaluated indicators.

Rank	Cidade	Coefficiente
1º	Rio de Janeiro	0.8143
2º	Niterói	0.4441
3º	Petrópolis	0.3576
4º	Nilópolis	0.3417
5º	Duque de Caxias	0.3309
6º	Nova Iguaçu	0.3210
7º	Guapimirim	0.2968
8º	Tanguá	0.2767

9º	Maricá	0.2757
10º	Rio Bonito	0.2727
11º	Mesquita	0.2685
12º	Paracambi	0.2528
13º	Itaguaí	0.2514
14º	Queimados	0.2500
15º	Seropédica	0.2369
16º	São Gonçalo	0.2321
17º	São João de Meriti	0.2279
18º	Magé	0.2217
19º	Itaboraí	0.2106
20º	Belford Roxo	0.2016
21º	Cachoeiras de Macacu	0.1854
22º	Japeri	0.1488

Figura 4. Boxplot de variação entre os indicadores (barra) com o desvio padrão (hastes).
Figure 4. Boxplot of the variation between indicators (bar) with standard deviation (rods).

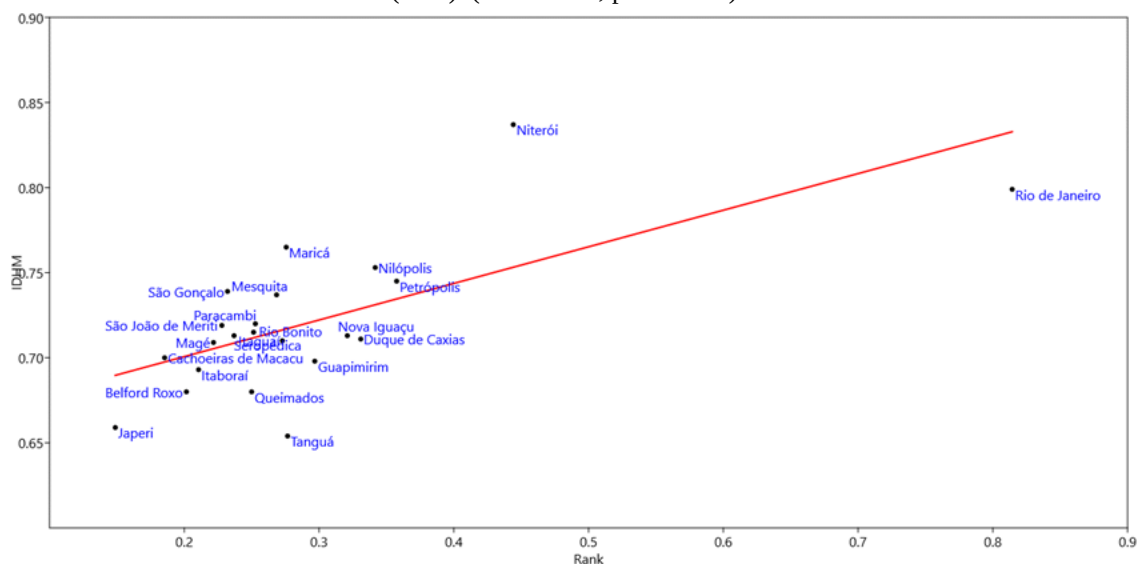


As maiores variações de valores absolutos obtidos nas fontes consultadas aconteceram nos indicadores relacionados aos critérios água e águas residuais, revelando grande discrepância entre as ações executadas pelos municípios (Figura 4).

O resultado que forneceu o nível de maturidade dos municípios para cidades inteligentes a partir dos indicadores e critérios estudados foi testado contra os valores do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal em uma regressão linear. O resultado indicou forte relação entre a maturidade das cidades nos indicadores e critérios avaliados com o IDHM ($r^2 = 0,4595$; $p = <0,005$) (Figura 5).

Figura 5. Regressão linear do rank obtido a partir da avaliação dos indicadores para cidades inteligentes contra o IDHM (I007). ($r^2 = 0,4595$; $p = <0,005$).

Figure 5. Linear regression of the rank obtained from the evaluation of indicators for smart cities against the IDHM (I007). ($r^2 = 0.4595$; $p = <0.005$).



Os resultados indicaram um evidente distanciamento do Rio de Janeiro das demais cidades. Rio de Janeiro é a principal cidade da Região Metropolitana do estado e uma das principais cidades, não apenas do Brasil, como do mundo. O Rio de Janeiro representa a metrópole que determina as dinâmicas da espaciais, sociais, culturais, políticas, históricas e estéticas de toda a região metropolitana a qual está inserido. E todo esse dinamismo e importância urbana foram refletidos nos resultados obtidos no presente estudo. O Rio de Janeiro foi indicado como a décima cidade mais inteligente do país, de acordo com o índice *Ranking Connected Smart Cities Brazil* (2022). Em 2019, o Rio de Janeiro, juntamente com as capitais brasileiras Curitiba, Salvador, São Paulo, Belo Horizonte e Brasília, compuseram a avaliação de 174 cidades de 80 países realizada pelo *IESE Business Schools Center for Globalization and Strategy* (Berrone & Rocart, 2019). No entanto, a capital fluminense não alcançou a marca entre as cidades mais inteligentes do mundo.

O protagonismo em busca de soluções inteligentes da cidade do Rio de Janeiro iniciou ainda em meados da década de 90, quando a cidade já pretendia a candidatura para sediar a edição dos jogos olímpicos de 2004 (Freire-Medeiros & Freitas, 2020). Até que a cidade conseguisse êxito para sediar os jogos olímpicos paraolímpicos de 2016 foram muitas iterações no processo de construção de políticas públicas que abrangesse a totalidade das necessidades que as novas tendências tecnológicas demandam. Foi a partir desse processo de interesse em colocar a cidade do Rio de Janeiro na rota dos megaeventos que contribuiu substancialmente para o avanço das soluções inteligentes da cidade, como por exemplo a inauguração do Centro de Operações Rio (COR), que passou a funcionar em 2010, a partir das sucessivas iniciativas do então governo, com o projeto que ficou conhecido como *Rio Smart City* (Rocha, 2018). A partir de então, o Rio de Janeiro passou a dedicar parte de seu plano de engajamento político devotado à concepção de políticas públicas para uma nova perspectiva de gerir o metabolismo urbano, com a aplicação de tecnologia e inteligência artificial como instrumento político.

Niterói aparece em segundo lugar no ranqueamento identificado pelos resultados do estudo. Considerada uma das cidades mais inteligentes do país, a cidade foi a mais bem colocada do estado do Rio de Janeiro e ficou em oitavo lugar no ranking nacional (CSM, 2022). Niterói tem se desenvolvido em termos de políticas

públicas investindo esforços em projetos que visam estabelecer o controle, gerenciamento, avaliação e monitoramento das iniciativas de administração pública para o desenvolvimento sustentável. Desde 2013 a cidade possui uma lei específica que determinou a implantação do escritório de projetos do município (Lei Municipal 3.023/2013), onde centraliza e gerencia todos os assuntos de interesse estratégico para o município, identificando os entraves administrativos que obstaculizam a execução de projetos, mapeando possíveis soluções para saná-los, realizam a captação de recursos frente os órgãos e agências financiadores dos projetos e firmam convênios com a União ou entidades federais no Sistema de Gestão de Convênios e Contratos de Repasse do Governo Federal (SINCONV) (Gomes *et al.*, 2020).

Petrópolis é um dos quatro municípios fluminenses listados no *Connected Smart City Brazil* e ficou na 47ª posição nacional, terceiro no estado do Rio de Janeiro (CSM, 2022). Os resultados revelaram Petrópolis como o terceiro município mais maduro no cumprimento dos critérios para cidades inteligentes. Esse resultado reflete os esforços em políticas públicas voltadas para soluções inteligentes. É um dos poucos municípios do Brasil que possuem legislação própria acerca da temática de soluções inteligentes. A Lei Municipal 7.799, de 6 de junho de 2019, criou a Política Pública de incentivo à inovação e à pesquisa tecnológica, ao desenvolvimento sustentável e à consolidação dos ambientes de inovação nos setores produtivos e sociais da cidade de Petrópolis e deu outras providências. O artigo 1º da Lei estabelece medidas de incentivo às atividades tecnológicas e de inovação realizadas pelas organizações e pelos cidadãos estabelecidos ou domiciliados no município de Petrópolis, objetivando promover o desenvolvimento econômico, social e ambiental e a melhoria dos serviços públicos municipais.

Os indicadores que mais apresentaram variação foram aqueles inerentes ao tema Ambiente Inteligente, critérios água e águas residuais. Especificamente aos critérios que mais variaram, isso é devido a estrutura municipal para tratamento e distribuição de água potável e coleta e tratamento de esgoto sanitário. Rio de Janeiro possui quase nove mil quilômetros de extensão de rede coletora de esgoto. Municípios como Guapimirim, Itaboraí, Japeri, Magé, Rio Bonito, São Gonçalo e São João de Meriti não coletam e nem tratam seu esgotamento sanitário. Mesmo todos os municípios sendo pertencentes da mesma mesorregião, enormes discrepâncias entre os indicadores e critérios para cidades inteligentes foram evidenciadas pelos resultados deste estudo.

Os resultados indicaram forte relação da maturidade nos indicadores de cidades inteligentes com o índice de desenvolvimento humano municipal. O teste quanto a relação da maturidade dos municípios em relação aos critérios de cidades inteligentes e o IDHM foi motivado pela consolidação de políticas públicas municipais que o índice municipal congrega. Como o IDHM abarca indicadores de qualidade de vida dos cidadãos, trabalho e renda, educação e condições ambientais, o índice acaba se tornando um *proxy* de consolidação dos esforços do poder público municipal para a execução de políticas mínimas necessárias à implementação de soluções inteligentes. Desta forma, observou-se que os municípios com IDHM mais elevados foram aquelas com melhores graus de maturidade nos critérios e indicadores para cidades inteligentes.

4. Conclusão

Rio de Janeiro, Niterói e Petrópolis, respectivamente, foram as cidades líderes no ranking dos critérios e indicadores para cidades inteligentes analisados neste estudo. Os resultados obtidos no presente estudo corroboraram os resultados publicados no ranking nacional (2022) onde colocam as três cidades fluminenses entre as 100 mais inteligentes do Brasil. Estes resultados evidenciam esforços diretos nas políticas públicas municipais que objetivam alavancar os indicadores diretamente correlacionados à melhoria de vida da população e melhoria dos fatores biofísicos e sociais dos municípios envolvidos.

Por outro lado, os resultados evidenciaram que os municípios que ainda não cumprem os aspectos mais basais do que é esperado pelo poder público, foram os municípios que desempenharam pouco no ranking. Enquanto as cidades que ocuparam as primeiras posições no ranking possuem políticas públicas voltadas para

o cumprimento de indicadores socioambientais, os municípios Guapimirim, Itaboraí, Japeri, Magé, Rio Bonito, São Gonçalo e São João de Meriti não possuem sequer rede coletora nem tratamento de esgoto sanitário reportado nos dados oficiais. As maiores variações de valores absolutos obtidos nas fontes consultadas aconteceram nos indicadores relacionados aos critérios água e águas residuais, apontando forte necessidade de investimentos em infraestrutura de saneamento ambiental, ainda em pilares básicos do ponto de vista em se obter uma cidade sustentável.

Embora o IDHM não tenha sido elaborado para avaliar aspectos de sustentabilidade, os resultados deste estudo revelaram uma forte correlação do índice com as ações de desenvolvimento de cidades inteligentes. Desta forma, é possível identificar e mapear lacunas existentes no campo de políticas públicas para a elevação da qualidade de vida da população em consonância com os indicadores de desenvolvimento sustentável e de soluções inteligentes para as cidades, indicando não haver disparidade entre os temas. Um ponto de atenção que deve ser levado em consideração neste resultado é que o IDHM é um índice em sua essência, ou seja, compila resultados de indicadores análogos aos indicadores considerados neste estudo. No entanto, optou-se por manter o IDHM como um indicador para fins de consolidação dos dados por representar o engajamento das políticas públicas municipais nas ações de desenvolvimento de cidades inteligentes.

Recomenda-se que estudos futuros sejam realizados com o objetivo de mapear todo o estado do Rio de Janeiro em função do cumprimento aos critérios e indicadores apresentados neste estudo. Dessa forma será possível identificar os problemas de políticas públicas que inibem o desenvolvimento de cidades inteligentes, com a elaboração de planos de ações municipais específicos que poderá ajudar as cidades a fomentarem parcerias e/ou consórcios com os governos Estadual, Federal ou privadas para sanar as principais demandas críticas.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem o incentivo da Secretaria de Estado do Ambiente e da Sustentabilidade (SEAS/RJ) que, por meio da parceria firmada entre a Universidade do Ambiente do Instituto Estadual do Ambiente (UA/INEA) e a Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), proporcionou a realização deste estudo.

6. Referências

- ANGELIDOU, M. (2015). Smart cities: A conjuncture of four forces. **The International Journal of Urban Policy and Planning**, Greece, 1(2):95-106.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 37122**: Indicadores para cidades inteligentes. Rio de Janeiro, p. 162. 2020.
- BALIOTI, V.; TZIMOPOULOS, C.; EVANGELIDES, C. (2018). Multi-criteria decision making using topsis method under fuzzy environment. Application in spillway selection. In: **Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings**, 2(11), p. 637.
- BASIRI, M.; AZIM, A. Z. Z.; FARROKHI, M. (2017). Smart City Solution for Sustainable Urban Development. **European Journal of Sustainable Development**, Europa, 2(2):72-84.
- BERETTA, I. (2018). The social effects of eco-innovations in Italian smart cities. **Cities**, Brescia, 2(2):115-121.
- BERRONE, P.; RICART, J. E. (2019). Iese cities in motion index 2019. **Retrieved**, 1(1):2019-2031.

- CAIRD, S.; HUDSON, L.; KORTUEM, G. (2016). A tale of evaluation and reporting in UK smart cities. **The Open University**, 2016.
- CARAGLIU, A.; BO, C. D.; NIJKAMP, P. (2011). Smart cities in Europe. **Journal of urban technology**, 18(2):65–82.
- COCCHIA, A. (2014). Smart and digital city: A systematic literature review. **Smart city: How to create public and economic value with high technology in urban space**, 13-43.
- CONNECTED SMART CITIES. (2022). **Ranking 2022 smart cities**. Disponível em: <https://ranking.connectedsmartcities.com.br/>. Acesso em: março de 2023.
- DAMERI, R. (2013). Searching for Smart City definition: a comprehensive proposal. **International Journal of Computers & Technology**, Genova, 1:1-8.
- DIAZ-BALTEIRO, L.; GONZÁLEZ-PACHÓN, J.; ROMERO, C. (2017). Measuring systems sustainability with multi-criteria methods: A critical review. **European Journal of Operational Research**, 258(2), 607-616.
- FREIRE-MEDEIROS, B.; FREITAS, J. (2020). Rio, cidade inteligente? Mobilidade de políticas e políticas de mobilidade no contexto de megaeventos. **Interseções** (Rio de Janeiro), 22(2):201-224.
- GIBSON, D. V.; KOZMETSKY, G.; RAYMOND, W. S. (1992). **The Technopolis Phenomenon: 1271 Smart Cities, Fast Systems, Global Networks**. Rowman & Littlefield.
- GIFFINGER, R. *et al.* (2007). **Smart cities-Ranking of European medium-sized cities**. Final Report, Vienna. 2007.
- GOMES, J. A. P., COSTA, J. R., RODRIGUEZ, M. V. R., LONGO, O. C. (2020). A implantação do Escritório de Gestão de Projetos como estratégia para Gestão Pública: case da Prefeitura de Niterói – RJ. **Research, Society and Development**, 9(10): e3139108552.
- HALL, R. E.; BOWERMAN, B.; BRAVERMAN, J.; TAYLOR, J.; TODSOW, H.; VON WIMMERPERG, U. (2000). **The vision of a smart city** (No. BNL-67902; 04042). Brookhaven National Lab., Upton, NY (US).
- HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. (2001) Past: paleontological statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia Electronica**, 4(1):1-9.
- HOLLANDS, R. G. (2008). Will the real smart city please stand up? Intelligent, progressive or entrepreneurial? **City**, 12(3):303–320.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diretoria de Pesquisas. **Área territorial brasileira 2020**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021.
- KAHRAMAN, C. (Ed.). (2008). **Fuzzy multi-criteria decision making: theory and applications with recent developments** (Vol. 16). Springer Science & Business Media.

KIM, T.; RAMOS, C.; MOHAMMED, S. (2017). Smart City and IoT. **Future Generation Computer Systems**, Amsterdã, 159-162.

LI, F. *et al.* (2019). Measurement indicators and an evaluation approach for assessing urban sustainable development: A case study for china's Jining city. **Landscape and urban planning**, 90(3-4):134–142.

ONU-BRASIL. Organização das Nações Unidas – Brasil. **ONU-Habitat: população mundial será 68% urbana até 2050**. Nações Unidas – Brasil. 2022. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/188520-onu-habitat-popula%C3%A7%C3%A3o-mundial-ser%C3%A1-68-urbana-at%C3%A9-2050>. Acesso em: março de 2023.

PETRÓPOLIS (Cidade). **Lei Municipal n. 7.799, de 6 de junho de 2019**. Cria a Política Pública de incentivo à inovação e à pesquisa tecnológica, ao desenvolvimento sustentável e à consolidação dos ambientes de inovação nos setores produtivos e sociais da cidade de Petrópolis e dá outras providências. Petrópolis, 2019. Disponível em: <http://www.petropolis.rj.gov.br/pmp/index.php/servicos-na-web/informacoes/diario-oficial/finish/242-junho/4511-5692-sexta-feira-7-de-junho-de-2019.html>. Acesso em: abr de 2023.

ROCHA, L. M. (2018) Democracia e militarização no Rio de Janeiro: "pacificação", intervenção e seus efeitos sobre o espaço público. *In*: Márcia Leite; Lia Rocha; Juliana Farias; Monique Carvalho. (Org.). **Militarização no Rio de Janeiro: da pacificação à intervenção**. 1 ed. Rio de Janeiro: Mórula Editorial, 1(1):223-239.

RUHLANDT, R. W. S. (2018). The governance of smart cities: A systematic literature review. **Cities**, United States, 1(1):1-23.

TOPPETA, D. (2010). The smart city vision: how innovation and ICT can build smart, “livable”, sustainable cities. **The innovation knowledge foundation**, 5:1-9.

TZENG, G. H.; HUANG, J. J. (2011). **Multiple attribute decision making: methods and applications**. [S.l.]: CRC press, 2011.

ZDRAVESKY, V.; MISHEY, K.; TRAJANOV, D.; KOCAREV, L. (2017). ISO- Standardized Smart City Platform Architecture and Dashboard. **IEEE Pervasive Computing**, 16(2):35-43.