



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

JOVENILSON ROCHA DE OLIVEIRA

**CIDADES INTELIGENTES E SUSTENTÁVEIS: avaliação multidimensional de
capitais brasileiras utilizando o método *FITradeoff***

Recife

2020

JOVENILSON ROCHA DE OLIVEIRA

**CIDADES INTELIGENTES E SUSTENTÁVEIS: avaliação multidimensional de
capitais brasileiras utilizando o método *FI*Tradeoff**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Pesquisa Operacional.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maísa Mendonça Silva.

Recife

2020

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

- O48c Oliveira, Jovenilson Rocha de.
Cidades inteligentes e sustentáveis: avaliação multidimensional de capitais brasileiras utilizando o método *FITradeoff* / Jovenilson Rocha de Oliveira - 2020.
115 folhas, il., gráfs., tabs.
- Orientadora: Profa. Dra. Máisa Mendonça Silva.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2020.
Inclui Referências.
1. Engenharia de Produção. 2. Cidades inteligentes e sustentáveis. 3. *FITradeoff*. 4. Problemática de classificação. I. Silva, Máisa Mendonça (Orientadora). II. Título.

UFPE

658.5 CDD (22. ed.)

BCTG/2020-259

JOVENILSON ROCHA DE OLIVEIRA

**CIDADES INTELIGENTES E SUSTENTÁVEIS: avaliação multidimensional de
capitais brasileiras utilizando o método *FI*Tradeoff**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Aprovada em: 26 / 08 / 2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Maísa Mendonça Silva (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Ana Paula Cabral Seixas Costa (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Eduardo Moreira da Costa (Examinador Externo)
Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, por sempre acreditarem em mim e por terem me proporcionado algo que eles não tiveram. Obrigado por todo o incentivo e por não medirem esforços para a concretização dos meus sonhos. Sem vocês, nada seria possível!

À minha orientadora e amiga, Prof.^a Maísa, que me acompanhou nessa aventura. Obrigado por todo empenho, pela confiança, por sempre estar disposta a ajudar e sempre com um sorriso enorme no rosto. Agradeço por toda motivação dada e sempre torcer pelo meu sucesso.

Aos bons amigos conquistados durante esse processo, em especial à Jeris, companheira de estudos, das cervejas e das partidas de xadrez e buraco. À Adolfo, meu caro amigo, por estar comigo em todos os momentos. À Lays, pela cumplicidade e pelos ensinamentos compartilhados. À Luanda, Hélder, Daniel e Felipe, parceiros de boas conversas. Aos velhos amigos, José Américo, Mateus, Maricélia e Éder, que mesmo distantes estavam sempre presentes. Sou grato a todos vocês!

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento dessa pesquisa.

A todos que contribuíram para mais essa etapa, meus sinceros agradecimentos!

RESUMO

O acelerado aumento populacional das cidades acarretou em vários problemas urbanos e ambientais, dificultando sua administração. O conceito de cidade inteligente e sustentável surge neste contexto, referindo-se à uma cidade que utiliza tecnologias da informação e comunicação (TICs) e outros meios para melhorar a qualidade de vida e os serviços urbanos, de modo a atender as necessidades das gerações atuais e futuras. Este é assunto de interesse mundial, não se limitando a países desenvolvidos. Prova disso tem-se que, recentemente, o Brasil anunciou a criação de um Plano Nacional para a padronização dessas cidades no país. Assim, o objetivo dessa pesquisa foi realizar uma avaliação multidimensional das capitais brasileiras sob os aspectos de uma cidade inteligente e sustentável, por meio da análise de decisão multicritério voltado para a problemática de classificação. A escolha do objeto de pesquisa justifica-se pela capital, em sua maioria, ser a cidade mais populosa do estado e também devido a maior disponibilidade de dados. Para o alcance do objetivo proposto, adaptou-se o modelo desenvolvido pela *European Standards Organization With Global Impact* (ETSI), tendo em vista que este apresentou maior equilíbrio entre tecnologia e sustentabilidade dentre os demais avaliados. O processo de classificação foi feito a partir do modelo aditivo e o método *Tradeoff* Flexível e Iterativo (*FITradeoff*), em virtude do menor esforço cognitivo por parte do decisor e pela redução de inconsistências que o método, em tese, apresenta quando se comparado ao *Tradeoff* tradicional. Como resultados, constatou-se uma maior fragilidade por parte das capitais em relação ao acesso e desenvolvimento de tecnologia, inovação, atratividade local e questões econômicas. De modo geral, as capitais da Região Nordeste do país apresentaram um desempenho inferior em relação as cidades da Região Sul, Sudeste e Centro-Oeste. As estratégias que o Plano Nacional visa desenvolver deve levar em consideração essas peculiaridades. Por fim, acredita-se que esse estudo possa servir como ferramenta de apoio no processo decisório para gestores, planejadores de cidades e entidades do segmento privado, na busca por estratégias de desenvolvimento em relação a temática referida, além de colaborar para mitigação da lacuna encontrada na literatura.

Palavras-chave: Cidades inteligentes e sustentáveis. *FITradeoff*. Problemática de classificação.

ABSTRACT

The accelerated population increase in cities has resulted in several urban and environmental problems, making its management difficult. The concept of smart and sustainable city appears in this context, referring to a city that uses information and communication technologies (ICTs) and other means to improve the quality of life and urban services, in order to meet the needs of current generations and future. This is a concept of global interest meaning that it is not limited to developed countries. To make this point, recently, Brazil announced the creation of a National Plan for the standardization of these cities in the country. As such, the objective of this research was to carry out a multidimensional assessment of Brazilian capitals under the aspects of an intelligent and sustainable city, through the analysis of multicriteria decision focusing on the classification matter. The choice of the research object is justified by the fact that, for the most part, the capital is the most populous city in the state and also due to the greater availability of data. To achieve this objective, the model developed by the European Standards Organization With Global Impact (ETSI) was adapted, considering that it presented a greater balance between technology and sustainability among the others evaluated. The classification process was based on the additive model and the Flexible and Interactive Tradeoff method (FITradeoff) was used, due to the lower cognitive effort on the part of the decision maker and the reduction of inconsistencies that the method, in theory, presents when compared to the traditional Tradeoff. As a result, there was a greater fragility on the part of capitals regarding the access and development of technology, innovation, local attractiveness and economic issues. In addition, generally speaking, the capitals of the Northeast Region of the country had a lower performance in comparison with the cities of the South, Southeast and Midwest. The strategies that the National Plan aims to develop must take these peculiarities into account. Finally, it is believed that this study can serve as a support tool in the decision-making process for managers, city planners and private sector entities, in the search for development strategies on the mentioned topic, and to collaborating to mitigate the gap found in literature.

Keywords: Sustainable smart city. FITradeoff. Problematic sorting.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Etapas do FITradeoff para problemática de escolha	32
Figura 2 –	Comparação 1 entre as consequências Y e Z.....	33
Figura 3 –	Comparação 2 entre as consequências Y e Z.....	34
Figura 4 –	Categorização das classes e valores de referência.....	37
Figura 5 –	Regras de decisão	38
Figura 6 –	Etapas para concretização da pesquisa	44
Figura 7 –	Representação do modelo ITU 4901	48
Figura 8 –	Representação do modelo ITU 4902	49
Figura 9 –	Representação do modelo ITU 4903	51
Figura 10 –	Representação do modelo ETSI	53
Figura 11 –	Representação do modelo ISO 37122-2018.....	55
Figura 12 –	Valores de fronteira estabelecidos	77
Figura 13 –	Consequência hipotética de pior desempenho	78
Figura 14 –	Seleção do critério a ser maximizado	78
Figura 15 –	Ordenamento dos critérios.....	79

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 –	Número de publicações referente a cidades inteligentes e sustentáveis ao longo dos anos	15
Gráfico 2 –	Balanço entre a sustentabilidade e inteligência urbana	60
Gráfico 3 –	Balanço entre os tipos de indicadores	61
Gráfico 4 –	Balanço entre os setores da cidade.....	61
Gráfico 5 –	Comparação do balanço da sustentabilidade e inteligência urbana entre o modelo original e adaptado	71
Gráfico 6 –	Comparação do balanço dos setores da cidade entre o modelo original e adaptado	71
Gráfico 7 –	Comparação entre os tipos de indicadores do modelo original e adaptado	72
Gráfico 8 –	Desempenho da cidade de Curitiba (PR)	88
Gráfico 9 –	Desempenho da cidade de Belo Horizonte (MG)	88
Gráfico 10 –	Desempenho da cidade de Florianópolis (SC).....	89
Gráfico 11 –	Desempenho da cidade de Brasília (DF)	90
Gráfico 12 –	Desempenho da cidade de São Paulo (SP).....	90
Gráfico 13 –	Desempenho da cidade de Recife (PE).....	91
Gráfico 14 –	Desempenho da cidade do Rio de Janeiro (RJ)	91
Gráfico 15 –	Desempenho da cidade de Salvador (BA).....	92
Gráfico 16 –	Desempenho da cidade de Fortaleza (CE).....	93
Gráfico 17 –	Intervalos das Constantes de Escala- Dimensão Pessoa .	97
Gráfico 18 –	Intervalos das Constantes de Escala- Dimensão Prosperidade.....	98
Gráfico 19 –	Intervalos das Constantes de Escala- Dimensão Planeta..	98
Gráfico 20 –	Intervalos das Constantes de Escala- Dimensão Governança.....	99
Gráfico 21 –	Gráfico de Dispersão PIB per capita versus desempenho na dimensão Planeta.....	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Alguns conceitos de cidades inteligentes ao longo do tempo	19
Tabela 2 –	Matriz de decisão multicritério.....	28
Tabela 3 –	Exemplo do sistema de avaliação dos indicadores	59
Tabela 4 –	Descrição dos critérios utilizados na seleção de indicadores.....	62
Tabela 5 –	Avaliação para seleção de indicadores.....	63
Tabela 6 –	Informações acerca dos indicadores utilizados.....	67
Tabela 7 –	Matriz de decisão multicritério para a dimensão Pessoas.....	74
Tabela 8 –	Definição das Categorias da Dimensão Pessoa.....	76
Tabela 9 –	Classificação das capitais quanto a dimensão de Pessoas.	79
Tabela 10 –	Matriz de decisão multicritério para a dimensão Planeta.....	80
Tabela 11 –	Definição das Categorias da Dimensão Planeta.....	81
Tabela 12 –	Classificação das capitais quanto a dimensão Planeta.....	82
Tabela 13 –	Matriz de decisão multicritério para a dimensão Prosperidade	83
Tabela 14 –	Definição das Categorias da Dimensão Prosperidade	83
Tabela 15 –	Classificação das capitais quanto a dimensão Prosperidade.....	85
Tabela 16 –	Matriz de decisão multicritério para a dimensão Governança.....	85
Tabela 17 –	Definição das Categorias da Dimensão Governança	86
Tabela 18 –	Classificação das capitais quanto a dimensão Governança.	87
Tabela 19 –	Análise de desempenho dos indicadores.....	93
Tabela 20 –	Análises de correlação	100

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TRABALHO.....	15
1.2	OBJETIVOS.....	16
1.2.1	Objetivo Geral.....	16
1.2.2	Objetivos Específicos.....	16
1.3	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA.....	18
2.1	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1.1	Cidades Inteligentes.....	18
2.1.2	Cidades Inteligentes e Sustentáveis.....	21
2.1.3	Análise de decisão multicritério.....	23
2.1.4	Problemáticas de decisão.....	25
2.1.5	Sistemas de preferência.....	26
2.1.6	Família de critérios.....	27
2.1.7	Avaliação intracritério e intercritério.....	28
2.1.8	Método de agregação aditivo.....	28
2.1.9	Procedimento de elicitação por <i>Tradeoff</i> Interativo e Flexível.....	31
2.1.10	FiTradeoff para problemática de classificação.....	36
2.2	REVISÃO DA LITERATURA.....	39
2.3	COMENTÁRIOS FINAIS SOBRE ESTA SEÇÃO.....	41
3	METODOLOGIA E ANÁLISE DE MODELOS PADRONIZADOS DE AVALIAÇÃO DE CIDADES	42
3.1	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	42
3.1.1	Caracterização da pesquisa	42
3.1.2	Delimitação da área de estudo.....	43
3.1.3	Origem dos dados utilizados.....	43
3.1.4	Atores do processo decisório.....	44
3.1.5	Etapas de desenvolvimento da pesquisa.....	44
3.2	MODELOS PADRONIZADOS PARA AVALIAÇÃO DE	

	CIDADES.....	46
3.2.1	Modelo ITU 4901.....	47
3.2.2	Modelo ITU 4902.....	49
3.2.3	Modelo ITU 4903.....	50
3.2.4	Modelo ETSI.....	52
3.2.5	Modelo ISO 37122-2018.....	54
3.3	AVALIAÇÃO DOS MODELOS PADRONIZADOS APRESENTADOS.....	58
3.4	AVALIAÇÃO DOS INDICADORES PRESENTE NO MODELO ETSI.....	62
3.5	AVALIAÇÃO DO MODELO ADAPTADO.....	70
3.6	COMENTÁRIOS FINAIS SOBRE ESTA SEÇÃO.....	72
4	AVALIAÇÃO DAS CAPITAIS BRASILEIRAS.....	74
4.1	AVALIAÇÃO MULTIDIMENSIONAL DAS CAPITAIS BRASILEIRAS.....	74
4.1.1	Avaliação multicritério para a Dimensão Pessoa.....	74
4.1.1.1	Elicitação de Preferências do decisor.....	77
4.1.2	Avaliação multicritério para a Dimensão Planeta.....	80
4.1.2.1	Elicitação de Preferências do decisor.....	81
4.1.3	Avaliação multicritério para a Dimensão Prosperidade.....	82
4.1.3.1	Elicitação de Preferências do decisor.....	84
4.1.4	Avaliação multicritério para a Dimensão Governança.....	85
4.1.4.1	Elicitação de Preferências do decisor.....	86
4.2	DESEMPENHO GLOBAL DAS CAPITAIS.....	87
4.3	ANÁLISE DE DESEMPENHO DOS INDICADORES.....	93
4.4	ANÁLISE DE ROBUSTEZ.....	97
4.5	RELAÇÃO DOS DESEMPENHOS DAS CIDADES COM FATORES LOCAIS.....	99
4.6	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS.....	100
5	CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	104
5.1	CONCLUSÕES.....	104
5.2	LIMITAÇÕES DO ESTUDO.....	106

5.3	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	107
	REFERÊNCIAS	108

1 INTRODUÇÃO

O acelerado crescimento populacional das cidades acarretou em uma série de problemas urbanos relacionados a questões sociais e ambientais, tais como o aumento da criminalidade, do desemprego, de habitações em condições insalubres e da poluição. Segundo dados das Organização das Nações Unidas (2019), cerca de 55% da população mundial vive em cidades. Salienta-se ainda, que na década de 50 esse valor era de apenas 30%.

Este inchaço populacional iminente fez das cidades o principal agente no processo de geração de impactos ambientais e consumo de recursos naturais. De acordo com dados da Ramsar (2012), cerca de 75% dos recursos naturais do mundo são consumidos pelos centros urbanos. Além disso, as cidades são responsáveis pela geração de 70% de todos os resíduos ambientais e de emitirem a maior parcela de gases do efeito estufa na atmosfera.

Os problemas decorrentes da urbanização dificultam o processo de gerenciamento das cidades. Desta forma, garantir condições habitacionais no contexto de um crescimento tão rápido da população urbana tornou-se um dos principais percalços a serem administrados pelos gestores e planejadores das cidades. Faz-se necessário a criação e adoção de sistemas complexos que mitiguem as mazelas urbanas e transforme as cidades em entendidas mais eficientes.

O conceito de cidade inteligente e sustentável (do inglês *Sustainable Smart City*) surgiu a partir desta conjuntura, referindo-se à uma cidade inovadora, que utiliza tecnologias da informação e comunicação (TICs) e outros meios para melhorar a qualidade de vida, eficiência das operações e serviços urbanos, de modo a atender as necessidades das gerações atuais e futuras em relação a aspectos econômicos, sociais, ambientais e culturais (ITU, 2016).

Essa nova terminologia surgiu após as críticas de alguns autores em relação ao termo cidade inteligente (do inglês *Smart City*), sobretudo por essa última ressaltar o viés tecnocêntrico, dando pouco enfoque ao viés do desenvolvimento sustentável. Yigitcanlar et al. (2018) afirma que é impossível um centro urbano se tornar inteligente sem antes se tornar sustentável.

Em razão da proposta estabelecida por uma cidade inteligente e sustentável em mitigar os problemas urbanos e ambientais dos municípios, o interesse por seu

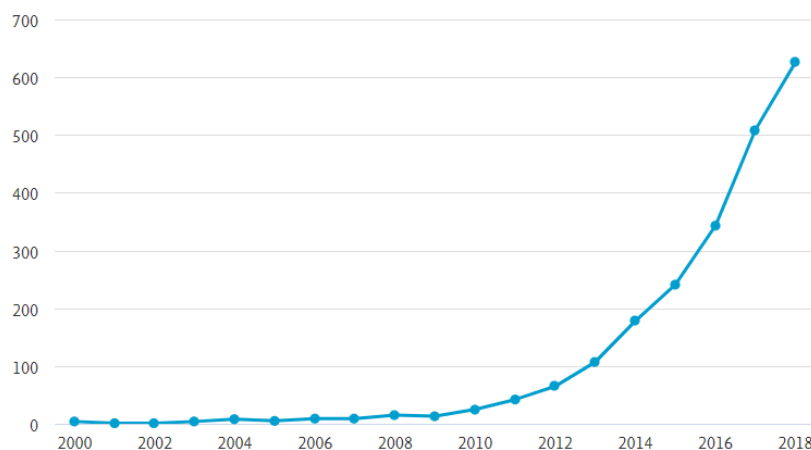
estudo é crescente. O governo brasileiro já apresentou interesse na temática e pretende implantar um programa de estratégias para que a concepção dessas cidades no país não seja algo pontual e passe a fazer parte de um Plano Nacional. Desta forma, estudar o nível de maturação que as cidades brasileiras se encontram faz-se necessário para direcionamento das táticas para o desenvolvimento dessas cidades.

Com o intuito de facilitar e nortear os gestores no processo de gestão e na tomada de decisão, modelos foram criados para mensurar e analisar o desempenho das cidades no tocante a sustentabilidade e inteligência urbana. A partir dessa análise é possível padronizar e comparar o desempenho entre centros urbanos e utilizar a técnica de *benchmarking* como um instrumento para melhorar as ações empregadas. Ademais, esses modelos são compostos por dimensões e uma gama de indicadores que podem ser traduzidos em múltiplos critérios de um problema de decisão, podendo, desta forma, serem utilizados para avaliar a *performance* das cidades.

1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TRABALHO

Embora este seja um conceito relativamente novo, é observado o aumento ascendente do interesse pela temática ao longo dos últimos anos, como evidencia o Gráfico 1. Governos, academia, indústria, setor privado e entidades representativas estão envolvidas no debate que abrange soluções e direcionamentos para a padronização e ampliação das cidades inteligentes e sustentáveis no mundo.

Gráfico 1 - Número de publicações referentes a cidades inteligentes e sustentáveis ao longo dos anos



Fonte: Scopus (2019).

Grande parte das discussões e pesquisas acerca das cidades inteligentes e sustentáveis ocorrem em regiões desenvolvidas, como países da América do Norte e Europa. Todavia, a temática vem ganhando relevância no cenário mundial, se estendendo a países em desenvolvimento. Recentemente, no Brasil, o governo tem demonstrado interesse em se alinhar a essa tendência global.

Prova disso, o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicações (MCTIC) anunciou, em julho de 2019, a criação de um programa estratégico brasileiro voltado para Cidades Inteligentes Sustentáveis. Segundo o secretário de Telecomunicações do ministério, a iniciativa terá como intuito definir diretrizes, indicadores padronizados e metas para criação de um Plano Nacional que padronize essas cidades no Brasil (MCTIC, 2019).

Conhecer o estágio de desenvolvimento atual das cidades e as suas limitações torna-se fundamental para auxiliar na definição de diretrizes e metas mais consistentes. Todavia, não foi observado na literatura nenhum estudo que avaliasse as cidades brasileiras sob esses aspectos, tampouco utilizando a problemática de classificação. Desta forma, o presente trabalho visa contribuir na mitigação dessa lacuna na literatura científica, além de servir como instrumento norteador para gestores, planejadores de cidades e entidades do segmento privado.

1.2 OBJETIVOS

A seguir, apresentar-se-ão os objetivos geral e específicos da pesquisa.

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é realizar uma avaliação multidimensional das capitais brasileiras quanto ao seu nível de desenvolvimento no tocante a uma cidade inteligente e sustentável, por meio da análise de decisão multicritério.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para o alcance do objetivo geral, tem-se os seguintes objetivos específicos:

- a) Realizar uma revisão da literatura, identificando aspectos que necessitam ser desenvolvidos no tema;
- b) Identificar e analisar os principais modelos padronizados de cidades inteligentes e sustentáveis.

- c) Selecionar e ajustar o modelo mais equilibrado no sentido das dimensões que abarcam a temática;
- d) Aplicar a metodologia de decisão multicritério para classificação das capitais brasileiras com base no modelo ajustado.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O presente estudo está estruturado em cinco seções, incluindo este capítulo introdutório, no qual foram expostos a contextualização do problema, os pontos de relevância e os objetivos delineados.

O Capítulo 2 aborda a base conceitual que sustentou o desenvolvimento desta pesquisa. Apresenta-se, no primeiro momento, os principais conceitos e aspectos da sustentabilidade e inteligência urbana. Subsequentemente, é introduzido algumas definições e elementos chaves da análise de decisão multicritério, explicitando aspectos do modelo aditivo determinístico e do procedimento de elicitação por *Tradeoff* Interativo e Flexível. Por fim, relata-se os trabalhos encontrados acerca da temática em lide, por meio da revisão de literatura.

O Capítulo 3 está estruturado em quatro seções. A primeira refere-se aos procedimentos metodológicos que foram utilizados para a concretização da presente pesquisa, destacando o delineamento da área de estudo, a fonte dos dados utilizados e as etapas empregadas. Já na segunda seção, tem-se a explanação de cinco modelos padronizados referentes a avaliação de sustentabilidade e inteligência urbana. A terceira seção é composta por uma pesquisa que auxilia na seleção do modelo mais adequado à problemática. Por fim, os indicadores do modelo selecionado foram avaliados por meio de três parâmetros, compondo a quarta seção.

No Capítulo 4 tem-se uma abordagem da classificação das capitais brasileiras acerca das dimensões do modelo teórico julgado como o mais equilibrado entre os demais avaliados no capítulo anterior. Este procedimento de classificação é realizado levando em consideração as preferências de quatro decisores, um para cada dimensão estudada. Em sequência, são realizadas a análise de robustez e uma avaliação de critérios que mais impactam no desempenho das cidades.

Finalmente, o capítulo 5 apresenta as conclusões do estudo, destacando as limitações encontrada e realiza algumas recomendações para futuros trabalhos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, é abordada a base conceitual que sustenta o desenvolvimento do presente estudo, sendo apresentados, no primeiro momento, os principais conceitos e aspectos das cidades inteligentes e das cidades inteligentes e sustentáveis. Subsequentemente, são introduzidas definições e elementos básicos da análise de decisão multicritério, da estrutura axiomática do modelo aditivo determinístico e do método *FITradeoff* com foco na problemática de escolha e na de classificação, sendo esta última a utilizada no estudo. Por fim, tem-se a exposição dos trabalhos desenvolvidos na temática com a abordagem de decisão multicritério.

2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A seguir, apresentar-se-á a base teórica que sustenta o desenvolvimento desta pesquisa.

2.1.1 Cidades Inteligentes

Nas últimas duas décadas, as áreas metropolitanas do mundo se envolveram em uma série de iniciativas destinadas a melhorar a infraestrutura e os serviços urbanos, com o objetivo de criar melhores condições ambientais, sociais e econômicas, além de aumentar a atratividade e a competitividade das cidades.

Os estudos de Khan e Zaman (2018) e Jong et al. (2015) trazem uma gama de conceitos que foram desenvolvidos para caracterizar as cidades. Como exemplo desses conceitos têm-se, 'cidades sustentáveis'; 'cidades verdes'; 'cidades digitais'; 'cidades inteligentes'; 'cidades da informação'; 'cidades do conhecimento'; 'cidades resilientes'; 'eco-cidades'; 'cidades de baixo carbono' e 'cidades habitáveis'.

Segundo Jong et al. (2015), o termo de cidades sustentáveis é o de maior aceitação ao longo da história. A sustentabilidade urbana pode ser definida como um espaço que almeja o equilíbrio entre a preservação ambiental, desenvolvimento econômico, equidade e justiça social. Deste modo, busca-se criar ambientes humanos saudáveis, habitáveis e prósperos, com demanda mínima de recursos e impacto mínimo no meio ambiente (BIBRI; BARDICI, 2015).

Todavia, a terminologia 'cidades inteligentes' vem superando-a nos últimos anos, tornando-se uma categoria cada vez mais dominante de política de modernização. Segundo uma pesquisa realizada por Mora, Bolici e Deakin (2017),

em apenas 23 anos o número de produção anual sobre a temática já aumentou em mais de 600 vezes.

Como objeto de pesquisa, os estudos sobre cidades inteligentes apareceram pela primeira vez em 1992 no livro intitulado “*The Technopolis Phenomenon: Smart Cities, Fast Systems, Global Network*” (GIBSON et al., 1992). Ao longo dos anos, as cidades inteligentes tornaram-se o símbolo da inovação e desenvolvimento urbano orientados pelas Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), atraindo a atenção crescente de pesquisadores de universidades, governos e empresas. Na Tabela a seguir, tem-se algumas definições que demonstram a percepção dos autores acerca desse conceito.

Tabela 1 - Alguns conceitos de cidades inteligentes ao longo do tempo

Definição de cidades Inteligentes	Autor(es)
É uma cidade que monitora e integra condições de todas as suas infraestruturas críticas relacionadas a transporte (estradas, pontes, trilhos, metrô, aeroportos e portos marítimos), comunicação, recursos (água e energia), otimizando melhor seus serviços, planejando suas atividades de manutenção e monitorando aspectos de segurança, ou seja, maximizando os serviços aos cidadãos.	Hall e Pfeiffer (2000)
É uma cidade com bom desempenho, construída com a combinação 'inteligente' de atividades e serviços, com cidadãos independentes e conscientes.	Giffinger et al. (2007)
As cidades inteligentes aproveitam os recursos de tecnologia e comunicação para monitorar as infraestruturas das cidades, otimizando operações elétricas, de transporte e outras operações logísticas que suportam a vida diária, melhorando assim a qualidade de vida de todos.	Chen (2010)
É uma cidade instrumentada (capaz de coletar e integrar dados do mundo real em tempo real por meio das TIC), interconectada (integração desses dados em uma plataforma de computação que permita a comunicação dessas informações entre os vários serviços da cidade) e inteligente (inclusão de serviços complexos de análise, modelagem, otimização e visualização para tomar melhores decisões operacionais).	Harrison et al. (2010)
Uma cidade inteligente infunde informações em sua infraestrutura física para melhorar as conveniências, facilitar a mobilidade, aumentar a eficiência, economizar energia, melhorar a qualidade do ar e da água, identificar	Nam e Pardo (2011)

problemas e solucioná-los rapidamente, recuperar-se rapidamente de desastres, coletar dados para tomar melhores decisões, implantar recursos efetivamente e compartilhar dados para permitir a colaboração entre entidades e domínios.	
É uma área geográfica bem definida, na qual se emprega altas tecnologias de TIC, em áreas como logística e produção de energia, visando criar benefícios para os cidadãos em termos de bem-estar, inclusão e participação, qualidade ambiental, inteligência e desenvolvimento.	Dameri e Cocchia (2013)
Cidades inteligentes representam um modelo conceitual de desenvolvimento urbano baseado na utilização de capital humano, coletivo e tecnológico para o aprimoramento do desenvolvimento e da prosperidade em aglomerações urbanas.	Angelidou (2014)
O conceito-chave da cidade inteligente é obter as informações certas, no local certo e no dispositivo certo para tomar uma decisão relacionada à cidade com facilidade e ajudar os cidadãos mais rapidamente.	Rathore et al. (2016)
Em uma cidade inteligente, as tecnologias digitais se traduzem em melhores serviços públicos para os habitantes e melhor uso dos recursos, reduzindo os impactos ambientais.	Mohanty, Choppali e Kougianos (2016)
Uma cidade inteligente emprega uma combinação de tecnologias de coleta, processamento e disseminação de dados, incentivando a inovação de aplicativos para promover a qualidade de vida geral de seus cidadãos e cobrindo dimensões que incluem: serviços públicos, saúde, transporte, entretenimento e serviços governamentais.	Gharaibeh et al. (2017)
Uma cidade inteligente pode ser definida como um território tecnologicamente avançado e modernizado, com uma certa capacidade intelectual que lida com vários aspectos sociais, técnicos e econômicos do crescimento, baseados em técnicas de computação inteligente para desenvolver componentes e serviços de infraestrutura.	Rana et al. (2019)

Fonte: O Autor (2020).

A partir do breve recorte conceitual apresentado na Tabela 1, é evidente que não existe um consenso acerca da definição de cidades inteligentes. No entanto, há uma similaridade apresentada nos conceitos: o enfoque monocêntrico no desenvolvimento tecnológico e contribuição questionável ao desenvolvimento

sustentável, sendo alvo de críticas de diversos pesquisadores (YIGITCANLAR et al., 2018, COLDING; BARTHEL, 2017, HAN; HAWKEN, 2018; HOLLANDS, 2015 MORA; BOLICI; DEAKIN, 2017).

Noy e Givoni (2018) e Costa e Oliveira (2017) argumentaram que, hoje em dia, as cidades inteligentes se concentram mais na rentabilidade tecnológica e na economia do que no alcance de metas reais para a sustentabilidade. Yigitcanlar (2016) alerta que a partir da compreensão atual, existe o risco a longo prazo do aumento da dependência de tecnologia e negligência de questões socioespaciais nos centros urbanos.

Dicotomicamente, o conceito de cidade sustentável, que é embasado no tríptico da sustentabilidade: sociedade, meio ambiente e economia, também está sendo parcialmente criticado por não acompanhar as demandas atuais de uma sociedade extremamente digitalizada e dinâmica (JONG et al., 2015).

Frente ao exposto, os dois conceitos mais relevantes no tocante a categorização de cidades na literatura estão sendo alvos de críticas por partes dos pesquisadores. Sob essa ótica, surge uma nova terminologia denominada 'cidade inteligente e sustentável', que visa integrar e sanar as lacunas supracitadas.

2.1.2 Cidades Inteligentes e Sustentáveis

Cidades inteligentes e sustentáveis é um assunto em ascensão e pode ser considerado como um fenômeno tecno-urbano, tendo sua disseminação em meados de 2010 frente às necessidades de adequação da tecnologia e sustentabilidade (AL-NASRAWI; ADAMS; EL-ZAART, 2015; BIBRI, S. E., BARDICI, 2015, BIBRI; KROGSTIE, 2017a, BIBRI; KROGSTIE, 2017b; HÖJER; WANGEL, 2015; KRAMERS; WANGE; HÖJER, 2016; RIVERA, ERIKSSON; WANGEL, 2015).

De fato, esse campo de pesquisa surge como uma busca natural dentro do planejamento e desenvolvimento urbano, considerando as questões não resolvidas referentes aos modelos existentes de cidade inteligentes, em termos de sua contribuição para a sustentabilidade, juntamente com as deficiências associadas às cidades sustentáveis, quanto a utilização de ações inteligentes para o alcance de um resultado mais rápido e promissor (JONG et al., 2015, BIBRI; KROGSTIE, 2017b).

Chang et al. (2018) afirmam que nas cidades inteligentes e sustentáveis, o termo "sustentável" deve ser entrelaçado com o termo "inteligente" para alcançar os

resultados desejados. Esse pensamento é reforçado por Yigitcanlar et al. (2019) ao sugerir que as cidades não poderiam ser inteligentes sem serem sustentáveis, mesmo quando evidências na aplicação prática da “inteligência” apontam o contrário.

Do ponto de vista prático, isso implica em desbloquear e explorar o potencial das TIC, difundindo-a como uma tecnologia capacitadora, integrativa e constitutiva, capaz de auxiliar no alcance dos objetivos ambientais, sociais e econômicos, ou seja, nos pilares da sustentabilidade (BIBRI; KROGSTIE, 2017 a).

Algumas definições e modelos de mensuração do desempenho de cidades inteligentes apresentam a integração da sustentabilidade, o que pode levar a uma confusão na diferença entre as abordagens. Há até autores como Höjer e Wangel (2015), que sugerem a utilização apenas do termo cidade inteligente, sem o acréscimo do termo sustentável. No entanto, há estudos que comprovam que existe um desequilíbrio em estruturas de avaliação de cidades inteligentes quanto à mensuração da dimensão da sustentabilidade (AHVENNIEMI et al., 2017).

Nesse sentido, Höjer e Wangel (2015) definiram cidade inteligente e sustentável como sendo uma cidade que atende às necessidades de seus habitantes atuais, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender às suas necessidades e, dessa forma, não exceder as limitações ambientais locais ou planetárias, e onde isso é suportado pelas TIC.

A capacidade de informatizar sistemas e domínios urbanos e, portanto, processar dados, constitui uma indicação do alcance e do esforço das TIC para desenvolver inovações, soluções e abordagens sofisticadas que vem sendo empregada para aprimorar a contribuição da tecnologia para as dimensões da sustentabilidade (BIBRI; KROGSTIE, 2017a). Ainda segundo os autores, a difusão das TIC nas cidades implica em fontes novas e mais extensa de dados urbanos, permitindo apoiar no planejamento, na operação e no gerenciamento desse sistema.

Para a utilização prática do conceito de cidades inteligentes e sustentáveis é imprescindível o desenvolvimento e implantação de métodos e ações robustas de avaliação, como modelo com indicadores e métricas, para garantir de fato que as cidades possam ser denominadas inteligentes e sustentáveis e não ser apenas um rótulo urbano, sem ter aplicação realística (AKANDE et al., 2019; HUOVILA; BOSCH; AIRAKSINEN, 2019; HÖJER E WANGEL, 2015).

Desta forma, no capítulo 3 ter-se-á uma abordagem dos principais modelos padronizados na esfera de desenvolvimento inteligente e sustentável e a justificativa da estrutura empregada, respeitando as condições descritas no parágrafo antecessor. Já nos próximos itens desta seção será abordado alguns pontos de embasamento do método de análise de decisão multicritério utilizado para o presente estudo.

2.1.3 Análise de decisão multicritério

O processo de tomada de decisão multicritério pode ser entendido como um estímulo para resolver o impasse entre ao menos duas alternativas de ação, com critérios, muitas das vezes, conflituosos. Essa configuração impossibilita a existência de uma única solução ideal e direciona ao encontro da solução de melhor compromisso (ZELENEY, 1982; BELTON; STEWART, 2002; ALMEIDA, 2013).

Vincke (1992) ressalta a significância da *Multiple Criteria Decision Making/Analysis* (MCDM/A) para resolução de problemas reais, enfatizando a sua aplicação em áreas como a Pesquisa Operacional e Teoria da Decisão. Ainda segundo o autor, essa abordagem fornece algumas ferramentas para auxiliar o decisor no encontro de soluções desses problemas. Essa análise agrega diferentes pontos de vista, com variados atores e com objetivos individuais diferentes.

Almeida (2013) reforça que a utilização de métodos MCDM/A faz-se necessário quando não é possível representar todos os objetivos de um problema por meio de critérios com uma unidade métrica. Essa representação é feita através de um modelo de decisão que, segundo Roy (1996), serve para auxiliar na obtenção de elementos e atores do processo decisório, visando representar a realidade de forma simplificada.

Para a resolução de um problema de decisão multicritério existe uma gama de métodos na literatura atual. A fim de facilitar os estudos e as reunir as peculiaridades dos métodos MCDA, algumas classificações foram desenvolvidas, sendo que a de Roy (1996) e Vincke (1992) são as mais difundidas.

Os autores supracitados classificam os métodos em três abordagens, referentes as modelagens de preferências:

- a) Enfoque no critério único de síntese, no qual os critérios são agregados a uma única função que deve ser otimizada. Exemplo: Teoria da Utilidade

Multiatributo (*Multiple Attribute Utility Theory – MAUT*); SMARTS (*Simple Multi-attribute Rating Technique using Swings*); SMARTER (*Simple Multi-attribute Rating Technique Exploiting Ranks*) e o VIP Analysis (*Variable Interdependent Parameters*);

- b) Enfoque na síntese de sobreclassificação, que aceita a incomparabilidade, onde destacam-se os métodos ELECTRE (*Elimination Et Choix Traduisant la Réalité*) e PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*);
- c) Enfoque no julgamento interativo com cálculos alternados, que recebe informações extras com relação às preferências do decisor.

Almeida et al (2013) também traz uma classificação usual e que merece destaque nesse estudo. Ela apresenta duas abordagens, sendo os Métodos Compensatórios e Não Compensatórios. O primeiro grupo é caracterizado por haver a compensação (*tradeoff*) entre critérios, ou seja, ao se avaliar uma alternativa, um desempenho baixo em um dado critério pode ser compensado por um desempenho melhor em outro. Já o segundo grupo é caracterizado por não haver essa compensação.

Ressalta-se que os métodos com enfoque no critério único de síntese são classificados como métodos compensatórios e que a maioria dos métodos com enfoque na síntese de sobreclassificação apresentam avaliação não compensatória.

Para a construção do modelo de decisão e da escolha do método a ser utilizado, é imprescindível a identificação de atores chave envolvidos no processo decisório. Segundo Roy (1996) e Almeida (2013), o decisor é o indivíduo ou a instituição encarregada por avaliar a situação problema, estabelecer limites, definir objetivos e é quem de fato tem o poder sobre a decisão a ser tomada. É ao decisor que incide a responsabilidade da escolha.

Já os analistas tem como principal função fornecer o aparato metodológico para a modelagem do processo decisório. Em muitas situações ele é tido como um facilitador da análise e é encarregado por promover a geração de ideias, refinar a formulação do problema e construir o modelo. Ele pode contar com auxílio de um agente, conhecido como especialista, que fornece informações relevantes ao problema, por conhecer o ambiente de estudo e as variáveis que influenciam na

avaliação.

Ainda de acordo com os autores supracitados, tem-se que os *stakeholders* são atores afetados pela tomada de decisão e, por conta disso, tentam influenciar a escolha do decisor. Por fim, a terceira parte refere-se a atores que possuem atuação indireta no processo, mas que são afetados diretamente pela escolha da ação. Desta forma, o decisor pode levar em consideração as preferências desse grupo.

Definidos os atores e contextualizado o problema de decisão, o próximo passo consiste em identificar a forma com que decisor deseja comparar as alternativas e obter o conjunto de soluções, para tanto é fundamental a escolha de uma problemática de decisão. Desta forma, no item 2.4.1, ter-se-á a uma breve descrição das principais problemáticas abordadas nos métodos MCDM/A.

2.1.4 Problemáticas de decisão

Via de regra, um problema de decisão é composto por um conjunto de alternativas $a_j \in A$, $A = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_m\}$, representado por uma família de critérios $x_i \in F$, $F = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$, no qual o decisor deve fazer o julgamento desse sistema para o alcance da melhor consequência. A forma com que o decisor deseja receber a solução vai depender da problemática escolhida. Roy (1996) traz quatro tipos de problemáticas:

- a) Problemática de Escolha (α): tem o intuito de selecionar um subconjunto, o menor possível, do espaço A , que represente melhor seus objetivos.
- b) Problemática de Classificação (β): almeja alocar cada alternativa do espaço A a uma classe, sendo que essas classes normalmente são definidas *a priori*. Ressalta-se que as ações definidas na mesma categoria apresentam propriedades comuns.
- c) Problemática de Ordenação (γ): tem como objetivo apresentar um *ranking* das ações, ordenando da melhor para a pior consequência.
- d) Problemática de Descrição (δ): visa dar o suporte a decisão por meio da descrição das ações e suas consequências.

Belton e Stewart (2002) ressaltam mais duas categorias, sendo estas:

- a) Problemática de Portfólio (ϵ): anseia escolher um subconjunto dentro do espaço de ações A , que represente os objetivos, limitados por restrições.

- b) Problemática de design (ζ): tem como intuito investigar ou criar novas ações para o problema de decisão.

Conhecidas as principais problemáticas encontradas na literatura, cabe ao decisor escolher qual dessas define melhor sua necessidade para julgar as alternativas presentes no problema de decisão. Para tanto, é necessário conhecer as relações de preferência que podem acontecer durante esse julgamento e as propriedades dessas relações, conforme exposto no próximo item.

2.1.5 Sistemas de preferência

O conhecimento em relações de preferência guia o processo de modelagem das preferências do decisor, de modo a auxiliar na escolha do método de decisão. É a partir dessas relações binárias que o analista constrói uma estrutura de preferências para o decisor, sendo essa estrutura uma formalização da comparação das alternativas (ALMEIDA, 2013).

A seguir, são apresentadas algumas relações de preferência que fazem parte do Sistema Básico de Relações de Preferências (SBRP), concebido por Roy (1996):

- a) Indiferença (I): ocorre em situações que é nítida a justificativa de equivalência entre dois elementos. Como propriedades tem-se que ela é reflexiva (aIa) e simétrica ($aIb \Rightarrow bIa$).
- b) Preferência Estrita (P): ocorre em situações que é nítida a justificativa de uma maior preferência de um elemento do que o outro. Como propriedade tem-se que ela é assimétrica: $aPb \Rightarrow \text{não}(bPa)$.
- c) Preferência Fraca (Q): ocorre em situações que é nítida a justificativa para o decisor, que invalidem a preferência estrita em favor de dois elementos, mas também não há razões claras para diferenciar de preferência estrita ou uma indiferença. Como propriedade tem-se que ela é assimétrica: $aQb \Rightarrow \text{não}(bQa)$.
- d) Incomparabilidade (R): ocorre em situações em que não há razões claras e objetivas que justifiquem qualquer uma das três situações antecessoras. Como propriedades tem-se que ela é irreflexiva: $\text{não}(aRa)$ e simétrica ($aRb \Rightarrow bRa$).
- e) Não Preferência ($\sim$): ocorre em situações em que não há razões claras e

objetivas que justifiquem a preferência estrita ou preferência fraca em favor de um elemento. Essa relação define uma situação de indiferença ou incomparabilidade, não conseguindo o decisor distingui-las.

- f) Preferência J (Presunção de Preferência): ocorre em situações que é nítida a justificativa pela preferência fraca, sem se preocupar a quão fraca, em favor de um dos dois elementos, não havendo nenhuma divisão significativa estabelecida entre as situações de preferência fraca e indiferença.
- g) Sobreclassificação(S): ocorre em situações que é nítida a justificativa para expressar a preferência P ou a J em favor de um dos dois elementos, não havendo nenhuma divisão significativa estabelecida entre as situações de preferência estrita, preferência fraca e indiferença.

Existem outras relações de preferências que não serão abordadas nesse estudo, mas que podem ser consultadas em Roy (1996).

Outra questão importante a ser considerada durante a escolha do método é o tipo de critério que traduz melhor os objetivos do problema de decisão, conforme apresentado no item subsequente.

2.1.6 Família de critérios

Os objetivos de um problema de decisão são representados pela família de critérios. De acordo com Vincke (1992), um critério é uma função g , sobre o conjunto A , que expressa as preferências do decisor sob determinado aspecto. É importante frisar que, uma família de critérios deve ser capaz de expressar os objetivos do problema sem que haja redundância, ou seja, deve atender o princípio da exaustividade.

Ainda de acordo com o autor, os critérios podem ser classificados de quatro formas:

- a) Critério verdadeiro: utilizado no modelo tradicional, no qual qualquer diferença entre dois elementos resulta em uma preferência estrita. Esse sistema requer uma estrutura de preferência de pré-ordem completa (não há incomparabilidade). O modelo aditivo, que foi utilizado nesse estudo, atende à essa categoria.

- b) Semicritério: nesse tipo de critério há uma região de indefinição entre a indiferença e a preferência estrita do decisor, resultando em um modelo com limiar e, portanto, uma estrutura de preferência de semiordem.
- c) Critério de intervalo: similarmente a classificação anterior, exceto pelo fato da região de indefinição entre a preferência estrita e a indiferença ser variável. Assim, resulta-se em um modelo com limiar variável ao longo da escala de valor.
- d) Pseudocritério: corresponde a um modelo de duplo limiar (com presença de um limiar de indiferença, abaixo do qual é nítido a relação de indiferença e um limiar p , acima do qual é claro a preferência estrita), resultando em uma pseudo-ordem.

2.1.7 Avaliação intracritério e intercritério

Segundo Almeida (2013), a avaliação intracritério é onde se avalia cada alternativa do espaço A em função de cada critério da família F , resultando em uma função valor dada por $v_j(a_i)$. Esse procedimento permite a construção de uma matriz de decisão, que representa o modelo em questão, conforme a Tabela abaixo.

Tabela 2 - Matriz de decisão multicritério

Alternativas	Critérios			
	C_1	C_2	...	C_m
a_1	$v_1(a_1)$	$v_2(a_1)$	...	$V_m(a_1)$
a_2	$v_1(a_2)$	$v_2(a_2)$	...	$V_m(a_2)$
...	...	...	...	...
a_n	$v_1(a_n)$	$v_2(a_n)$	...	$V_m(a_n)$

Fonte: Almeida (2013).

Já a análise intercritério consiste em fazer uma avaliação considerando a combinação quantitativa dos critérios. Para tanto, faz-se necessário a adoção de um método MDCA com o intuito de se fazer a agregação desses critérios.

No item a seguir será explanado o método de agregação aditivo, tendo em vista que esse foi utilizado no presente estudo.

2.1.8 Método de agregação aditivo

Segundo Belton e Stewart (2002) e Keeney e Raiffa (1993) a Teoria do Valor Multiatributo (MAVT) é caracterizada por utilizar uma função de valor multiatributo

que associa um valor de desempenho global para cada alternativa. Além disso, o conjunto de métodos presentes nessa teoria utiliza a estrutura de preferência (P, I), ou seja, dadas duas alternativas a e b, apenas três relações pode ocorrer: a P b, b P a ou alb.

O modelo de agregação aditivo determinístico é o mais difundido dentre os métodos dessa teoria (ALMEIDA, 2013). Trata-se de um método de critério único de síntese que possui caráter de agregação compensatória, no qual é possível fazer a agregação de todos os critérios em uma única função valor global, por meio de constantes de escalas que representam a compensação entre critérios.

Nota-se que a constante de escala no modelo aditivo não reflete apenas o grau de importância relativa de cada critério, como é observado nos métodos de sobreclassificação (chamadas de peso), mas, reflete também os *trade-offs* entre os critérios.

Para a obtenção da função valor global e, portanto, o desempenho das alternativas, tem-se a seguinte estrutura, onde k_i representa os valores da constante de escala, n é o número de critérios e x representa a consequência para cada alternativa:

$$v(x) = \sum_{i=1}^n k_i v_i(x_i) \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n k_i = 1 \quad (2)$$

$$k_i \geq 0 \quad (3)$$

A aplicação desse modelo só é possível se os critérios satisfazerem o teorema de independência preferencial, do contrário, outro método deverá ser utilizado (KEENEY; RAIFFA, 1976, SPLIET; TERVONEN, 2014). Para efeitos de simplificação, suponha que existam somente dois critérios, y e z , na família de critérios F . A independência ocorrerá se, e somente se, a preferência por y , dado um z' , não dependa de z' , ou seja:

$$(y', z') P (y'', z') \Leftrightarrow (y', z) P (y'', z), \forall z, y', y''.$$

Conforme o exemplo, dadas duas consequências com o mesmo desempenho z' , houve a preferência de uma consequência em relação à outra ao apresentar desempenhos de y diferentes (y' e y''). A independência preferencial só existiu porque permanecendo os valores de y nas consequências e mudando a preferência z' para z , ainda sim a preferência se manteve a mesma. Desta forma, pode-se concluir que y é independente preferencialmente de z .

Outro aspecto importante a ser considerado é o processo de normalização. Quando os critérios estão em unidades métricas diferentes (por exemplo, unidade monetária e quilometragem por hora) é necessário colocar todos os critérios na mesma escala, sendo usual colocá-los em um intervalo contínuo de 0 a 1. Salienta-se que caso haja mudança de procedimento de normalização, as constantes de escalas devem ser reavaliadas, para evitar uma grave distorção no processo decisório (pode haver mudança de ordem das consequências).

Por fim, o processo de parametrização é a parte crucial do modelo aditivo, haja vista que nesta etapa é feita a elicitación das preferências do decisor. Este julgamento, na maioria dos casos, requer um esforço cognitivo muito elevado por parte do decisor, principalmente nos métodos que fazem a comparação de consequências baseadas em relações de indiferenças (uso de informação completa). Existe atualmente na literatura uma gama de procedimentos para efetuar esta parametrização, sendo que os mais utilizados são o *swing* e o *tradeoff* (ALMEIDA, 2013).

O procedimento por *swing* é caracterizado por ter uma modelagem simplificada, acarretando em um processo de elicitación com menor esforço cognitivo por parte do decisor e com uma média incidência de inconsistências, cerca de 48% segundo estudos de Borchering, Eppel e von Winterfeldt (1991). Todavia, é importante frisar que a simplificação do método leva a uma perda em estrutura axiomática. Por exemplo, não é possível a realização de uma avaliação intracritério com funções valores não lineares (ALMEIDA, 2013).

Já o procedimento *tradeoff* tem uma base axiomática mais estruturada (KEENEY; RAIFFA, 1976). No entanto, há uma grande incidência de inconsistências, cerca de 67% das vezes, e os decisores consideram ser um procedimento de difícil julgamento, o que exige um alto esforço cognitivo (BORCHERDING; EPPEL; VON WINTERFELDT, 1991). Isso ocorre porque o procedimento exige que o decisor especifique o valor exato de indiferença entre duas consequências, etapa por etapa, até a definição das constantes de escala de cada critério, ou seja, o método utiliza informação completa (KEENEY; RAIFFA, 1976).

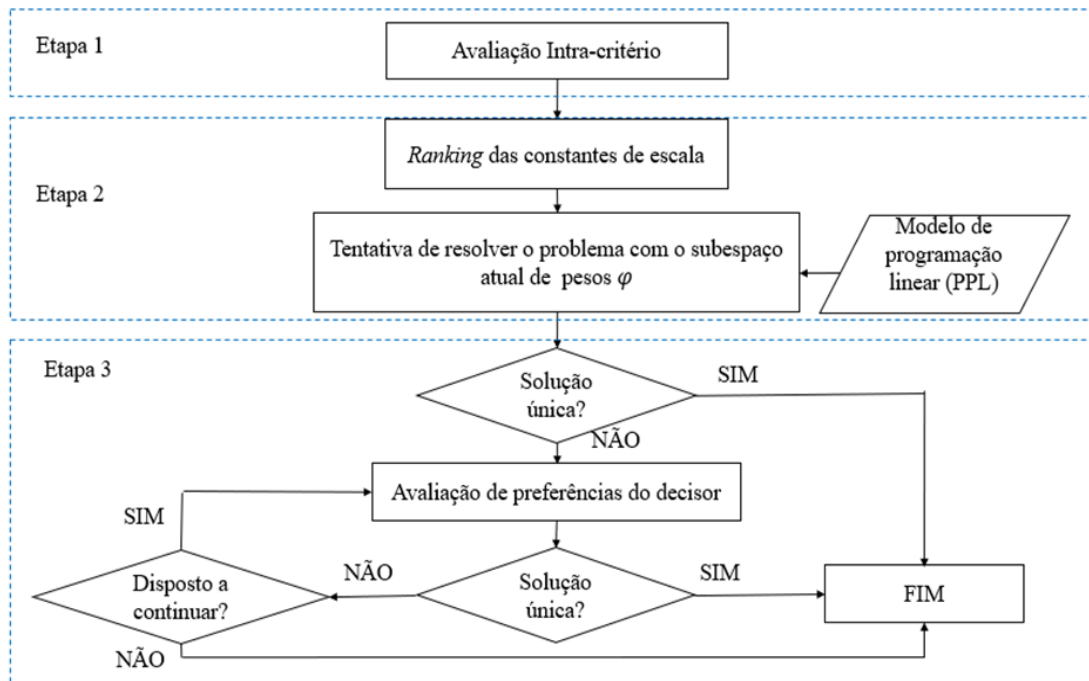
2.1.9 Procedimento de elicitação por *Tradeoff* Interativo e Flexível

A partir das lacunas encontradas no *tradeoff*, Almeida et al. (2016) desenvolveram o procedimento de elicitação por *Tradeoff* Interativo e Flexível, ou como é mais conhecido, *FITradeoff*. A flexibilidade do método refere-se ao procedimento de elicitação que pode ser alterado e adaptado facilmente, sem que haja a necessidade de seguir todas as etapas exigidas pelo procedimento clássico. Isso só é possível porque o método utiliza informações parciais baseadas na relação de preferência estrita (P), permitindo suspender o processo assim que as recomendações fornecidas pela resolução dos problemas de programação linear forem satisfatórias para o decisor.

Assim, o método permaneceu com a vantagem do procedimento *tradeoff* em trazer uma estrutura axiomática robusta e conseguiu exigir menos esforço cognitivo do decisor, haja vista que é mais fácil estabelecer relações de preferência estrita entre duas consequências, do que declarar relações de indiferença entre elas. Consequentemente, este processo pode levar a uma menor incidência de inconsistências durante o processo de elicitação (ALMEIDA et al, 2016).

Similarmente ao procedimento de *tradeoff* clássico, a primeira etapa do método consiste na avaliação intracritério, como ilustrado na Figura 1, e é onde se obtém as funções de valor marginal para cada critério i , representado por $v_i(x_i)$. Salienta-se que essas funções representam a performance de cada critério dentro do espaço de consequências e que, após normalizados, resultará na escala de 0 a 1, sendo que os valores 0 e 1 representam, respectivamente, o pior (p_i) e o melhor (m_i) desempenho do critério. Desta forma, tem-se que $v_i(p_i)=0$ e $v_i(m_i)=1$.

Figura 1 - Etapas do FITradeoff para problemática de escolha



Fonte: Adaptado de Almeida (2016).

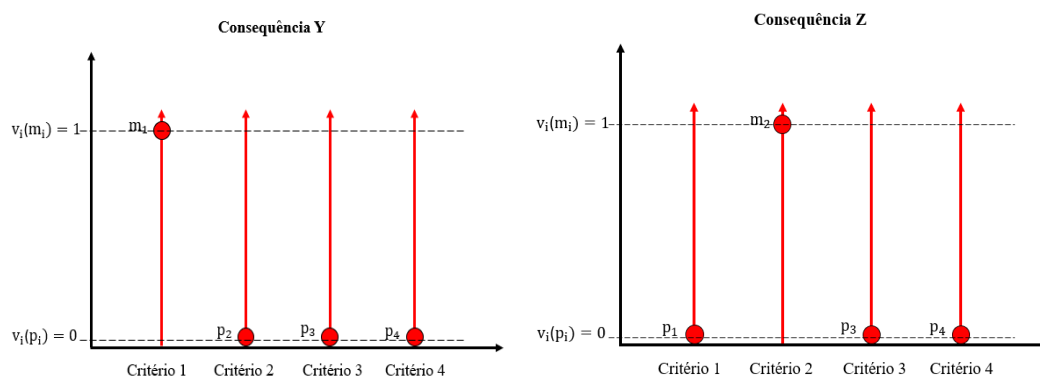
A segunda etapa corresponde à ordenação das constantes de escala para obtenção da ordem dos valores das k_i . Esse procedimento é efetuado ao fornecer duas consequências hipotéticas ao decisor e este deve expressar sua preferência entre elas. A Figura 2 abaixo ilustra esse procedimento.

De acordo com a Figura, a primeira consequência (Y) é representada pela função valor $v_Y(m_1, p_2, p_3, p_4)$ e a consequência (Z) é definida pela função valor $v_Z(p_1, m_2, p_3, p_4)$. Pode-se avaliar que,

$$v(m_1, p_2, p_3, p_4) = k_1 v_1(m_1) + k_2 v_2(p_2) + k_3 v_3(p_3) + k_4 v_4(p_4) = \sum_{i=1}^4 k_i v_i(x_i) = k_1 \quad (2.4)$$

$$v(p_1, m_2, p_3, p_4) = k_1 v_1(p_1) + k_2 v_2(m_2) + k_3 v_3(p_3) + k_4 v_4(p_4) = \sum_{i=1}^4 k_i v_i(x_i) = k_2 \quad (2.5)$$

Figura 2 - Comparação 1 entre as consequências Y e Z



Fonte: Adaptado de Frej; Almeida; Morais (2019)

Caso o decisor julgue que a consequência Y é preferível a Z, tem-se que $k_1 > k_2$. É importante salientar que, o fato de k_1 ser maior do que k_2 não significa dizer que o critério 1 é mais importante do que o critério 2, mas sim que a consequência Y é melhor para o decisor do que a Z (ALMEIDA, 2013). Esse procedimento de comparação par a par deve ser repetido com as demais consequências com esse padrão (melhor desempenho em um critério e pior nos demais) até que se ordene todos os critérios (FREJ; ALMEIDA; MORAIS, 2019).

Subsequentemente, para a obtenção de relações entre as constantes de escalas, o decisor deverá expressar sua preferência novamente. No entanto, as consequências hipotéticas não serão mais categorizadas como na etapa anterior. Como o método aditivo assume uma racionalidade compensatória do decisor, haverá algum ponto entre o intervalo de p_i e m_i da consequência y, que o decisor será indiferente com a consequência seguinte.

Todavia, antes dessa etapa, é efetuado um cálculo para saber qual heurística será utilizada. Uma heurística tem como objetivo encontrar uma solução mais fácil e mais rápido (SOBRIE; MOUSSEAU; PIRLOT, 2019), de modo a reduzir o número de perguntas ao decisor. A escolha do tipo da heurística a ser utilizada depende da distribuição dos valores das constantes de escala. No método, duas distribuições são consideradas, a modal: que ocorre quando um grupo de critérios concentra os maiores pesos, e a uniforme: usada quando os pesos de todos os critérios são semelhantes.

Para se decidir qual das heurísticas utilizar, o decisor é questionado quanto à sua preferência em relação a duas consequências. A primeira apresenta a metade

do valor do critério mais preferível, elencado no passo anterior e a segunda possui o valor máximo do critério menos preferível. Caso o decisor escolha a segunda consequência, significa que a razão $k_n / k_1 > 0,5$ e, portanto, tem-se uma distribuição uniforme. Do contrário, $k_n / k_1 < 0,5$, assim, tem-se uma distribuição modal. O impacto de cada heurística é apresentado a seguir.

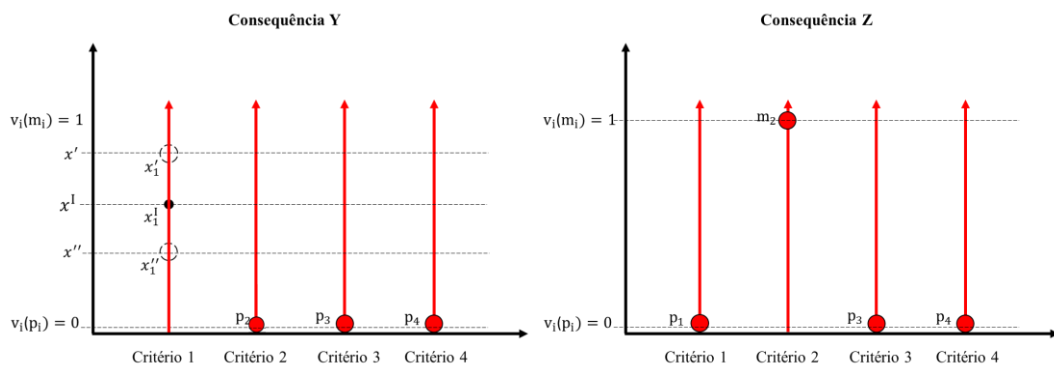
O valor que x'_1 irá assumir depende da heurística usada tal que, se a distribuição for modal utiliza-se a equação 4 e se for uniforme usa a equação 5. Nota-se à similaridade da primeira heurística com o método da bissecção (ALMEIDA et al, 2016).

$$v_i(x_i) = \frac{v_i(x_i') - v_i(x_i'')}{2} \quad (4)$$

$$v_i(x_i) = 0,75v_i(x_i') \quad (5)$$

Definida a heurística, as relações entre as constantes de escala podem ser definidas. Conforme supracitado, no método *FITradeoff* não é necessário que o decisor defina valores exatos de indiferença entre as consequências, mas sim definir um intervalo que contenha o valor dessa indiferença. Continuando com as consequências hipotéticas da etapa 1, ainda se considera que a consequência Y P Z. Dessa forma, o desempenho do critério 1 da consequência Y será diminuído até x'_1 e o decisor deverá expressar sua preferência entre esta nova consequência hipotética e a Z, conforme Figura 3.

Figura 3- Comparação 2 entre as consequências Y e Z



Fonte: Adaptado de Frej, Almeida e Moraes (2019)

Como o valor de $x'_1 > x_1^I$, a consequência Y ainda será preferível. Assim, diminui-se ainda mais o desempenho de x_1 para o valor de x_1'' . Neste ponto, o

decisor irá preferir a consequência Z, tendo em vista que $x_1'' < x_1^I$. A partir dessas declarações de preferência estrita do decisor, obtém-se as seguintes inequações:

$$k_1 v_1(x_1') > k_2 \quad (6)$$

$$k_1 v_1(x_1'') < k_2 \quad (7)$$

A partir das inequações, o conjunto φ_n (conhecido como espaço de pesos) contendo valores possíveis de cada constante de escala é formado e pode ser generalizado do seguinte modo:

$$\varphi_n = \left\{ (k_1, k_2, k_3, \dots, k_n) \mid \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n k_i = 1; k_i > 0 \\ k_1 v_1(x_1'') < k_2 < k_1 v_1(x_1'); \dots; \\ k_i v_1(x_i'') < k_{i+1} < k_i v_1(x_i'); \dots; \\ k_{n-1} v_1(x_{n-1}'') < k_n < k_{n-1} v_1(x_{n-1}'); \end{array} \right\} \quad (8)$$

Ao passo em que mais informações são coletadas, o espaço de pesos é reduzido e modelo de programação linear (equação 9) calcula o desempenho das alternativas no estado atual, identificando quais delas ainda são potencialmente ótimas. Uma alternativa é potencialmente ótima quando o resultado da função valor é maior ou igual a função valor de qualquer outra alternativa de todo o conjunto de alternativas, para pelo menos um vetor de pesos no espaço φ_n .

$$\text{Max } \sum_{i=1}^n k_i v_i(x_{ij}), \quad j=1, \dots, m$$

Sujeito a:

$$\begin{aligned} (1) & k_1 > k_2 > k_3 > \dots > k_n \\ (2) & \sum_{i=1}^n k_i v_i(x_{ij}) \geq \sum_{i=1}^n k_i v_i(x_{iz}), \quad z=1, 2, \dots, m, \quad z \neq j \\ (3) & k_i v_1(x_i') - \varepsilon \geq k_{i+1}, \quad i=1, 2, \dots, n-1 \\ (4) & k_i v_1(x_i'') + \varepsilon \leq k_{i+1}, \quad i=1, 2, \dots, n-1 \\ (5) & \sum_{i=1}^n k_i = 1 \\ (6) & k_i \geq 0, \quad i=1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (9)$$

Do modelo, temos que, a restrição (1) é a restrição que representa a ordenação das constantes de escala, (2) indica que a alternativa j é melhor do que as demais para o vetor peso que soluciona este problema. A constante ε é um valor mínimo presente nas restrições (3) e (4) para evitar inequações estritas não

disponível no *software* do método. As demais restrições, (5) e (6) representam, respectivamente, a integridade de normalização e não negatividade das constantes de escala.

O processo iterativo é finalizado quando é encontrada apenas uma alternativa potencialmente ótima. No entanto, a flexibilidade do método permite que o decisor pule perguntas ou interrompa o processo a qualquer momento. A disponibilidade de gráficos que o método oferece permite que o decisor visualize resultados parciais em cada etapa e, dessa forma, pode auxiliar no encontro da melhor alternativa em um menor tempo.

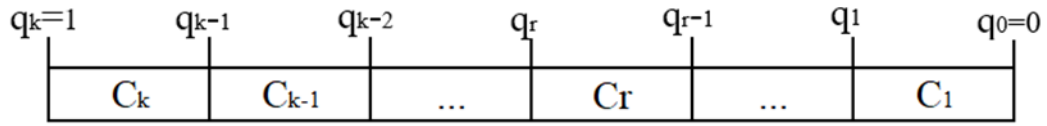
2.1.10 FITradeoff para problemática de classificação

A primeira versão do método *FITradeoff* (ALMEIDA et al., 2016) foi projetada para a problemática de escolha. Mais tarde, Kang e Almeida (2017) ampliaram o método ao desenvolver a versão para lidar com a problemática de classificação, mantendo a interação, flexibilidade e o uso de informações parciais. O procedimento consiste em atribuir j alternativas de um conjunto A a k categorias, $C_k, C_{k-1}, \dots, C_r, \dots, C_1$. Sendo que, $C_k > C_{k-1} > \dots > C_r > \dots > C_1$, isto é, a categoria C_k irá comportar alternativas que são mais preferíveis do que as presentes em C_{k-1} , e assim por diante.

Cada categoria deve possuir um intervalo, ou seja, um limite inferior e superior, conhecido como perfis de referência. A definição desses perfis pode ser feita a partir da comparação com o desempenho de alternativas fictícias, todavia, Douplos e Zopounidis (2004) ressaltam que nem sempre é possível fazer esse procedimento de forma simples. Para o método em específico, Kang e Almeida (2017) fazem o uso de valores de fronteira, q_r , que definem os limites para cada categoria do problema de decisão.

Conforme Figura 4, os valores de q_r devem ser estabelecidos pelo decisor, de modo que $q_k = 1 > q_{k-1} > \dots > q_1 > q_0 = 0$. Dessa forma, para a criação de k categorias, $k-1$ valores de q_r devem ser fornecidos pelo decisor. É importante frisar que esses valores podem ser entendidos como porcentagens dentro do intervalo contínuo entre 0 e 1, sendo que, 0 refere-se ao valor da função valor global (equação 1) de uma consequência com o pior desempenho em todos os critérios, e 1 uma alternativa com o melhor desempenho em todos os critérios (KANG, 2018).

Figura 4- Categorização das classes e valores de referência



Fonte: O Autor (2020).

Ainda segundo a autora, como o método utiliza informações parciais, não é possível obter um valor específico para a função global das alternativas. Desta forma, para que fosse possível atribuir essas alternativas a categorias únicas no método proposto, dois modelos de programação linear foram criados e são apresentados a seguir.

Modelo de Programação Linear 1

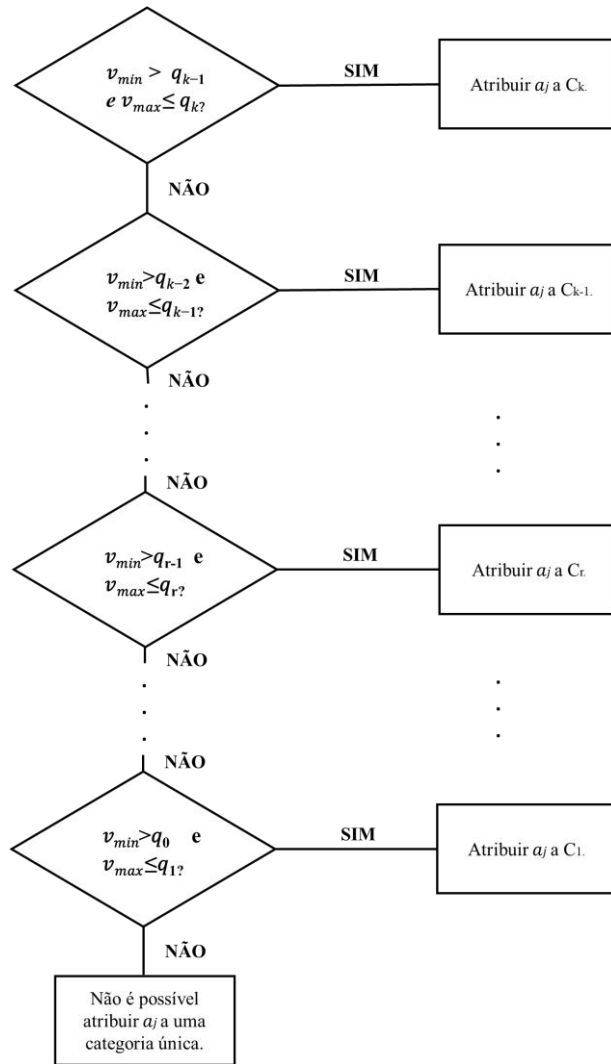
$$\begin{aligned}
 v_{\min} &= \min \sum_{i=1}^n k_i v_i (x_i^{aj}) \\
 \text{Sujeito a:} \\
 (1) \quad &k_1 > k_2 > k_3 > \dots > k_n \\
 (2) \quad &k_i v_1 (x_i') + \epsilon \leq k_{i+1}, \quad i=1, \dots, n-1 \\
 (3) \quad &k_i v_1 (x_i'') + \epsilon \geq k_{i+1}, \quad i=1, \dots, n-1 \\
 (4) \quad &\sum_{i=1}^n k_i = 1 \\
 (5) \quad &k_i \geq 0, \quad i=1, \dots, n, \quad j=1, \dots, m
 \end{aligned} \tag{10}$$

Modelo de Programação Linear 2

$$\begin{aligned}
 v_{\max} &= \max \sum_{i=1}^n k_i v_i (x_i^{aj}) \\
 \text{Sujeito a:} \\
 (1) \quad &k_1 > k_2 > k_3 > \dots > k_n \\
 (2) \quad &k_i v_1 (x_i') + \epsilon \leq k_{i+1}, \quad i=1, \dots, n-1 \\
 (3) \quad &k_i v_1 (x_i'') + \epsilon \geq k_{i+1}, \quad i=1, \dots, n-1 \\
 (4) \quad &\sum_{i=1}^n k_i = 1 \\
 (5) \quad &k_i \geq 0, \quad i=1, \dots, n, \quad j=1, \dots, m
 \end{aligned} \tag{11}$$

Existe no espaço de peso φ_n , um vetor $\mathbf{k}'^* = (k_1'^*, \dots, k_i'^*, \dots, k_n'^*)$ que minimiza o valor global da alternativa a_j no modelo de programação linear 1, equação 10 e um vetor $\mathbf{k}''^* = (k_1''^*, \dots, k_i''^*, \dots, k_n''^*)$ que maximiza o valor global da alternativa a_j no modelo de programação linear 2, equação 11. Para cada alternativa haverá valores de $v_{\min}$ e $v_{\max}$ que, a partir das regras de decisão Figura 5, definirá conforme o φ_n , se é possível fazer a classificação de a_j a uma única categoria.

Figura 5 - Regras de decisão



Fonte: O Autor (2020).

Ao passo em que o decisor fornece informações, o espaço de peso φ_n é reduzido e por meio das funções valores $v_{\min}$ e $v_{\max}$, cada alternativa a_j pode ser classificada em uma categoria única (C_k , C_{k-1} , ..., C_r , ..., C_1). Quando uma alternativa não é associada a uma categoria e caso o decisor esteja disposto a fornecer mais informações de preferência, mais inequações são geradas e o espaço de peso é reduzido a $\varphi_n' \in \varphi_n$. O processo é finalizado no momento em que não há mais nenhuma alternativa a ser classificada; quando o decisor não deseja fornecer mais informações ou quando os resultados parciais já são satisfatórios para o decisor.

2.2 REVISÃO DA LITERATURA

A busca por trabalhos científicos foi realizada em duas bases de dados bibliográficos, a *Web of Science* e a *Scopus*. A combinação da pesquisa com as palavras-chave “*Smart*” ou “*Smartness*” + “*Sustainable*” + “*City*” ou “*Cities*” resultou em 1.650 artigos na primeira base e 2.835 na segunda. Realizando o filtro combinado com mais duas palavras-chave “*Multicriteria*” + “*Decision*”, 14 artigos restaram na primeira plataforma e 64 restaram na segunda.

Como descrito anteriormente, o conceito de cidades inteligentes e sustentáveis é novo na literatura e, por conta disso, existem poucos estudos práticos na literatura, sobretudo na área de análise e decisão multicritério. Por conta disso, para o presente item, buscou-se estudos relacionados com a sustentabilidade e inteligência urbana. Apenas 6 trabalhos foram encontrados e todos foram publicados a partir de 2018, demonstrando a atualidade do tema. A seguir esses estudos são apresentados.

No que se refere a avaliação de cidades inteligentes, Shen et al. (2018) buscaram fazer uma avaliação holística do desempenho de 44 cidades, sendo analisadas sob aspectos de 5 dimensões: infraestrutura, governança, economia, pessoas e ambiente inteligente, por meio de um conjunto de 18 indicadores. A avaliação foi realizada aplicando-se o Método de entropia e *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS), com o auxílio de 5 especialistas. Como resultado da pesquisa constatou-se que o desempenho geral das cidades inteligentes na China está em um nível relativamente baixo e ações para promover o desenvolvimento foram sugeridas, como aumentar o investimento em infraestrutura inteligente, fornecer programas de treinamento e estabelecer mecanismos de avaliação.

Já Cavada, Tight e Rogers (2019) buscaram avaliar a cidade de Cingapura em relação a quatro aspectos: Social, Ambiental, Econômico e Governamental. Para tanto, foi utilizado como instrumento de tomada de decisão o modelo *Smart Model Assessment Resilient Tool* (SMART). O objetivo era analisar se as iniciativas da cidade realmente a tornava uma cidade inteligente. Assim, para a análise, foi considerado o tipo de impacto (direto ou indireto), escala de tempo e alcance que as iniciativas causavam na população local.

O estudo de Milošević et al. (2019) teve como intuito explorar indicadores-chaves no desenvolvimento do conceito de cidades inteligentes na Sérvia, além de avaliar a priorização de atividades para o desenvolvimento destas. A avaliação foi feita com base em seis grupos de critérios (governança, cidadãos, meio ambiente, mobilidade, economia e habitabilidade). Para o alcance do objetivo proposto, utilizou-se uma abordagem integral baseada em um modelo híbrido de tomada de decisão multicritério (MCDM), baseado em conjuntos nebulosos de intervalo tipo 2. Desta forma foi possível classificar todo o sistema através de diferentes critérios e subcritérios, respeitando as opiniões dos especialistas.

No tangente a sustentabilidade urbana, Shmelev e shmeleva (2019) desenvolveram um estudo que teve como intuito avaliar a sustentabilidade de quatorze megacidades de diferentes continentes. Para tanto o método do ELECTRE III foi utilizado em um painel de vinte indicadores. Foi considerado no estudo quatro dimensões: ambiental, econômica, social e a adição da área tecnológica. Como resultados, tem-se o ranking das megacidades e, há também, o destaque das melhores práticas em cada dimensão, servindo como *Benchmarking* para as cidades que apresentaram pior desempenho.

Já Carli, Dotoli e Pellegrino (2018) utilizaram o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) como instrumento de tomada de decisão multicritério para avaliar quatro cidades metropolitanas inteligentes da Itália, visando analisar o desenvolvimento sustentável, através de um conjunto de 35 indicadores e 7 dimensões. Foi observado que a primeira cidade do *ranking* teve a melhor colocação em apenas 4 dimensões, demonstrando que mesmo que esta apresente o maior desempenho, ela pode se basear em iniciativas das outras cidades que foram destaques em outras dimensões e vice-versa.

Por fim, Shmelev e shmeleva (2018) desenvolveram um estudo considerando dimensões da sustentabilidade e de cidade inteligente. Foram analisadas 57 cidades globais, por meio de um painel de 20 indicadores, com 4 dimensões: Social, economia, meio ambiente e tecnologia. Cada dimensão foi avaliada de modo isolado e depois houve uma agregação linear das dimensões para formação de um *ranking* global.

2.3 COMENTÁRIOS FINAIS SOBRE ESTA SEÇÃO

Esta seção apresentou os conceitos mais recorrentes na literatura atual sobre cidades inteligentes e cidades inteligentes sustentáveis, destacando a problematização do assunto que reforça a necessidade e importância do presente trabalho. Foi mostrado, essencialmente, que existe uma crítica acerca do termo cidade inteligente, assim como também há no conceito de cidade sustentável. E que foi a partir desses percalços que o termo de cidades inteligentes e sustentáveis ganhou notoriedade no cenário científico.

Em sequência, foram apresentados conceitos e elementos básicos da análise de decisão multicritério, evidenciando o modelo aditivo determinístico que é o mais difundido da Teoria do Valor Multiatributo (MAVT). Ressaltou ainda, a importância do método empregado, o *FITradeoff*, que reduz o esforço cognitivo do decisor, apresenta uma estrutura axiomática robusta e diminui o número de inconsistência ao se comparar com o método clássico.

Por fim, apresentou-se alguns trabalhos no contexto da sustentabilidade urbana, cidades inteligentes e cidades inteligentes e sustentáveis que utilizaram a análise de decisão multicritério para avaliação destas. Ressalta-se que os estudos práticos ainda são insipientes, porém são extremamente atuais e de interesse da sociedade, dos governos e de pesquisadores.

3 METODOLOGIA E ANÁLISE DE MODELOS PADRONIZADOS DE AVALIAÇÃO DE CIDADES

Este capítulo está dividido em quatro seções que têm como intuito apresentar os procedimentos utilizados para a concretização dos objetivos em questão. A primeira seção refere-se aos artifícios metodológicos que foram usados no estudo. Já na segunda seção, tem-se a explanação de cinco modelos padronizados referentes a avaliação de sustentabilidade e inteligência urbana. A terceira seção é composta por uma pesquisa que auxilia na seleção do modelo mais adequado à problemática. Por fim, os indicadores do modelo selecionado foram avaliados por meio de três parâmetros, compondo a quarta seção. Após a avaliação e seleção dos indicadores aptos a serem utilizados nesta pesquisa, estes foram traduzidos em critérios para avaliar as capitais brasileiras, conforme exposto no capítulo 4.

3.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta seção é composta pelos seguintes itens: caracterização da pesquisa, delimitação da área de estudo, origem dos dados utilizados e a síntese das etapas que compuseram o trabalho, conforme apresentado a seguir.

3.1.1 Caracterização da pesquisa

Tendo em vista a proposta da pesquisa de classificar as capitais brasileiras quanto ao seu grau de desenvolvimento acerca das cidades inteligentes e sustentáveis, tem-se que do ponto de vista da natureza, esta pesquisa é de caráter aplicado. Segundo Turrioni e Mello (2012) este tipo de pesquisa tem enfoque prático dirigido à solução de problemas específicos e reais.

No tocante a abordagem do problema, a pesquisa utiliza um método híbrido, sendo caracterizada como um estudo quali-quantitativo. De acordo com Silva e Menezes (2015), a pesquisa qualitativa faz uma avaliação formal por meio da análise profunda de aspectos subjetivos, enquanto a pesquisa quantitativa tem por objetivo quantificar informações e opiniões, com o auxílio de uma estrutura axiomática e com o uso de técnicas e ferramentas estatísticas. A pesquisa em questão realiza estes dois tipos de análise e, por conseguinte, recebe esta classificação.

Do ponto de vista dos objetivos, tem-se que a pesquisa é descritiva, haja vista que ela busca compreender determinado assunto, classificando, explicando e interpretando os fatos. Isso pode ser feito por meio do levantamento, análise e interpretação de dados (qualitativos e, principalmente, quantitativos) que influenciam no estudo. É importante destacar que o pesquisador tem caráter mais observador e não influencia nos resultados obtidos (PRODANOV; FREITAS, 2013).

Quanto aos procedimentos técnicos, a pesquisa pode ser classificada como um estudo de caso, uma vez que ela é direcionada ao estudo profundo e exaustivo de determinados objetos de pesquisa, de modo a conhecer com detalhes suas características (GIL, 2017). Para o alcance desse ideal, ressalta-se também o viés bibliográfico com o uso de artigos de periódicos, livros, teses e dissertações, e o viés documental, com a utilização de dados oriundos de documentos de domínio público e privado, como registros, anais, balancetes, ofícios, dentre outros (MARCONI; LAKATOS, 2003).

3.1.2 Delimitação da área de estudo

A seleção da amostra de cidades para o estudo partiu de duas vertentes. Primeiro, optou-se por estudar as capitais brasileiras tendo em vista que, na maioria dos casos, elas são as cidades mais populosas do estado. Além disso, a segunda vertente foi embasada na maior disponibilidade de dados que essas cidades tem em relação às demais.

Assim, a partir das premissas levantadas, nove capitais foram selecionadas para compor a amostra do estudo, representando quatro regiões do país (Nordeste, Centro-oeste, Sul e Sudeste), sendo elas: Belo Horizonte (MG), Brasília (DF), Curitiba (PR), Florianópolis (SC), Fortaleza (CE), Recife (PE), Rio de Janeiro (RJ), Salvador (BA) e São Paulo (SP). Ressalta-se que a disponibilidade de dados limitou o tamanho da amostra, impossibilitando estudar um número maior de capitais.

3.1.3 Origem dos dados utilizados

Os dados utilizados para o estudo foram decorrentes de institutos de pesquisa, prefeituras municipais, ministério público e empresas do setor privado. No total, 35 indicadores foram utilizados para a pesquisa e abrangem diversas áreas da cidade como saúde, educação, economia, segurança, tecnologia, infraestrutura e meio ambiente.

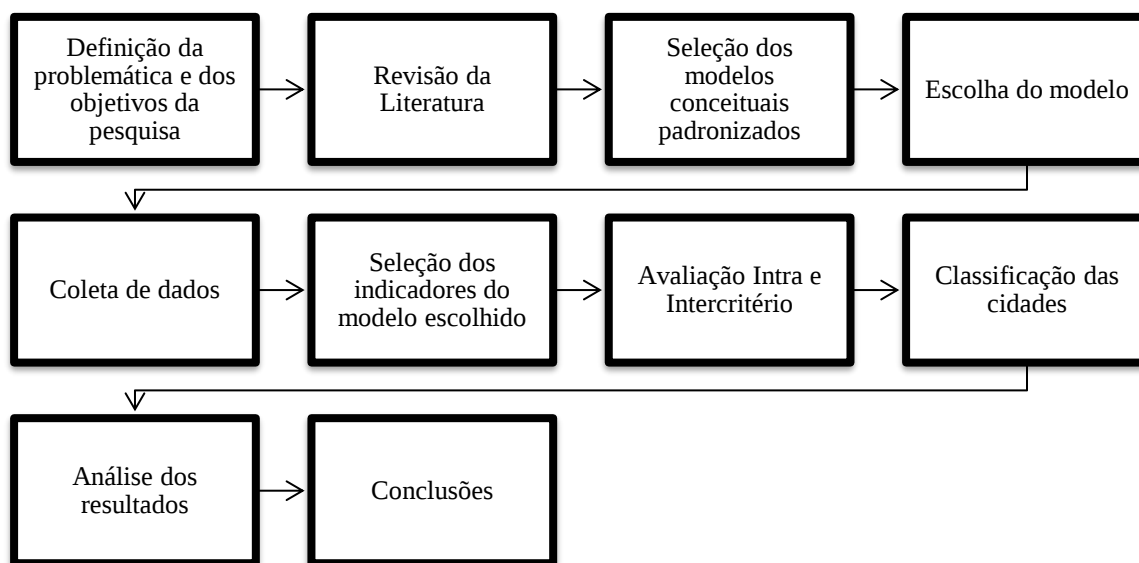
3.1.4 Atores do processo decisório

A adoção de uma abordagem multidimensional permitiu que cada área do modelo padronizado de cidades inteligentes e sustentáveis utilizado (ver seção 3.3) pudesse ser avaliada por um (a) decisor (a) com *know-how* específico destes segmentos. Desta forma, o processo decisório contou com a participação de um conjunto de quatro decisores, formado por professores doutores e uma gestora pública do Estado de Pernambuco. As formações acadêmicas desses profissionais estão centralizadas nas áreas de Administração, Engenharia de Produção, Engenharia Civil, Ciências Políticas, Economia e Sistemas de Informação.

3.1.5 Etapas de desenvolvimento da pesquisa

As etapas para a concretização do trabalho em lide podem ser observadas na Figura 6 a seguir.

Figura 6- Etapas para concretização da pesquisa



Fonte: O Autor (2020).

A definição da problemática de classificação se deu a partir da formulação dos objetivos da pesquisa. É importante frisar que a atribuição das capitais em categorias pré definidas pode ser utilizada como base para priorização da alocação de recursos do Governo Feral para investimentos por cada dimensão dessas capitais analisadas.

Após a escolha da problemática, formulação dos objetivos da pesquisa e de compor a fundamentação teórica, buscou-se averiguar os modelos conceituais de sustentabilidade e inteligência urbana de instituições de padronização internacional. A etapa seguinte consistiu em analisar os modelos selecionados por meio de uma taxonomia baseada em três vertentes: foco urbano, tipo de indicador utilizado e classificação quanto aos setores da cidade. Essa fase foi crucial para selecionar um modelo equilibrado e que atendesse as dimensões da temática abordada.

Selecionado o modelo, buscou-se analisar os indicadores que poderiam ser utilizados para a avaliação, com base na realidade brasileira. Para tanto, após a coleta de dados, os indicadores foram selecionados por meio de uma avaliação, levando em consideração três critérios: disponibilidade, qualidade e oportunidade.

No tangente a avaliação das capitais, utilizou-se da Teoria do Valor Multiatributo (MAVT), com o empregando do modelo aditivo determinístico. É importante ressaltar que essa abordagem faz parte do escopo da área de Pesquisa Operacional, cujo intuito é auxiliar no processo de tomada de decisão, que pode ser feito através da escolha, classificação ou ordenação da solução de melhor compromisso. Nessa etapa, foi utilizada a problemática de classificação, tendo em vista que estas categorias podem ser utilizadas como base para priorização da alocação de recursos para investimentos nas capitais analisadas.

O procedimento de elicitação por *Tradeoff* Interativo e Flexível (*FITradeoff*) foi escolhido como método de estudo. A justificativa para tal escolha está pautada no fato de o *FITradeoff* apresentar uma estrutura axiomática robusta, assim como o *Tradeoff* tradicional, e conseguir, em tese, exigir um menor esforço cognitivo por parte do decisor. Como é mais fácil estabelecer relações de preferência estrita entre duas consequências, do que declarar relações de indiferença entre elas, acredita-se, consequentemente, que este procedimento pode levar a uma menor incidência de inconsistências durante o processo de elicitação (ALMEIDA et al, 2016).

No que se refere a classificação das cidades, esta foi feita por meio de uma abordagem multidimensional representando os aspectos de uma cidade inteligente e sustentável, segundo o modelo selecionado. Sendo que as avaliações intercritério e intracritério foram realizadas com base em cada dimensão e avaliadas por um decisor específico de cada área. Desta forma, minimizou-se a complexidade do

processo em se fazer uma avaliação única, além de permitir que os critérios fossem comparados em eixos similares.

A partir da etapa anterior obteve-se os resultados preliminares da pesquisa. Com o intuito de analisar o impacto que variações nos dados de entrada acarretam na solução apresentada, uma análise de robustez foi realizada. Por fim, após a validação dos resultados e discussões, obteve-se as conclusões das análises.

3.2 MODELOS PADRONIZADOS PARA AVALIAÇÃO DE CIDADES

Conforme abordado no capítulo anterior, uma cidade inteligente e sustentável faz jus a uma cidade inovadora que almeja melhorar a qualidade de vida, a eficiência das operações e os serviços urbanos com o auxílio das TICs. Para tanto, é imprescindível o atendimento das necessidades das gerações atuais sem comprometer as gerações futuras, em relação a aspectos econômicos, sociais e ambientais.

Sob esta ótica, os administradores das cidades precisam definir metas mensuráveis, além de monitorar o seu desenvolvimento frente a esses objetivos a longo prazo (CLARKE, 2017). Isso pode ser feito através do uso de indicadores, que são medidas quantitativas, qualitativas ou descritivas que tem como intuito fornecer informações sobre um determinado fenômeno complexo, como um centro urbano, por exemplo, de modo a simplificar seu uso e compreensão (ISO, 2018).

O uso de indicadores em cidades pode ser visto como um instrumento de suporte na gestão e na tomada de decisão em contextos urbanos. Ademais, a divulgação do desempenho desses indicadores configura-se em uma relação de transparência com a população, permitindo-a verificar o panorama da cidade e pressionar por políticas públicas para melhorar os resultados neste contexto (DAMERI, 2017).

Existe atualmente na literatura alguns modelos de avaliação de cidades no tocante a sustentabilidade e inteligência urbana, que reúne uma gama de indicadores para nortear os gestores nesse processo (AHVENNIEMI et al., 2017; ANGELIDOU, M., 2014; AKANDE et al., 2019; HUOVILA; BOSCH; AIRAKSINEN, 2019; MARCHETTI; OLIVEIRA; RODER, 2019; SHARIFI, 2019; SHMELEV; SHMELEVA, 2019; ISO, 2018; ETSI, 2017; ITU, 2016b). Cada um desses modelos

apresenta dimensões com seus respectivos indicadores para representação da temática.

No entanto, foram selecionados cinco modelos padronizados por instituições de normalização internacional para serem abordados nessa seção e, a partir de então, adotou-se o modelo que melhor equilibra os aspectos de uma cidade inteligente e sustentável. As instituições de padronização referidas são a *International Telecommunication Union* (ITU), com três modelos, a *International Organization for Standardization* (ISO) e a *European Standards Organization with global impact* (ETSI), ambas com um modelo cada.

A seguir, tem-se a apresentação de cada um dos modelos padronizados referidos.

3.2.1 Modelo ITU 4901

A *International Telecommunication Union* (ITU) é a agência especializada das Nações Unidas para o segmento de tecnologia de informação e comunicação. Criada em 1865, tem como intuito assessorar a conectividade internacional em redes de comunicações, desenvolvendo padrões técnicos que garantem a interconexão de redes e tecnologias (ITU, 2019).

O grupo criou três documentos intitulados de “recomendações” acerca do tema de cidades inteligentes e sustentáveis. Cada um deles fornece indicadores para cidades sustentáveis e inteligentes, mas com focos ligeiramente diferentes. A recomendação ITU 4901 traz 48 indicadores de desempenho relacionados ao uso da tecnologia da informação e comunicação em cidades inteligentes e sustentáveis, ou seja, ela tem o enfoque maior voltado para o uso de TICs.

Conforme exposto na Figura 7 e de acordo com ITU (2016b), este modelo é composto por 6 dimensões, sendo estas Sustentabilidade Ambiental, Equidade e Inclusão Social, Produtividade, Qualidade de Vida, Infraestrutura Física e Tecnologia da Informação e Comunicação. Cada uma dessas dimensões apresenta subdimensões com seus respectivos indicadores. Por exemplo, a dimensão Sustentabilidade é composta por duas subdimensões: Qualidade do ar, com apenas um indicador e Água, Solo e Ruído, com dois indicadores.

A dimensão da Equidade e Inclusão Social traz indicadores baseados em informações *on-line* da cidade, a participação da população cívica, o apoio a novos

habitantes da cidade, alfabetização em TIC, administração *on-line* e apoio a pessoas com necessidades específicas. No total são 6 indicadores compõe essa abordagem.

Já a terceira dimensão traz 8 indicadores relacionados a produtividade e a sustentabilidade econômica. Indicadores abordando os gastos com P&D em TIC, gastos com projetos de TIC, índice de empresas de TIC, quantidade de funcionários nas áreas de TIC, comércio eletrônico, serviços eletrônicos e computação em nuvem são analisados nessa seção.

Figura 7- Representação do modelo ITU 4901



Fonte: O Autor (2020).

Aspectos relacionados a *e-learning*, registros eletrônicos de saúde, registros médicos eletrônicos, compartilhamento de informações médicas, telemedicina, prevenção de desastres e outras medidas de segurança são abordados na dimensão de Qualidade de Vida, sendo representada por um conjunto de 7 indicadores.

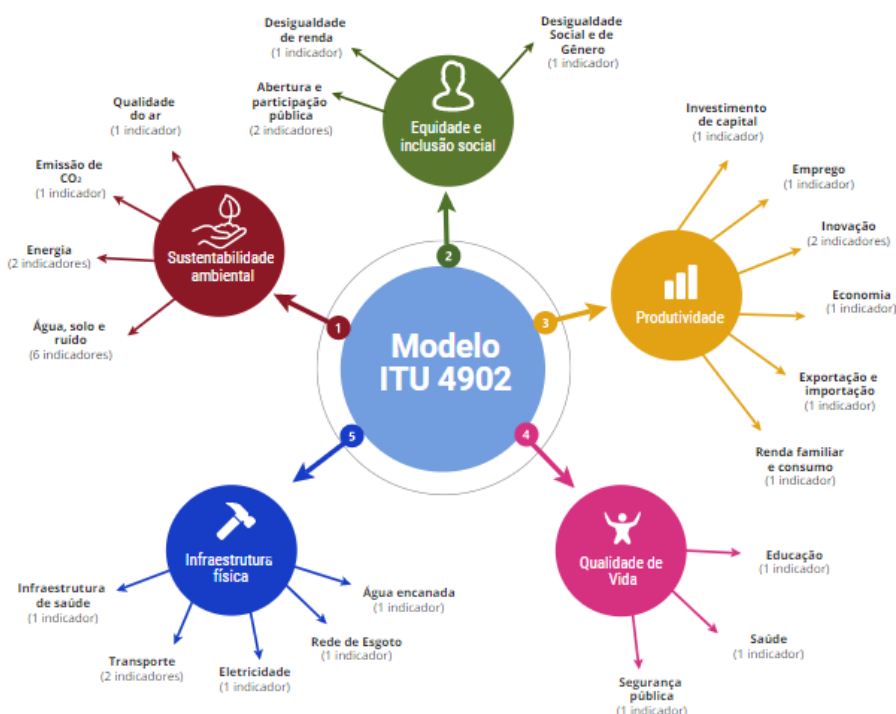
Existem 13 indicadores na dimensão de Infraestrutura, sendo representadas por 5 subdimensões que abordam indicadores relacionados a infraestrutura das redes de água encanada, esgoto, eletricidade, infraestrutura de transporte e as inovações em infraestrutura das edificações públicas e privadas.

Por fim, a dimensão da Tecnologia da Informação e Comunicação é composta por 11 indicadores abordados em 4 subdimensões: Rede e Acesso, Plataforma de Serviço e Informação, Privacidade e Segurança da Informação e Campo Eletromagnético. Dentre os indicadores listados nessa seção tem-se acesso à internet, uso de computadores e outros dispositivos similares, compartilhamento de informações públicas por mídias sociais, dentre outros indicadores.

3.2.2 Modelo ITU 4902

A recomendação ITU 4902 traz os principais indicadores de desempenho relacionados aos impactos de sustentabilidade da tecnologia de informação e comunicação em cidades inteligentes sustentáveis (ITU, 2016c). No total, são 30 indicadores representando 5 dimensões: Sustentabilidade Ambiental, Equidade e Inclusão Social, Produtividade, Qualidade de Vida e Infraestrutura Física, conforme exposto na Figura 8.

Figura 8- Representação do modelo ITU 4902



Fonte: O Autor (2020).

Diferentemente da recomendação anterior, o modelo atual possui uma quantidade inferior de indicadores e a dimensão de Tecnologia da Informação e

Comunicação não é abordada. Para além disso, a dimensão da Sustentabilidade Ambiental agora é composta por 4 subdimensões e uma representatividade maior de indicadores. São 10 indicadores abordando a poluição do ar, emissão de gases do efeito estufa, energia renovável, qualidade dos recursos hídricos, reciclagem, poluição sonora e do solo, quantificação de áreas verdes, dentre outros, contra 3 indicadores do modelo anterior.

Já a dimensão de Equidade e Inclusão Social apresenta 4 indicadores e não traz tanto o viés tecnológico (apenas em um indicador) abordado na recomendação ITU 4901. São 3 subdimensões no modelo atual que buscou abranger questões referente a desigualdade de renda, desigualdade de gênero, uso de serviços *on-line* e percepção dos cidadãos quanto a inclusão social.

Com 7 indicadores e 6 subdimensões, a dimensão de produtividade e sustentabilidade econômica aborda as despesas de TIC para melhorar a produtividade da indústria, a proporção de emprego na indústria de serviços em relação a totalidade de empregos em outras áreas, aspectos relativos a economia da família, balança comercial da cidade, gastos domésticos em TIC e investimento e patentes relacionadas a TIC.

A dimensão de Qualidade de Vida traz menos indicadores do que na recomendação passada. Apenas 3 indicadores são utilizados para representar três subdimensões: Educação, Saúde e Segurança Pública. Estas subdimensões abordam o acesso de TIC por parte dos estudantes, a expectativa de vida dos habitantes e o processo de emergência para melhorar a segurança.

Finalmente, a dimensão de Infraestrutura Física, contendo 5 subdimensões e 6 indicadores, ressalta aspectos relacionados a vazamento de água encanada, cobertura do sistema de esgoto, funcionamento ininterrupto de energia elétrica, infraestrutura de saúde relacionadas a prática de esporte, uso do transporte público e eficiência do tráfego rodoviário.

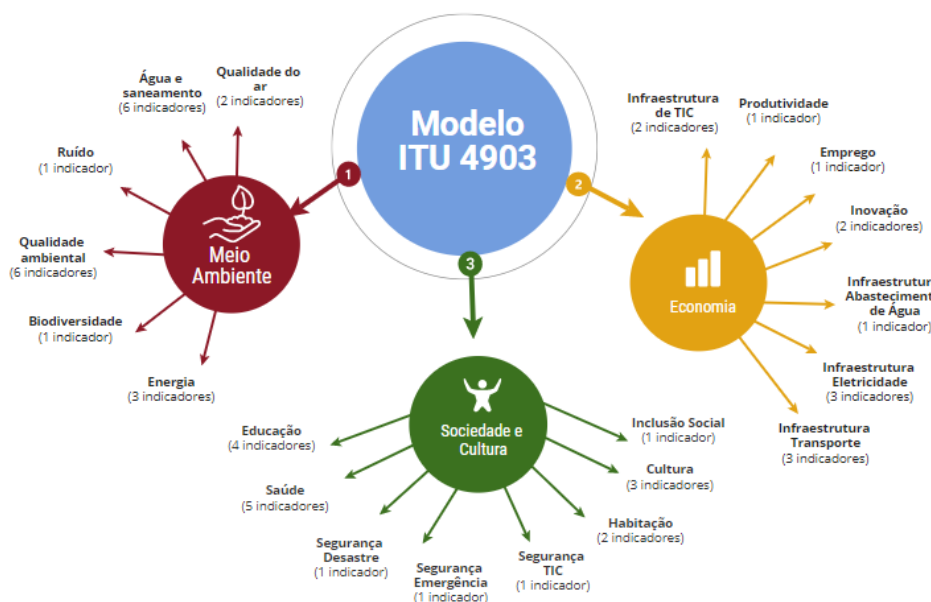
3.2.3 Modelo ITU 4903

A recomendação ITU 4903 apresenta 52 indicadores, sendo o modelo com maior representação numérica do tema analisado. O seu enfoque está pautado em fornecer os principais indicadores de desempenho para cidades inteligentes e sustentáveis para avaliar o alcance de metas de desenvolvimento sustentável (ITU,

2016d). Por conta disso, esse modelo é composto pelo tríplice da sustentabilidade, ou seja, a apenas três dimensões, sendo essas Meio Ambiente, Economia e Sociedade e Cultura, conforme Figura 9.

A dimensão do Meio ambiente é composta por 19 indicadores, abordados em 6 subdimensões. Indicadores relacionados a poluição do ar, emissões de gases do efeito estufa, acesso, qualidade e consumo da água potável, tratamento de águas residuais, tratamento de esgoto, questões de saneamento básico, poluição sonora, qualidade ambiental, eletricidade, consumo de energia renovável e biodiversidade são tratados nessa área temática. Embora essa dimensão tivesse muitos indicadores, é perceptível o pouco emprego do aspecto tecnológico.

Figura 9- Representação do modelo ITU 4903



Fonte: O Autor (2020).

Já a dimensão da Economia apresenta 13 indicadores, dispostos em 7 subáreas, que retrata informações acerca do acesso à Internet, utilização de computador e dispositivos similares, despesa com pesquisa e desenvolvimento (P&D), número de patentes, taxa de emprego, produtividade do trabalho, medição inteligente de água e eletricidade, confiabilidade do sistema elétrico, rede de transporte público, tráfego rodoviário e suas informações em tempo real.

Por fim, a dimensão de Sociedade e Cultura traz abordagens relacionadas a ao acesso de TIC por parte dos alunos em sala de aula, taxa de alfabetização de adultos, proporção de matrícula escolar, quantidade de habitantes com ensino

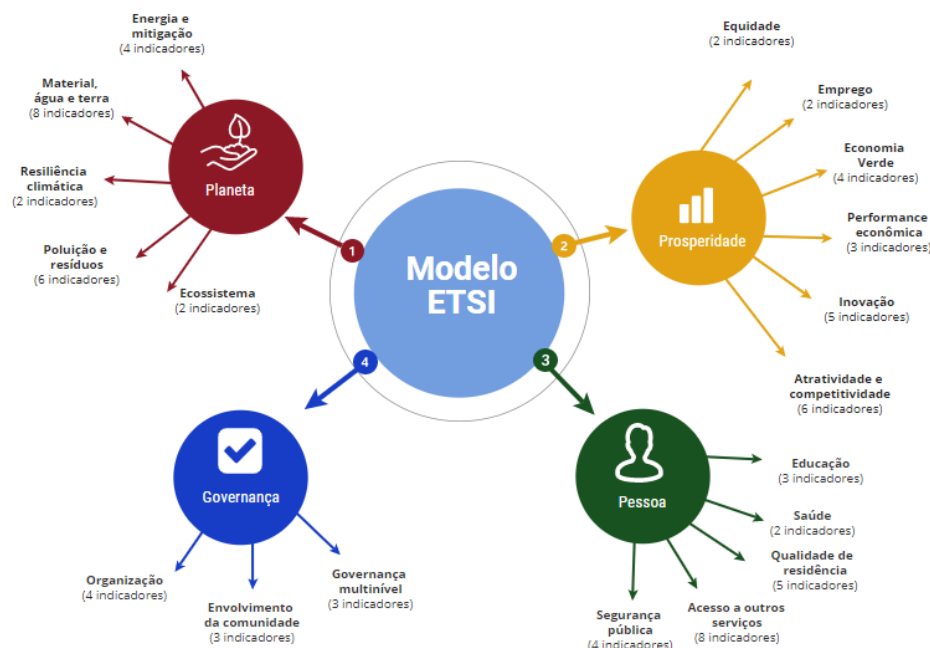
superior, registros eletrônicos de saúde, compartilhamento de recursos médicos, expectativa de vida, mortalidade infantil, quantidade de médicos para a população, resposta média à emergências, segurança da informação, condições habitacionais, bibliotecas conectadas, infraestrutura cultural, recursos culturais *on-line*, participação pública, igualdade de renda entre homens e mulheres e oportunidades para pessoas com necessidades especiais. Tais aspectos são discutidos em 8 subdimensões, representadas por 20 indicadores.

A partir das três recomendações do ITU descritas acima, observa-se, subjetivamente, um menor enfoque no aspecto tecnológico nos dois últimos modelos e, em contrapartida, um enfoque excessivo no primeiro modelo. Assim como foi observado um maior destaque nos aspectos da sustentabilidade ambiental nas recomendações 4902 e 4903 e uma menor representação na recomendação 4901. Uma análise empírica será explanada no item (3.6) para ratificar as hipóteses levantadas.

3.2.4 Modelo ETSI

A ETSI é uma Organização Europeia de Padrões reconhecida mundialmente por trabalhar com telecomunicações, rede de transmissão e outros serviços de comunicações eletrônicas. Vale ressaltar que os padrões desenvolvidos pela organização não se limitam apenas a Europa. Atualmente, ela apresenta mais de 850 organizações membros, presente em 65 países, atuando nos cinco continentes do globo (ETSI, 2019).

Figura 10- Representação do modelo ETSI



Fonte: O Autor (2020).

O presente modelo, elaborado pela instituição, tem como intuito trazer uma gama de indicadores de desempenho para cidades multisserviços digitais sustentáveis (cidades inteligentes e sustentáveis). São 76 indicadores dispostos em quatro dimensões: Pessoa, Planeta, Prosperidade e Governança, conforme representação na Figura 10. O documento ainda afirma que este modelo foi desenvolvido para ser aplicado em cidades com diferentes tamanhos e em diferentes estágios de desenvolvimento (ETSI, 2017).

A dimensão Planeta conta com 22 indicadores que representam cinco subdimensões: Energia e migração; Material, Água e Terra; Resiliência Climática; Poluição e Resíduos; e Ecossistema. Nesse segmento são abordadas questões relacionadas ao consumo e o tipo de energia elétrica, emissão de gases do efeito estufa, uso de combustível renovável, consumo de material, consumo, tratamento e reuso de água, poluição sonora e do ar, taxa de reciclagem, dentre outros.

Já a segunda dimensão aborda a prosperidade. Existem 22 indicadores dispostos em seis subdimensões: Equidade; Emprego; Economia Verde; Performance econômica; Inovação; Atratividade e Competitividade. Dentre os assuntos abordados destacam-se, Taxa de desemprego, condições habitacionais, empresas com certificado da ISO 14001, empregos verdes, PIB per capita, abertura

de novos negócios, renda domiciliar, indústria criativa, polos de inovação, gasto com P&D, uso de transporte público, condições do tráfego, migração e intensidade turística.

Composta também por 22 indicadores, a dimensão Pessoa é composta por 22 indicadores, distribuídos em cinco dimensões: Saúde, Educação, Qualidade de Residência, Segurança Pública e Acesso aos demais serviços da cidade. Como exemplos de aspectos tratados nesse tópico, tem-se o Acesso a serviços básicos de saúde, Incentivo a um estilo de vida saudável, número de acidentes de trânsito, Taxa de crime, segurança e privacidade dos dados, facilidade ao acesso ao transporte público, compartilhamento de viagens, ciclovias, acesso à internet, *wifi* público, educação ambiental, alfabetização digital, preservação do patrimônio público, área verde e espaços para recreação na cidade.

Finalmente, a dimensão de Governança contém apenas três subdimensões, representadas por 10 indicadores. A Contribuição dos departamentos para o desempenho geral da cidade inteligente e sustentável, monitoramento do desempenho da cidade, divulgação das informações do governo, participação cidadã em projetos e processos públicos, participação cívica nas eleições municipais e despesas com o processo de transição da cidade são exemplos de questões abordadas nessa temática.

3.2.5 Modelo ISO 37122-2018

A *International Organization for Standardization* (ISO) é uma organização internacional não governamental que surgiu em 1946 com o intuito de facilitar a coordenação internacional e a unificação dos padrões industriais. Atualmente, ela possui membros em 164 países e 780 comitês e subcomissões técnicas para cuidar do desenvolvimento de padrões, atuando diversas áreas, como tecnologia, segurança alimentar, agricultura e saúde. No total, 22.808 Normas Internacionais e documentos relacionados já foram publicados, sendo a organização de padronização mais difundida mundialmente (ISO, 2019).

No tocante ao modelo ISO 37122-2018, são definidos indicadores e metodologias para medir e considerar aspectos que melhoram o desempenho das cidades em relação a sustentabilidade social, econômica e ambiental, respondendo a desafios urbanos como mudanças climáticas, rápido crescimento populacional e

instabilidade política e econômica, por meio da adoção de tecnologias modernas (ISO, 2018).

Figura11- Representação do modelo ISO 37122-2018



Fonte: O Autor (2020).

Foram definidos 75 indicadores, divididos em 19 dimensões: Cultura; Economia; Educação; Energia; Meio Ambiente e Mudança climática; Finanças; Governança; Saúde; Habitação; Condições Sociais; Lazer; Segurança; Resíduo Sólido; Telecomunicação; Transporte; Alimento e segurança; Planejamento Urbano, água e águas residuais, conforme Figura 11.

As dimensões de Cultura e Educação refletem a questão de educação e capacitação, avaliando a coesão social, por meio de indicadores que fornecem informações acerca dos usuários e tamanho do acervo das bibliotecas públicas da cidade, percentagem da população da cidade com proficiência em uma ou mais línguas estrangeiras, número de computadores e outros dispositivos digitais nas escolas e o número de pessoas com curso superior em Ciências, Tecnologia, Engenharia e Matemática.

Já as dimensões de Economia e Energia permitem avaliar a contribuição para o propósito de atratividade da cidade. Disponibilidade de dados de empresas que prestam serviços na cidade, número de *startups*, empregos na área de TIC e no P&D, capacidade de armazenamento da rede de energia da cidade, consumo de energia da iluminação pública municipal, porcentagem de iluminação pública modernizada e informação sobre as condições dos edifícios são alguns exemplos de abordagens representados nos indicadores dessas dimensões.

A dimensão do Meio Ambiente e Mudança Climática tem como intuito permitir uma avaliação da preservação e melhoria do meio ambiente da cidade, de acordo com indicadores que trazem temáticas biodiversidade serviços ecossistêmicos, como o monitoramento de ecossistemas mapeados por sensoriamento remoto, construção ecológica e dados sobre estações de monitorização da qualidade do ar.

No que se refere as dimensões de Governança e Finanças, tem-se que a avaliação também é feita no sentido de mensurar a coesão social, mas também traz a questão da atratividade da cidade. Gasto municipal em inovações e iniciativas de cidade inteligente, pagamentos feitos eletronicamente, divulgação de dados abertos municipais, acesso por parte da população a esses dados e serviços da cidade que podem ser acessados remotamente são alguns dos indicadores que compõem essa avaliação.

A dimensão da saúde, que é composta por 4 indicadores, permite averiguar a resiliência e bem-estar da cidade, por meio da avaliação da população com arquivo de saúde unificado, disponível *on-line* e que seja acessível a provedores de assistência médica, consultas médicas realizadas por meio de serviços de telecomunicações, porcentagem da população registrada com sistemas de alerta em relação a qualidade do ar e da água e a cobertura da cidade que realiza um mapeamento da radiação de campos eletromagnéticos.

A dimensão de Condições Sociais aborda indicadores como a porcentagem de edifícios públicos acessíveis por pessoas com deficiência, número de pessoas com deficiência que têm aplicações de mapeamento interativo baseadas em TIC. Já a dimensão de habitação traz informações relacionadas a porcentagem de residências com medidores inteligentes de eletricidade e de água e o uso misto da terra.

Visando contribuir na avaliação da resiliência, bem-estar e coesão social da cidade, a dimensão de Lazer traz abordagens referente a porcentagem de serviços públicos de recreação que podem ser reservados *on-line* em número de quiosques inteligentes municipais disponíveis na cidade. Já a dimensão de segurança foca na porcentagem da área da cidade coberta por câmeras de vigilância digital, presença de sistemas de informação em tempo real para notificar a população de uma ameaça à segurança pública e a utilização de mídia social para publicação de informações relacionadas à segurança pública feitas por funcionários públicos.

Assim como as dimensões de Economia e Energia, a dimensão de Resíduo Sólido reflete as questões de economia, produção e consumo sustentáveis, acrescido da questão da Mobilidade e Infraestrutura da comunidade. Indicadores como centros de coleta de lixo equipados com telemedição, coleta de lixo de porta em porta com uma telemetria individual e produção de energia a partir da instalação de tratamento de resíduos são alguns dos exemplos encontrado nessa categoria.

A dimensão de Telecomunicação sinaliza o uso de computadores ou outros dispositivos eletrônicos com acesso à *internet* em edifícios públicos, acesso à banda larga, área não coberta por conectividade de telecomunicação e *wifi* público. Já a dimensão de Transporte, que reflete as questões de infraestrutura, coesão social e atratividade da cidade, traz indicadores como, quantidade de ruas e vias da cidade cobertas por alertas e informações de tráfego *on-line* em tempo real, compartilhamento de transporte, partilha de bicicletas, linhas de transporte público equipadas com um sistema baseado em TIC em tempo real, vagas de estacionamento público equipadas com sistemas de pagamento eletrônico e visualização das vagas e a porcentagem de semáforos inteligentes.

Gastos em iniciativas de agricultura urbana, lixo alimentar municipal coletado e enviado para uma instalação de processamento para compostagem são alguns dos exemplos tratadas na dimensão de alimentos e segurança. Já a dimensão de Planejamento Urbano também contribui para a avaliação para mensurar a resiliência, o uso responsável de recursos e a atratividade da cidade. Isso é feito avaliando a porcentagem de cidadãos envolvidos no processo de planejamento urbano, tempo médio para realizar aprovações de licenças de construção e a porcentagem da população da cidade que vive com densidade populacional média a alta.

Por fim, as dimensões relacionadas à água, correspondem a 6 indicadores que retratam alguns índices relacionados a porcentagem de águas residuais tratadas sendo reutilizadas, a porcentagem de lodo (resíduo do tratamento de água) reutilizado, geração de energia derivada de águas residuais, estações de monitorização da qualidade da água potável e ambiental baseadas em TIC em tempo real.

3.3 AVALIAÇÃO DOS MODELOS PADRONIZADOS APRESENTADOS

Conforme apresentado nos itens anteriores, cada modelo tem suas particularidades e é composto por uma gama de indicadores com enfoques diferentes. Visando selecionar o modelo padronizado que apresentasse o maior equilíbrio entre as características de uma cidade inteligente e sustentável, foi utilizado o estudo de Huovila, Bosch e Airaksinen (2019) como embasamento para esse processo.

O trabalho supracitado tem como objetivo classificar modelos de avaliação de cidades com uma taxonomia, criada para comparar os indicadores baseada em três vertentes: Foco Urbano (sustentabilidade: 1.1- Social, 1.2- Ambiental e 1.3- Econômica; e inteligência urbana: 2.1- *Soft* e 2.2- *Hard*), Tipo de indicador (1- Entrada, 2- Processo, 3- Saída, 4- Resultado e 5- Impacto) e Setores da cidade (1- Ambiente natural; 2- Ambiente construído; 3- Água e esgoto; 4- Transporte; 5- Energia; 6- Economia; 7- Educação, cultura, inovação e ciência; 8- Saúde, bem-estar e segurança; 9- Governança e envolvimento do cidadão; e 10- TIC).

Quanto ao procedimento metodológico do estudo, tem-se a utilização da abordagem de método misto, que comporta, no primeiro estágio, a análise qualitativa dos indicadores. Nesta etapa é avaliado o conteúdo de cada indicador por meio dos relatórios e documentos que eles foram divulgados. Ademais, no segundo estágio, tem-se a análise quantitativa, com a adoção de um sistema de pontuação para classificar cada indicador conforme as categorias definidas pela taxonomia desenvolvida.

Na Tabela 3 abaixo, tem-se dois exemplos do sistema de avaliação dos indicadores conforme a descrição da taxonomia supracitada. Para o segmento “Setor da cidade”, 2 pontos podem ser alocados conforme o enquadramento do indicador nas áreas avaliadas. Por exemplo, no primeiro indicador, “Acesso a

serviços básicos de saúde”, acredita-se que a sua definição se enquadre apenas ao setor 8 (Saúde, bem-estar e segurança) e, por conta disso, os dois pontos foi atribuído a essa área. Já o indicador “Disponibilidade de TIC para estudantes”, se adequa aos setores 7 (Educação, cultura, inovação e ciência) e 10 (TIC), desta forma, dos dois pontos disponíveis para serem alocados nessa categoria, foi concedido um ponto a cada um dos setores.

No que se refere ao Tipo de Indicador, 1 ponto pode ser atribuído a essa categoria conforme sua natureza: Entrada (recursos necessários para a implementação de intervenções, medindo a quantidade, qualidade e pontualidade dos recursos) , Processo (medem se as atividades planejadas ocorreram), Saída (adicionam mais detalhes em relação ao produto da atividade), Resultado (são indicadores de cobertura que medem até que ponto a população-alvo foi atingida) e Impacto (medem o estado em relação a uma meta definida pela cidade). Assim, pode-se constatar que o primeiro indicador (Tabela 3) é do tipo Resultado e o segundo indicador é do tipo Saída.

Tabela 3- Exemplo do sistema de avaliação dos indicadores

Indicador	Setor da cidade										Tipo Indicador					Foco Urbano				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2
Acesso a serviços básicos de saúde								2						1		3				
Disponibilidade de TIC para estudantes							1			1			1			1			1	1

Fonte: Adaptado de Huovila, Bosch e Airaksinen (2019).

Quanto ao seguimento do Foco Urbano, 3 pontos podem ser distribuídos conforme a categoria que o indicador se enquadra. Primeiro, ele pode se referir a sustentabilidade (como o primeiro indicador da Tabela 3) e/ou a inteligência urbana (segundo indicador). No tocante a sustentabilidade tem-se 3 categorias: social, econômica e ambiental.

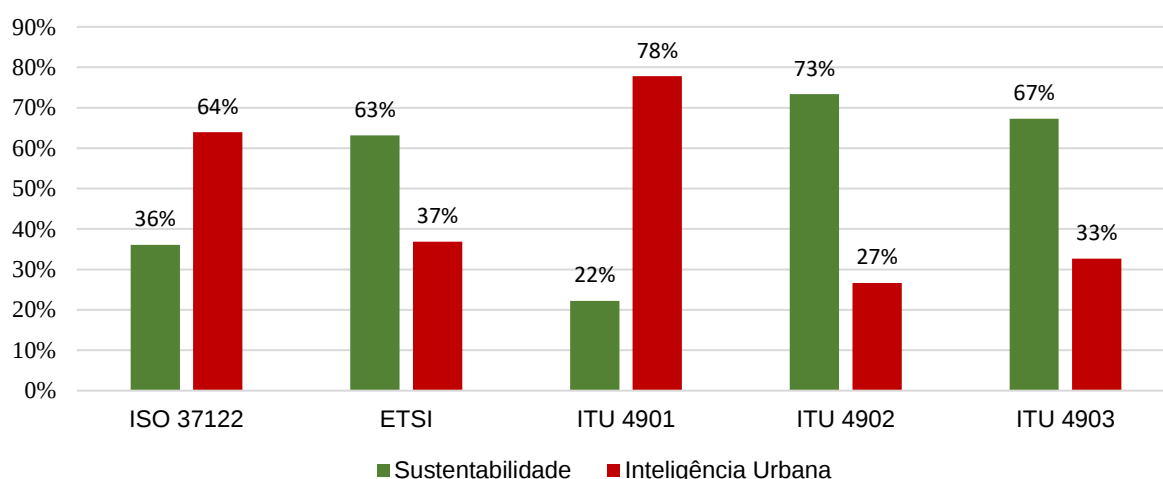
Já em relação a inteligência urbana ela pode ser classificada como *Soft* (estão relacionados aos ativos intangíveis, como capital social, cultural e humano, bem-estar, conhecimento, dentre outros) e *Hard* (refere-se a ativos tangíveis, como TIC, tecnologia e infraestrutura física). Assim, para o exemplo ilustrado, no primeiro indicador os 3 pontos foram concedidos à área de sustentabilidade social. Já no

segundo, foi concedido 1 ponto também para essa área, e mais 1 ponto para a inteligência *Soft* e *Hard*.

Mediante avaliação dos 281 indicadores que compõem o conjunto dos cinco modelos apresentados, pode-se contratar no Gráfico 2 o enfoque em inteligência urbana dada pela referência ITU 4901, conforme já era esperado. Assim como, o modelo ITU 4902 dá uma maior relevância ao desenvolvimento sustentável. Os demais modelos são mais equilibrados nesse sentido.

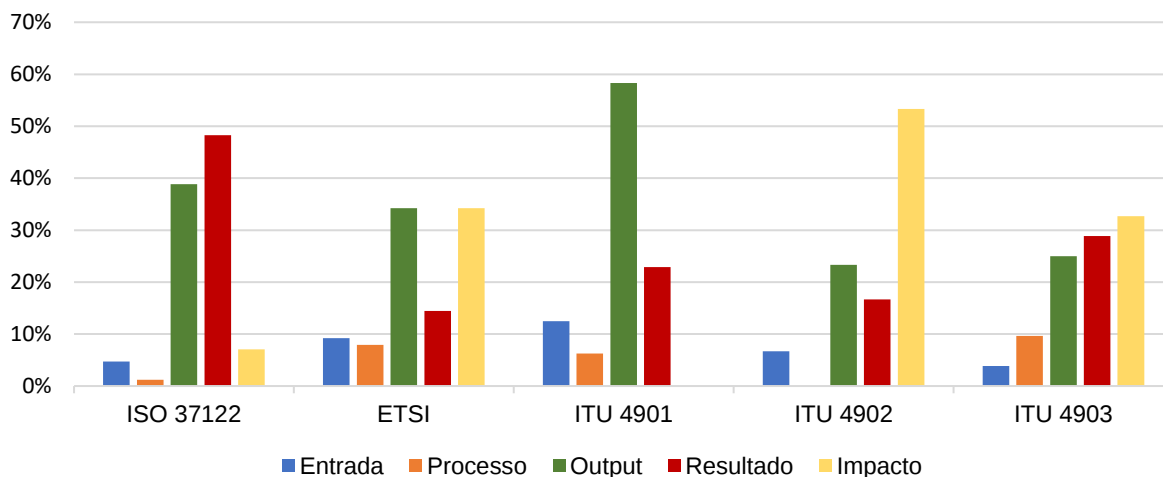
Quanto aos tipos de indicadores expostos no Gráfico 3, foi observado nos modelos ETSI e a ITU 4903 um maior equilíbrio entre os indicadores avaliados, assim como na análise anterior. Os demais modelos tiveram algum tipo de indicador predominante, como é o caso do ITU 4901 com o indicador do tipo *output* e o ITU 4902 com o indicador do tipo impacto.

Gráfico 2- Balanço entre a sustentabilidade e inteligência urbana



Fonte: Adaptado de Huovila, Bosch e Airaksinen (2019).

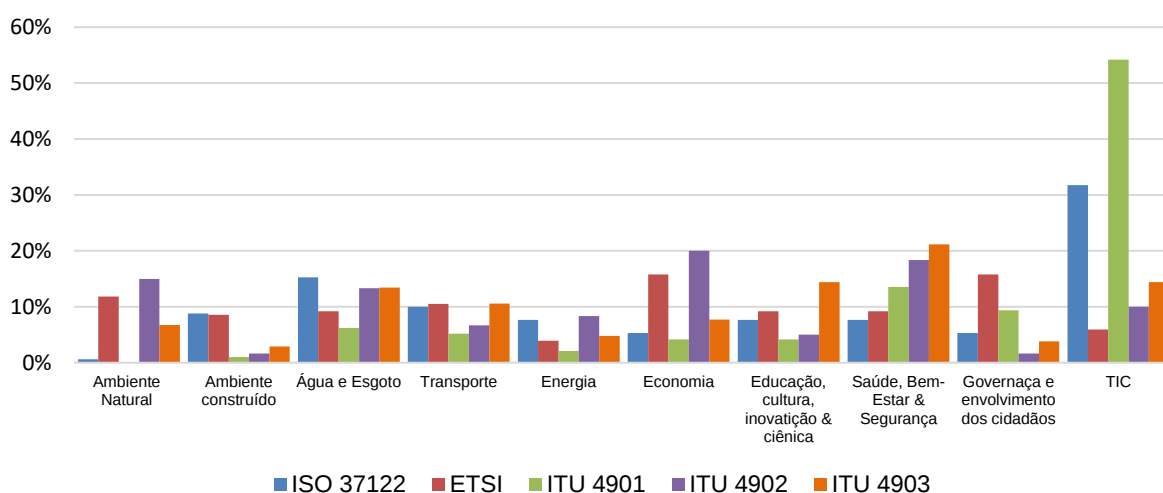
Gráfico 3- Balanço entre os tipos de indicadores



Fonte: Adaptado de Huovila, Bosch e Airaksinen (2019).

Já em relação a distribuição dos indicadores por setores da cidade, observa-se que o modelo ITU 4901 concentra majoritariamente seus indicadores na área de TIC e há uma sub-representação nas demais categorias. Comportamento similar é observado no modelo da ISO 37122. Os demais modelos são mais equilibrados, embora seja recorrente a sub-representação em alguma categoria. O modelo ETSI foi o que apresentou uma melhor distribuição entre as áreas, conforme Gráfico 4.

Gráfico 4- Balanço entre os setores da cidade



Fonte: Adaptado de Huovila, Bosch e Airaksinen (2019).

Por fim, diante das análises expostas nessa seção e salientando o conceito de cidades inteligentes e sustentáveis, uma abordagem integrada que apresente um

maior equilíbrio entre os critérios, torna-se a mais indicada para a avaliação de cidades. Neste contexto, o modelo que melhor apresentou essas características foi o ETSI (seguido pelo ITU 4903) e, por conta disso, foi o selecionado para se utilizar no presente estudo.

3.4 AVALIAÇÃO DOS INDICADORES PRESENTE NO MODELO ETSI

Conforme já fora apresentado, o modelo ETSI é composto por 75 indicadores, divididos em 4 dimensões, Pessoa, Planeta, Prosperidade e Governança. Essa seção designa a selecionar os indicadores que compuseram os quatro modelos de decisão que serão divulgados no capítulo seguinte. Esta seleção de indicadores é necessária pois, a região na qual o modelo foi desenvolvido tem perspectivas um tanto diferentes.

Alguns critérios observados no modelo, sobretudo no tangente a inteligência urbana, ainda não são mensurados ou não foram implantados no Brasil. Existe ainda indicadores que são mensurados apenas a nível nacional, regional ou estadual, não sendo mensurado a nível municipal, limitando o seu uso. Outra questão a ser considerada é que alguns dados são coletados em um espaço de tempo muito longo, o que pode influenciar na avaliação do desenvolvimento atual. Ademais, a qualidade dos dados, assim como em qualquer pesquisa, é um fator que requer muita atenção para assegurar veracidade da informação.

Ante o exposto, três indicadores foram selecionados para avaliar os 75 indicadores presente no modelo, conforme a Tabela a seguir.

Tabela 4- Descrição dos critérios utilizados na seleção de indicadores

Critério	Descrição	Número de níveis	Parâmetro
Disponibilidade	Este critério mensura até que ponto o dado está disponível e qual é a sua abrangência. Assim, é considerado o número de capitais que dispõe do dado.	6	5- 27 capitais 4- 26 a 21 capitais 3- 20 a 14 capitais 2- 13 a 8 capitais 1- 7 a 1 capitais 0- Nenhuma Capital
Qualidade	Refere-se a seguridade dado. Até que ponto o dado é	4	3- Nenhuma objeção 2- Indicação mediana

	proveniente de uma fonte recomendada.		1-Baixa indicação 0- Informação ou fonte indisponível
Oportunidade	Este indicador refere-se até que ponto o dado fornecido está atualizado.	4	3- 2019 a 2016 2- 2015 a 2012 1-2011 a 2008 0- Anos inferiores a 2008

Fonte: O Autor (2020).

Após a explanação as informações acerca dos critérios utilizados na avaliação dos indicadores, a Tabela a seguir apresenta a avaliação realizada para cada indicador do modelo, com base nas informações coletadas.

Tabela 5- Avaliação para seleção de indicadores

Nº	Indicador	Critérios		
		Disponibilidad e	Qualidade	Oportunidade
I.1.1	Acesso a serviços básicos de saúde	5	3	3
I.1.2	Incentivo a um estilo de vida saudável	0	0	0
I.1.3	Mortes no trânsito	5	3	3
I.1.4	Taxa de crime	5	2	3
I.1.5	<i>Cybersecurity</i>	0	0	0
I.1.6	Proteção de dados privados	0	0	0
I.1.7	Acesso ao transporte público	0	0	0
I.1.8	Compartilhamento de veículos para viagens locais	0	0	0
I.1.9	Comprimento da rede de rotas de bicicleta	5	2	3
I.1.10	Acesso a serviços públicos	0	0	0
I.1.11	Acesso a comodidades comerciais	0	0	0
I.1.12	Acesso à internet de alta velocidade	4	3	3
I.1.13	Acesso ao WiFi gratuito público	2	2	3
I.1.14	Flexibilidade nos serviços de entrega da cidade	0	0	0
I.1.15	Acesso a recursos educacionais	5	3	3
I.1.16	Educação ambiental	0	0	0
I.1.17	Alfabetização digital	5	3	3
I.1.18	Diversidade de tipos de alojamento	5	3	3
I.1.19	Preservação do patrimônio cultural	5	3	3
I.1.20	Uso do piso térreo em edifícios para fins	0	0	0

	comerciais ou de domínio público			
I.1.21	Espaço público de recreação ao ar livre	1	2	3
I.1.22	Área verde	5	3	1
I.2.1	Consumo final anual de energia	1	3	3
I.2.2	Energia renovável gerada dentro da cidade	0	0	0
I.2.3	Emissões de CO ₂	2	2	2
I.2.4	Consumo de Combustível renovável utilizado no transporte local	0	0	0
I.2.5	Consumo de material doméstico	0	0	0
I.2.6	Consumo de água	5	3	3
I.2.7	Uso de água cinza e da chuva	0	0	0
I.2.8	Índice de exploração de água	0	0	0
I.2.9	Perdas de água	5	3	3
I.2.10	Densidade populacional	5	3	3
I.2.11	Produção local de alimentos	0	0	0
I.2.12	Uso da área industrial	0	0	0
I.2.13	Estratégia de resiliência climática	0	0	0
I.2.14	Ilha de Calor Urbana	5	2	3
I.2.15	Emissões de dióxido de nitrogênio (NO ₂)	2	3	0
I.2.16	Emissão de partículas finas (PM 2,5)	5	1	2
I.2.17	Índice de qualidade do ar (CO)	5	1	2
I.2.18	Índice de qualidade do ar (SO ₂)	2	3	0
I.2.19	Poluição sonora	0	0	0
I.2.20	Taxa de reciclagem	4	3	3
I.2.21	Resíduos sólidos municipais (Cobertura de coleta de lixo)	5	3	3
I.2.22	Resíduos sólidos municipais (tratamento de esgoto)	5	3	3
I.2.23	Parcela de espaços verdes e aquáticos	0	0	0
I.2.24	Espécies nativas	0	0	0
I.3.1	Taxa de desemprego	5	3	3
I.3.2	Taxa de desemprego juvenil	5	3	3
I.3.3	Pobreza de combustível	0	0	0
I.3.4	Índice de Gini	5	3	1
I.3.5	Acessibilidade da habitação	0	0	0
I.3.6	Participação de empresas certificadas	0	3	3
I.3.7	Participação em Compras Públicas Verdes	0	0	0
I.3.8	Empregos verdes	0	0	0
I.3.9	Movimento de frete	0	0	0

I.3.10	Produto Interno Bruto	5	3	3
I.3.11	Novos negócios registrados	5	3	2
I.3.12	Rendimento mediano familiar	5	3	1
I.3.13	Indústria criativa	4	3	2
I.3.14	Centros de inovação na cidade	4	3	3
I.3.15	Acessibilidade de conjuntos de dados abertos	0	0	0
I.3.16	Intensidade de pesquisa	4	3	2
I.3.17	Dados abertos	0	0	0
I.3.18	Congestionamento	4	3	3
I.3.19	Uso de transporte público	0	0	0
I.3.20	Migração líquida	5	3	1
I.3.21	Proporção de dependência da população	1	3	3
I.3.22	Eventos Internacionais	0	0	0
I.3.23	Intensidade turística	2	2	3
I.4.1	Integração interdepartamental	0	0	0
I.4.2	Estabelecimento dentro da administração	0	0	0
I.4.3	Número de servidores por 100 habitantes	5	3	3
I.4.4	Monitoramento e avaliação	0	0	0
I.4.5	Disponibilidade de dados do governo	5	3	3
I.4.6	Participação cidadã	0	0	0
I.4.7	Participação pública aberta	0	0	0
I.4.8	Participação do eleitor	5	3	3
I.4.9	Política da cidade inteligente	0	0	0
I.4.10	Despesas do município para uma transição para uma cidade inteligente	0	0	0
I.4.11	Governo multinível	0	0	0

Fonte: O Autor (2020).

Na primeira dimensão, os indicadores “Acesso a recursos educacionais”, “Alfabetização digital” e “Espaço público de recreação ao ar livre” foram adaptados para outros indicadores devido à falta a desses dados. Assim, eles foram substituídos por “Índice de Desenvolvimento da Educação Básica (IDEB)”, “Porcentagem das escolas com laboratório de informática” e “número de academias ao ar livre por 100 mil habitantes”.

Já na dimensão Planeta, o Índice de qualidade do ar foi desmembrado em dois indicadores que participam do processo de mensuração desse parâmetro, sendo estes o “Monóxido de Carbono (CO)” e “Dióxido de Enxofre (SO₂)”. Ressalta-se que outros compostos químicos também fazem parte dessa avaliação, como é o

caso do Dióxido de Nitrogênio (NO₂) e Emissão de partículas finas, mas que já estão representados em outros indicadores.

Ainda no que diz respeito a segunda dimensão, o indicador “Resíduos sólidos municipais”, foi dividido em dois indicadores que não constavam no modelo: “porcentagem de esgoto tratado” e “porcentagem da cobertura de coleta de lixo”. Enquanto muitas cidades dos países desenvolvidos já superaram problemas relacionados à falta de saneamento básico, em países em desenvolvimento esse é um desafio que ainda precisa ser solucionado, por conta disso, esses dois indicadores foram adicionados ao modelo.

No tocante a dimensão Prosperidade, na subseção “equidade”, o indicador “Pobreza de combustível” visa representar a quantidade de membros familiares que, com base em sua renda, não tem condições de se aquecer adequadamente a um custo razoável. Como o modelo foi desenvolvido em uma região com clima predominantemente temperado, apresentando por tanto, temperaturas baixas na maior parte do ano, esse indicador não representa a realidade brasileira.

Embora o outro indicador “Acessibilidade da habitação”, que também compõe a subdimensão de equidade, possa representar a realidade brasileira, não foi encontrado dados que pudessem ser utilizados. Desta forma, optou-se por adicionar o indicador “Índice de Gini”, que avalia a desigualdade de renda de uma determinada localidade.

Em relação a subdimensão Inovação, o indicador “Centros de inovação na cidade” foi substituído pelo “Índice de infraestrutura Tecnológica”, que leva em consideração o número de empresas em parques tecnológicos da cidade, projetos realizados pelos Institutos na área de Inovação e Tecnologia e unidades do SEBRATEC (cujo objetivo é proporcionar condições para o aumentar a taxa de inovação das empresas brasileiras). Ademais, o indicador “Intensidade de pesquisa” foi dividido em “Proporção de Mestres e Doutores em C&T” e “Proporção de empresas com patentes”.

Na última dimensão, foi adicionado na subseção de organização, o indicador “Número de servidores por 100 habitantes”. Além disso, “Disponibilidade de dados do governo” é representado pelo “Índice da Transparência pública” que tem como intuito verificar o grau de cumprimento de dispositivos da Lei de Acesso à Informação e de outros normativos sobre transparência.

Apresentado as ressalvas realizadas, o procedimento de avaliação fora realizado em duas etapas. Na primeira etapa do processo, todos os indicadores que apresentavam o desempenho “0” para um ou mais critérios, foram eliminados. Uma vez que esses indicadores podem representar um dado ou uma fonte indisponível e/ou um dado obsoleto e que não é indicado para representar o cenário atual. Desta forma, dos 80 indicadores iniciais (75 do modelo utilizado e mais 5 indicadores propostos), apenas 39 foram selecionados para prosseguirem na avaliação.

A segunda etapa foi realizada de modo a maximizar o número de subdimensões, capitais e indicadores utilizados. Ademais, tentou-se preservar uma maior representação das regiões geográficas do país. Ao final desse processo, quatro indicadores foram eliminados e, por conseguinte, restaram 35 indicadores que foram utilizados para a avaliação das capitais brasileiras.

Na Tabela a seguir, tem-se a sumarização desses indicadores, bem como uma breve descrição, a fonte e o ano de coleta do dado.

Tabela 6- Informações acerca dos indicadores utilizados

Nº	Indicador	Descrição	Fonte	Ano do dado
I.1.1	Acesso a serviços básicos de saúde	Cobertura populacional estimada pelas Equipes Básicas de Saúde.	e-Gestor Atenção Básica (2019)	Julho de 2019
I.1.2	Mortes no trânsito	Número de mortes no trânsito por 100.000 habitantes.	DATASUS (2019)	2017
I.1.3	Taxa de crime	Crimes Violentos Letais Intencionais (Homicídio Doloso, Latrocínio, Lesão Corporal Seguida de Morte) por 100 mil habitantes.	Fórum Brasileiro de Segurança Pública (2018)	2017
I.1.4	Comprimento da rede de rotas de bicicleta	% de ciclovias e faixas em relação ao comprimento das ruas.	Prefeituras das cidades (2019)	2018
I.1.5	Acesso à internet de alta velocidade	Porcentagem da população com acesso a redes fixas (com fio) de banda larga.	IBGE (2017a)	2017
I.1.6	Acesso a recursos educacionais	O Índice de Desenvolvimento da Educação Básica (Ideb) é o principal indicador da qualidade da educação básica no Brasil. Para fazer essa medição, utiliza-se uma escala que vai de 0 a 10.	INEP (2017)	2017

I.1.7	Alfabetização digital	Porcentagem das escolas com laboratório de informática.	INEP (2018)	2018
I.1.8	Diversidade de tipos de alojamento	Percentual do total de moradias classificadas como Casa de cômodos, cortiço ou cabeça de porco (antigos cortiços).	IBGE (2018)	2018
I.1.9	Preservação do patrimônio cultural	Quantidade de monumentos e espaços públicos tombados em cada localidade.	IPHAN (2018)	2018
I.1.10	Área verde	Utilização do índice de arborização de vias públicas. Que verifica a distribuição de árvores dentro do espaço urbano.	IBGE (2019)	2010
I.2.1	Emissões de CO2	Emissões per capita [tCO ₂ eq / capita].	NANGINI et al. (2018), Prefeitura de Fortaleza (2015)	2011 a 2015
I.2.2	Consumo de água	Consumo água expresso em litros/habitante/dia.	SNIS (2017)	2017
I.2.3	Perdas de água	% de água perdida na distribuição.	SNIS (2017)	2017
I.2.4	Densidade populacional	Densidade demográfica estimada.	IBGE (2019)	2019
I.2.5	Ilha de Calor Urbana	Diferença máxima na temperatura do ar dentro da cidade em comparação com o campo durante os meses de verão.	CLIMATE (2019)	2019
I.2.6	Emissão de partículas finas (PM 2,5)	Concentração de material particulado por ug/m ³ .	SISAM (2019)	2015
I.2.7	Índice de qualidade do ar	Concentração de Monóxido de Carbono (ppb).	SISAM (2019)	2015
I.2.8	Taxa de reciclagem	Recuperação de Materiais Recicláveis (%).	SNIS (2017)	2017
I.2.9	Resíduos sólidos municipais	Cobertura de coleta de lixo (%)	SNIS (2017)	2017
I.2.10	Resíduos sólidos municipais	Índice de coleta de Esgoto (%)	SNIS (2017)	2017
I.3.1	Taxa de desemprego	Taxa de desocupação média	IBGE (2018)	2018
I.3.2	Taxa de desemprego juvenil	Taxa de desocupação entre jovens (14-29 anos)	IBGE (2018)	2018

I.3.3	Índice de Gini	Avalia a desigualdade de renda de uma determinada localidade. Quanto mais perto de zero, menor a desigualdade.	DATASUS (2010)	2010
I.3.4	Produto Interno Bruto	Soma de todos os bens e serviços finais produzidos por um país, estado ou cidade, geralmente em um ano. Neste estudo foi utilizado o <i>per capita</i> .	IBGE (2019)	2016
I.3.5	Novos negócios registrados	Geração de novos postos de trabalho assalariado entre 2013 e 2016.	IBGE (2017b)	2013-2016
I.3.6	Rendimento mediano familiar	A renda familiar <i>per capita</i> é calculada dividindo-se o total da renda familiar pelo número de moradores de uma residência.	IBGE (2010)	2010
I.3.7	Indústria criativa	Tamanho da economia criativa (em relação ao total de empresas).	Endeavor Brasil (2017)	2015
I.3.8	Centros de inovação na cidade	Foi utilizado para o cálculo o Índice de infraestrutura Tecnológica, que leva em consideração o número de empresas em parques tecnológicos da cidade, projetos realizados pelos Institutos na área de Inovação e Tecnologia e unidades do SEBRATEC (cujo objetivo é proporcionar condições para o aumentar a taxa de inovação das empresas brasileiras).	Endeavor Brasil (2017)	2016
I.3.9	Intensidade de pesquisa	Proporção de Mestres e Doutores em C&T (para cada 100 empresas)	Endeavor Brasil (2017)	2016 e 2015.
I.3.10	Intensidade de pesquisa	Proporção de empresas com patentes (para cada 1000 empresas).	Endeavor Brasil (2017)	2015
I.3.11	Congestionamento	Utilizado o Índice de tráfico do <i>Waze Driver Satisfaction Index</i> . A nota varia entre 0 e 10, sendo 0 a pior nota e 10 a melhor.	Endeavor Brasil (2017)	2016
I.3.12	Migração líquida	Número de pessoas de 5 anos ou	IBGE (2010)	2010

		mais de idade que não residiam no município em 31.07.2005		
I.4.1	Servidores públicos	Número de servidores por 100 habitantes.	CFA (2017)	2017
I.4.2	Disponibilidade de dados do governo	O Índice da Transparência pública busca verificar o grau de cumprimento de dispositivos da Lei de Acesso à Informação e de outros normativos sobre transparência.	Portal da Transparência (2018)	2018
I.4.3	Participação do eleitor	Porcentagem dos eleitores aptos a votar e que compareceram a votação de prefeito da cidade. Foi realizada uma média simples com os dados do primeiro e segundo turno.	TSE (2016)	2016

Fonte: O Autor (2020).

Os indicadores apresentados foram utilizados como critérios para os quatro problemas de decisão, conforme apresentado no capítulo a seguir.

3.5 AVALIAÇÃO DO MODELO ADAPTADO

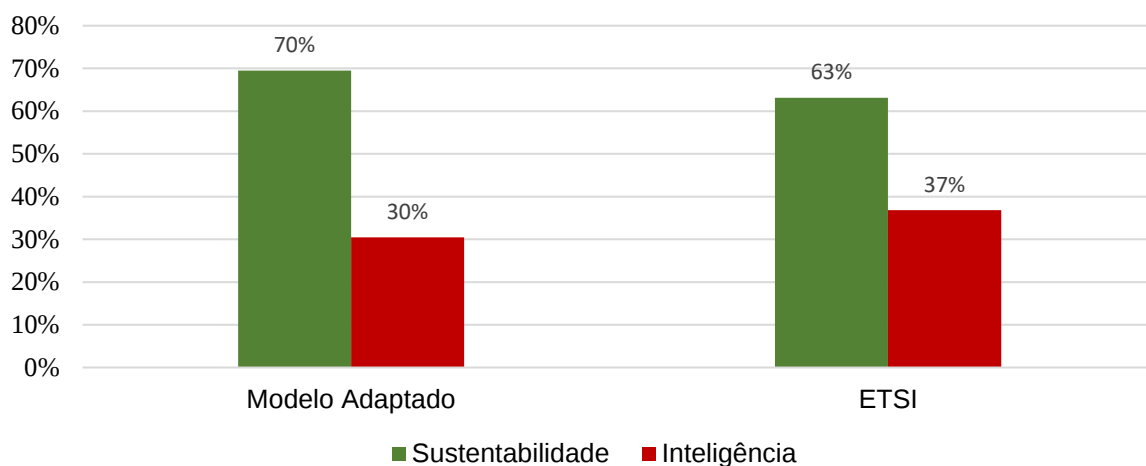
Após as considerações realizadas no item 3.4, obteve-se um modelo adaptado à realidade brasileira, seja pela inserção de algumas idiossincrasias locais, seja pela remoção de alguns indicadores indisponíveis no cenário estudado.

Com o intuito de averiguar o equilíbrio do novo modelo, quanto aos aspectos de uma cidade inteligente e sustentável, os 35 indicadores foram avaliados conforme a metodologia de Huovila, Bosch e Airaksinen (2019), empregada no item 3.3. Manteve-se a mesma taxonomia, analisando os indicadores sob os aspectos do Foco Urbano, Tipo de Indicador e Setores da Cidade.

No que se refere ao balanço entre sustentabilidade e inteligência urbana, o Gráfico 5 abaixo evidência que houve uma pequena alteração em relação ao modelo original. No modelo ETSI, 63% dos indicadores eram relacionados com a sustentabilidade e 37% retratavam a inteligência urbana. Já no modelo adaptado, esse número passou para 70% e 30%, respectivamente. O decréscimo na proporção de indicadores de inteligência urbana era esperado, conforme fora descrito no item

anterior. Todavia, acredita-se que a pequena variação observada não inviabiliza a aplicação do presente modelo.

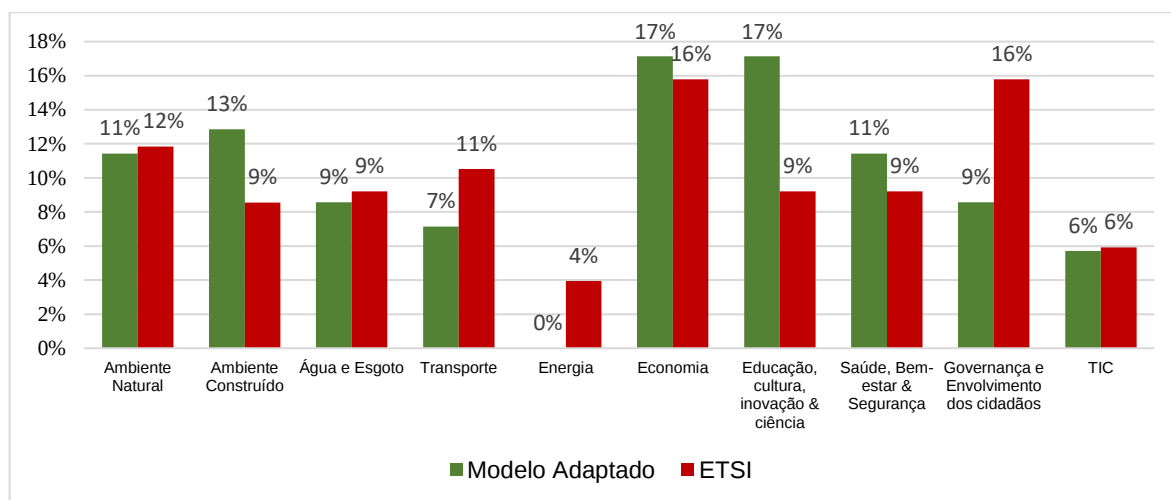
Gráfico 5- Comparação do balanço da sustentabilidade e inteligência urbana entre o modelo original e adaptado



Fonte: O Autor (2020).

Na análise entre os setores da cidade, com exceção dos setores Educação, Cultura, Inovação & Ciência”, “Governança e Envolvimento dos cidadãos” e “energia”, não foi observado uma variação abrupta na proporção de indicadores, como exposto no Gráfico (6). Salienta-se que não houvera indicadores representantes do segmento “energia” no novo modelo, tendo em vista que só foi encontrado dados para três capitais, limitando o seu uso.

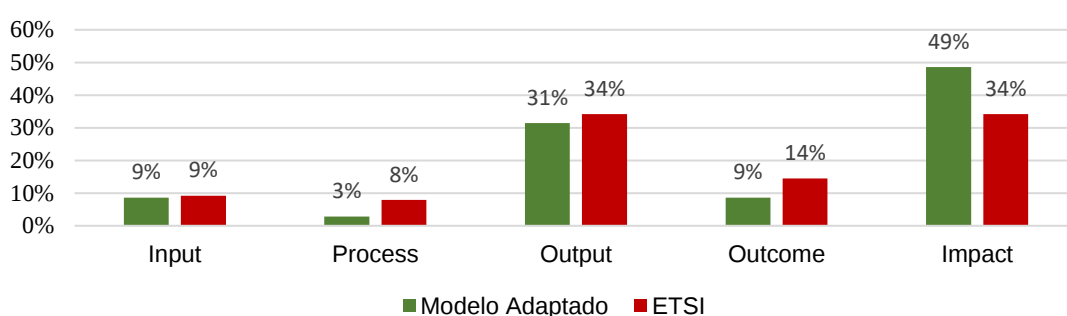
Gráfico 6- Comparação do balanço dos setores da cidade entre o modelo original e adaptado



Fonte: O Autor (2020).

Em relação aos tipos de indicadores, não foi observado nenhuma alteração significativa nos resultados, exceto na proporção da categoria impacto, como observado no Gráfico (7). Embora esse tipo de indicador seja mais relevante para avaliar o desempenho final de uma cidade, o emprego de um mix balanceado evidencia questões de planejamento no longo, médio e curto prazo. A falta de mensuração de indicadores foi um limitante nesse processo e, por conseguinte, será alvo de recomendações do presente estudo.

Gráfico 7- Comparação entre os tipos de indicadores do modelo original e adaptado



Fonte: O Autor (2020).

3.6 COMENTÁRIOS FINAIS SOBRE ESTA SEÇÃO

Este capítulo explanou, no primeiro momento, os procedimentos metodológicos que foram utilizados na pesquisa em lide, evidenciando a justificativa do objeto de estudo e as etapas da pesquisa. Já no segundo momento foram apresentados cinco modelos de avaliação de sustentabilidade e inteligência urbana, elaborados por instituições de padronização de relevância internacional.

Visando justificar a escolha do modelo utilizado na avaliação de capitais brasileiras, um estudo que evidencia aspectos de uma cidade inteligente e sustentável é apresentado. Esta avaliação fora realizada considerando múltiplos aspectos em relação a cada indicador presente no modelo, como representação dos setores da cidade, tipo de indicador e viés utilizado.

Selecionado o modelo conceitual mais adequado para o estudo, uma avaliação de seus indicadores fora realizada considerando três critérios: disponibilidade, qualidade e oportunidade dos dados. Além disso, a inserção de alguns indicadores tornou-se necessária pois, embora a utilização desse instrumento seja indicada para qualquer cidade, é evidente a representação de idiosincrasias da

região onde a ferramenta foi desenvolvida, corroborando a necessidade a indispensabilidade de adaptações.

4 AVALIAÇÃO DAS CAPITAIS BRASILEIRAS

Neste capítulo tem-se uma abordagem da classificação das capitais brasileiras acerca das quatro dimensões do modelo teórico julgado como o mais equilibrado entre os demais avaliados. Para tanto, foram considerados os conjuntos de critérios levantados para cada dimensão, Pessoa, Planeta, Prosperidade e Governança, conforme fora exposto no Capítulo 3. Quatro decisores expressaram suas preferências quanto às consequências que lhe eram apresentadas, sendo um decisor específico para cada dimensão.

4.1 AVALIAÇÃO MULTIDIMENSIONAL DAS CAPITAIS BRASILEIRAS

Esta seção apresenta a avaliação multidimensional que fora realizada considerando a amostra de nove capitais brasileiras. Para tanto, realizou-se uma análise de decisão multicritério para cada dimensão, conforme exposto a seguir.

4.1.1 Avaliação multicritério para a Dimensão Pessoa

O primeiro decisor fez o julgamento das consequências baseado na matriz de decisão multicritério da dimensão de Pessoas. No total, 10 indicadores foram utilizados: 1- Acesso a serviços básicos de saúde (%), 2- Taxa de Mortes no trânsito (nº/ 100mil habitantes), 3-Taxa de crime Intencionais (nº/ 100mil habitantes), 4- Comprimento da faixa de ciclovias (% em relação ao comprimento das ruas), 5- Acesso à internet (%), 6- Desempenho educacional (nota do IDEB, varia de 0 a 10, quanto maior, melhor o desempenho), 7- Recurso Educacional Digital (% de escolas com laboratório de informática), 8- Condições Habitacionais (% do total de moradias classificadas como casa de cômodos, cortiço ou cabeça de porco), 9-Preservação do patrimônio cultural (nº de monumentos e espaços públicos tombados) e 10- Arborização urbana (% de árvores dentro do espaço urbano), e seus valores são expostos na Tabela 7 a seguir.

Tabela 7- Matriz de decisão multicritério para a dimensão Pessoas

Capitais Brasileiras	Critérios									
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀
Belo Horizonte (MG)	100,00	12,05	22,60	1,94	80,90	4,50	68,00	0,20	5,00	82,70

Brasília (DF)	54,69	11,25	18,20	3,32	85,20	4,30	73,00	0,60	27,00	36,90
Curitiba (PR)	50,27	14,10	24,40	4,52	79,20	4,80	55,00	0,00	3,00	76,10
Florianópolis (SC)	100,00	12,56	37,00	5,51	84,90	4,70	41,00	0,60	11,00	32,00
Fortaleza (CE)	44,22	14,08	77,30	5,22	72,00	4,70	57,00	0,10	5,00	74,80
Recife (PE)	64,80	28,83	47,90	1,88	68,80	4,40	41,00	0,20	37,00	60,50
Rio de Janeiro (RJ)	54,85	10,81	32,70	6,59	79,30	4,70	54,00	0,60	145,00	70,50
Salvador (BA)	38,06	8,53	50,60	5,65	77,90	3,20	38,00	0,10	103,00	39,50
São Paulo (SP)	62,64	5,72	11,10	2,93	83,00	4,40	67,00	0,40	23,00	74,80

Fonte: O Autor (2020).

Como os critérios são expressos em unidades de medidas diferentes torna-se necessário utilizar o procedimento de normalização. Assumindo que as funções são lineares, emprega-se o procedimento de normalização intervalar, dado pela seguinte equação 12. É importante salientar que o *software* do *FITradeoff* já faz esse procedimento, dispensando a necessidade de se fazer manualmente.

$$v'_i(x_{ij}) = \frac{v_i(x_{ij}) - \text{Min}[v_i(x_{ij})]}{\text{Max}[v_i(x_{ij})] - \text{Min}[v_i(x_{ij})]} \quad (12)$$

Onde,

$v'_i(x_{ij})$ = função valor marginal com valores no intervalo [0,1]

$v_i(x_{ij})$ = desempenho do critério i na alternativa j

Uma etapa fundamental para a execução do método é realização de uma classificação em relação ao tipo do critério. Essa classificação pode ser feita em quatro tipos, sendo estes: contínuo com função de minimizar, contínuo com função de maximizar, discreto com função de minimizar e discreto com função de maximizar. Um critério de minimizar apresenta uma função de valor que diminui monotonicamente em relação à sua escala natural, ou seja, quanto menor o valor no critério, mais preferido ele é, e vice-versa. O contrário ocorre com um critério cuja função seja de maximizar.

Assim, os critérios C1, C4, C5, C6, C7 e C10 são do tipo contínuo com função de maximizar e os critérios C2, C3 e C8 são contínuos com função de minimizar.

Nota-se que apenas C9 é um critério do tipo discreto (assume apenas valores inteiros) e é do tipo maximizar.

Para o processo de classificação é imprescindível a definição de categorias que definam o desempenho necessário para que as cidades se enquadrem em determinada classe. Isto é feito determinando a quantidade de categorias e os valores de fronteira para cada uma delas. Salienta-se que esse processo fora feito em conjunto com o decisor, conforme Tabela 8.

Os valores de fronteira que delineiam as categorias foram definidos respeitando o conjunto $[0, 1]$, sendo que o valor 0 corresponde a uma capital hipotética que apresenta o pior desempenho nos dez critérios definidos para essa seção e 1 corresponde a capital hipotética que apresenta o melhor desempenho em todos os critérios levantados. Desta forma, todas as capitais reais podem ser classificadas dentro desse intervalo.

Tabela 8– Definição das Categorias da Dimensão Pessoa

Categoria	Parâmetros	Definição
CAT3	Capitais que apresentem a Função Valor Global no intervalo de $(0,70-1]$, ou seja, tenham um desempenho superior a 70%.	Conjunto de capitais que apresentam um bom desempenho na dimensão Pessoas, demonstrando se envolver em aspectos que melhoram a qualidade de vida dos cidadãos.
CAT2	Capitais que apresentem a Função Valor Global no intervalo de $(0,30-0,70]$, ou seja, tenham um desempenho superior a 30% e até 70%.	Conjunto de capitais que apresentam um desempenho regular na dimensão Pessoas, demonstrando se envolver parcialmente em aspectos que melhoram a qualidade de vida dos cidadãos.
CAT1	Capitais que apresentem a Função Valor Global no intervalo de $[0-0,30]$, ou seja, tenham um desempenho em	Conjunto de capitais que apresentam um baixo desempenho na dimensão Pessoas, demonstrando pouco envolvimento em aspectos que

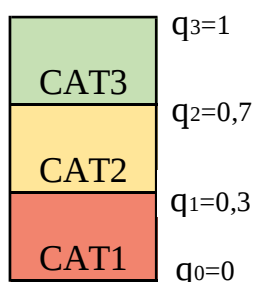
	até 30%.	melhoram a qualidade de vida dos cidadãos.
--	----------	--

Fonte: O Autor (2020).

O fato de o método permitir informações parciais inviabiliza o encontro de valores exatos das constantes de escala dos critérios, e, conseqüentemente, não é possível calcular o valor global exato das alternativas. Desta forma, valores globais minimizado e maximizado são calculados para cada alternativa no espaço de pesos atual e, para classificar uma capital em determinada categoria, esses dois valores devem pertencer ao intervalo definido pelos valores de fronteira.

Por exemplo, a categoria CAT3 contém as capitais que apresentaram desempenho superior a 70% do intervalo $[0, 1]$ e, considerando o espaço de pesos φ_{10} , os valores pertencem ao intervalo $(0,7,1]$. Assim como, se os valores globais pertencem ao intervalo $(0,3, 0,7]$, então a capital é alocada à categoria CAT2. Similarmente, as capitais que pertencem a categoria CAT1 possuem valores globais pertencentes ao intervalo $[0, 0,3]$. Desta forma, os valores de fronteira definidos são expostos na Figura 12 abaixo.

Figura 12– Valores de fronteira estabelecidos

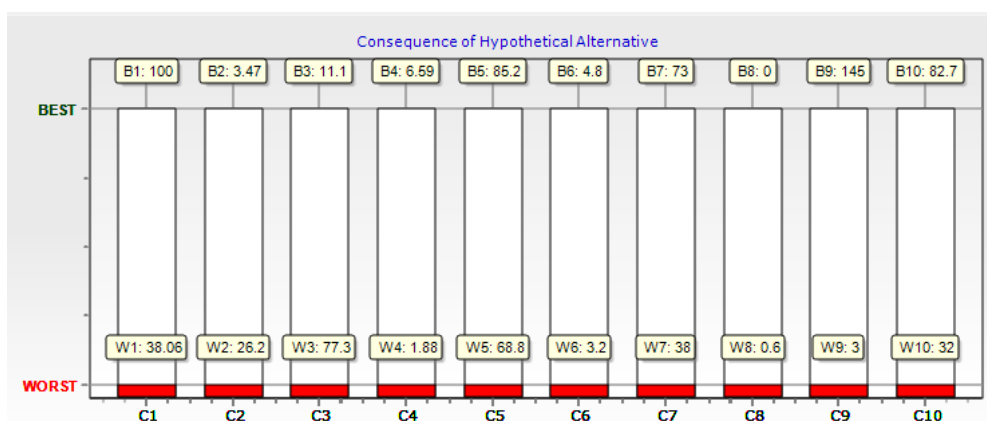


Fonte: O Autor (2020).

4.1.1.1 Elicitação de Preferências do decisor

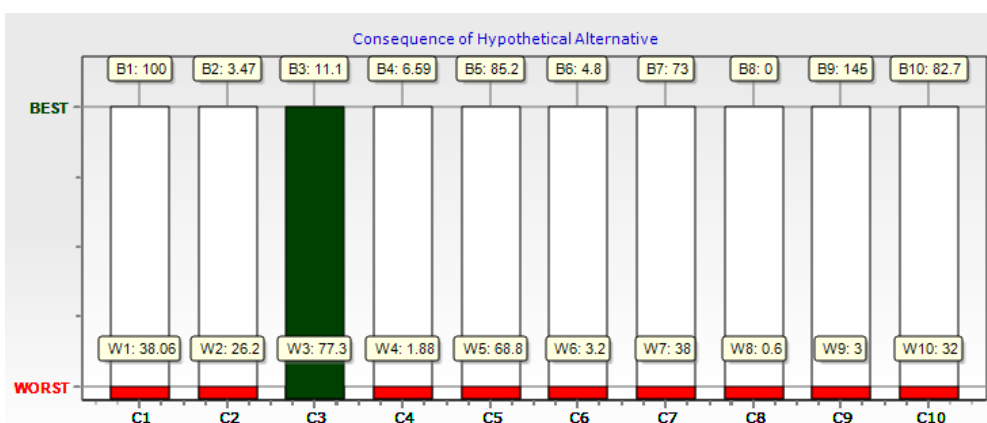
Após a formulação da matriz de decisão multicritério e a definição dos parâmetros, o decisor realizou a ordenação das constantes de escala dos critérios. Esse procedimento foi feito dando ao decisor uma consequência hipotética contendo os piores desempenhos em todos os critérios Figura 13 e solicitando-o que escolhesse um único critério para ter o desempenho maximizado Figura 14.

Figura 13– Consequência hipotética de pior desempenho



Fonte: O Autor (2020).

Figura 14– Seleção do critério a ser maximizado



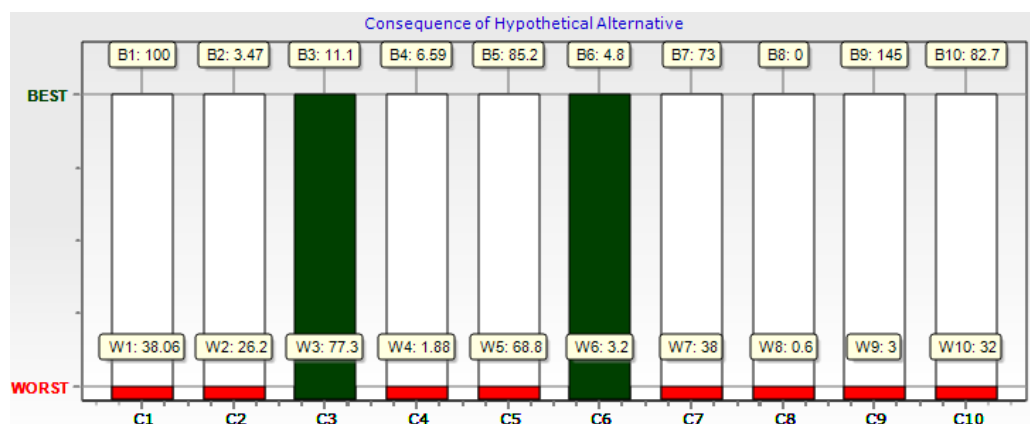
Fonte: O Autor (2020).

O decisor escolheu o critério C3 para ter seu desempenho maximizado. Em seguida foi lhe questionado novamente, entre os critérios restantes com o pior desempenho, qual ele preferia maximizar o desempenho, sendo escolhido o critério C6 (Figura 15). O procedimento foi repetido até que todas as constantes de escala fossem ordenadas. Ao final do processo obteve-se a seguinte ordenação: $k_3 > k_6 > k_2 > k_1 > k_8 > k_5 > k_4 > k_{10} > k_9 > k_7$.

Anteriormente à etapa de elicitación flexível, uma pergunta é feita ao decisor para se definir o tipo de heurística a ser utilizada. O intuito dessa etapa é reduzir o número de perguntas a serem feitas ao decisor, diminuindo o seu esforço cognitivo. Neste questionamento o decisor deve expressar sua preferência entre uma consequência A, que tem um desempenho intermediário no primeiro critério da ordenação C3 e pior desempenho nos demais critérios; e uma consequência B, com

o desempenho maximizado no último critério ordenado C7 e a pior *performance* nos demais critérios. A consequência A foi preferida e a heurística definiu-se como uniforme.

Figura 15– Ordenamento dos critérios



Fonte: O Autor (2020).

Após esse procedimento iniciou-se a eliciação flexível na qual o decisor expressou suas relações de preferência entre duas consequências hipotéticas. À medida que as informações são coletadas, o espaço de pesos associado diminui e, consequentemente, as alternativas passam a ser alocadas para categorias únicas. Vinte e seis iterações foram necessárias para classificar todas as capitais analisadas e são expostas na Tabela 9 abaixo.

Tabela 9– Classificação das capitais quanto a dimensão de Pessoas

Categoria	Capital	Valor Global Maximizado	Valor Global Minimizado
CAT3	Florianópolis (SC)	0,9221	0,8791
	Belo Horizonte (MG)	0,7854	0,7747
	Curitiba (PR)	0,8060	0,7725
CAT2	Brasília (DF)	0,6743	0,6111
	Recife (PE)	0,6278	0,5941
	São Paulo (SP)	0,4916	0,4748
	Salvador (BA)	0,3228	0,3019
CAT1	Rio de Janeiro (RJ)	0,2887	0,2336
	Fortaleza (CE)	0,2645	0,2267

Fonte: O Autor (2020).

4.1.2 Avaliação multicritério das capitais: Dimensão Planeta

No tocante à dimensão Planeta, o decisor fez o julgamento das consequências baseado na matriz de decisão multicritério exposta na Tabela 10. Foram utilizados 10 indicadores, sendo estes: 1- Emissões de CO₂ (t CO₂ eq/capita), 2- Consumo de água(litros/habitante/dia), 3- Perdas de água (%), 4- Densidade populacional (habitantes/km²); 5- Ilha de Calor Urbana (°C), 6- Emissão de partículas finas (PM 2,5ug/m³):); 7- Índice de qualidade do ar (concentração de monóxido de carbono: ppb), 8- Taxa de recuperação de Materiais Recicláveis (%), 9- Cobertura de coleta de lixo (%) e 10- Tratamento de Esgoto Total (%).

Tabela 10- Matriz de decisão multicritério para a dimensão Planeta

Capitais Brasileiras	Critérios									
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀
Belo Horizonte (MG)	0,67	159,30	40,05	7548,49	0,10	59,11	193,37	0,88	98,45	76,36
Brasília (DF)	2,39	132,40	33,75	516,37	0,80	1,93	137,46	1,05	80,00	84,42
Curitiba (PR)	1,09	158,10	26,16	4406,96	0,70	63,76	185,68	1,79	100,00	93,59
Florianópolis (SC)	2,26	179,80	42,96	730,50	0,30	8,03	64,16	4,98	100,00	46,31
Fortaleza (CE)	1,80	122,30	49,29	8460,91	0,40	2,56	130,53	0,54	100,00	56,04
Recife (PE)	0,32	115,60	61,11	7484,06	0,60	1,93	83,22	0,27	98,90	74,41
Rio de Janeiro (RJ)	2,04	327,90	24,92	5572,92	0,30	0,55	85,64	1,27	100,00	46,00
Salvador (BA)	0,67	117,50	54,02	4118,19	1,00	21,45	177,99	0,37	100,00	99,66
São Paulo (SP)	1,31	157,10	35,48	8005,25	0,80	15,31	103,51	0,97	100,00	61,84

Fonte: O Autor (2020).

Quanto à tipologia dos critérios, tem-se que C₁, C₂, C₃, C₅, C₆ e C₇ são do tipo contínuo com função de minimizar e os critérios C₄, C₈, C₉ e C₁₀ são contínuos com função de maximizar. Já em relação a definição de categorias (Tabela 11), seguiu-se os mesmos procedimentos da dimensão anterior, sendo definidas em conjunto com o decisor. Os valores de fronteira estabelecidos foram q₀=0, q₁=0,3, q₂=0,7 e q₃=1.

Tabela 11– Definição das Categorias da Dimensão Planeta

Categoria	Parâmetros	Definição
CAT3	Capitais que apresentem a Função Valor Global no intervalo de (0,70-1], ou seja, tenham um desempenho superior a 70%.	Conjunto de capitais que apresentam um bom desempenho na dimensão Planeta, demonstrando se envolver em aspectos que minimizam a geração de impactos ambientais e o consumo de recursos naturais.
CAT2	Capitais que apresentem a Função Valor Global no intervalo de (0,30-0,70], ou seja, tenham um desempenho superior a 30% e até 70%.	Conjunto de capitais que apresentam um desempenho regular na dimensão Planeta, demonstrando se envolver parcialmente em aspectos que minimizam a geração de impactos ambientais e o consumo de recursos naturais.
CAT1	Capitais que apresentem a Função Valor Global no intervalo de [0-0,30], ou seja, tenham um desempenho em até 30%.	Conjunto de capitais que apresentam um baixo desempenho na dimensão Planeta, demonstrando pouco envolvimento com os aspectos que minimizam a geração de impactos ambientais e o consumo de recursos naturais.

Fonte: O Autor (2020).

4.1.2.1 Elicitação de Preferências do decisor

Ao passo em que o decisor definia a sequência em que os critérios deveriam ter seu desempenho maximizado, a ordenação das constantes de escala era realizada. Dessa forma, ao final do processo, obteve-se o seguinte *ranking*: $k_3 > k_8 > k_5 > k_2 > k_{10} > k_1 > k_9 > k_6 > k_7 > k_4$.

Assim como na dimensão anterior, foi realizada a pergunta da heurística, em que o decisor teve que expressar sua preferência entre a consequência A, a qual

tinha o desempenho intermediário no primeiro critério da ordenação (C3) e pior desempenho nos demais critérios; e a consequência B, com o desempenho maximizado no último critério ordenado (C4) e a pior *performance* nos demais critérios. Como a consequência A foi estritamente preferida, a heurística também apresentou o comportamento uniforme.

Já na etapa de elicitación flexível em si, o decisor expressou suas relações de preferência entre duas consequências hipotéticas. À medida que as informações foram coletadas, o espaço de pesos associado diminuiu e, conseqüentemente, as alternativas passaram a ser alocadas para categorias únicas. Vinte e oito iterações foram necessárias para classificar todas as capitais analisadas e o resultado é exposto na Tabela 12 a seguir.

Tabela 12 – Classificação das capitais quanto a dimensão Planeta

Categoria	Capital	Valor Global Maximizado	Valor Global Minimizado
CAT3	Curitiba (PR)	0,9081	0,8578
	Rio de Janeiro (RJ)	0,9190	0,8469
CAT2	Brasília (DF)	0,6998	0,6468
	São Paulo (SP)	0,6730	0,6431
	Belo Horizonte (MG)	0,6051	0,5869
	Florianópolis (SC)	0,5801	0,5435
	Fortaleza (CE)	0,3583	0,3375
CAT1	Salvador (BA)	0,2725	0,2267
	Recife (PE)	0,1179	0,0518

Fonte: O Autor (2020).

4.1.3 Avaliação multicritério das capitais: Dimensão Prosperidade

A dimensão Prosperidade teve a maior incidência de indicadores. No total, 12 critérios foram utilizados, sendo estes: 1- Taxa de desocupação média (%), 2- Taxa de desocupação juvenil (%), 3- Índice de Gini (varia entre 0 e 1, quanto mais próximo de 0, menor a desigualdade), 4- Produto Interno Bruto *per capita* (R\$); 5- Novos negócios registrados (unidades), 6- Renda familiar *per capita* (R\$); 7- Tamanho da economia criativa (%), 8- Índice de infraestrutura Tecnológica, 9- Proporção de Mestres e Doutores em C&T (nº/100 empresas), 10- Proporção de

empresas com patentes (nº/1.000 empresas), 11- Índice de tráfego (varia entre 0 e 10, quanto maior melhor) e 12-Migração líquida e seus valores são evidenciados na matriz de decisão a seguir.

Tabela13- Matriz de decisão multicritério para a dimensão Prosperidade

Capitais Brasileiras	Critérios											
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂
Belo Horizonte (MG)	12,5	24,0	0,61	35122,0	605	1226	8,60	2,90	3,60	7,5	2,3	19,7
Brasília (DF)	12,7	25,3	0,64	79099,8	462	1404	5,40	2,20	4,10	7,1	6,5	81,5
Curitiba (PR)	9,4	18,8	0,57	44239,2	816	1273	7,10	2,20	3,50	8,0	2,7	42,4
Florianópolis (SC)	6,5	14,1	0,55	39048,2	731	1573	6,70	1,80	7,00	19,3	3,7	105,0
Fortaleza (CE)	10,8	23,9	0,63	23045,1	336	701	5,40	2,20	0,20	5,3	2,5	16,8
Recife (PE)	16,3	30,7	0,69	30477,7	404	894	8,20	2,00	1,30	10,3	2,4	20,4
Rio de Janeiro (RJ)	12,6	23,7	0,64	50690,8	389	1204	8,40	2,00	6,40	9,9	1,3	25,0
Salvador (BA)	16,1	27,1	0,64	20796,6	337	786	5,90	2,10	0,10	7,0	3,9	14,2
São Paulo (SP)	14,2	27,5	0,65	57071,4	708	1180	7,00	2,80	5,10	6,5	1,4	32,5

Fonte: O Autor (2020).

Todos os critérios utilizados são variáveis contínuas, sendo que C₄, C₅, C₆, C₇, C₈, C₉, C₁₀, C₁₁, C₁₂ apresentam função valor que aumenta monotonicamente em relação à sua escala natural. Já C₁, C₂ e C₃ são critérios que por interesse coletivo, devem ser minimizados. No que se refere a categorização das capitais, o padrão é mantido e exposto na Tabela 14.

Tabela 14– Definição das Categorias da Dimensão Prosperidade

Categoria	Parâmetros	Definição
CAT3	Capitais que apresentem a Função Valor Global no	Conjunto de capitais que apresentam um bom

	intervalo de (0,70-1], ou seja, tenham um desempenho superior a 70%.	desempenho na dimensão Prosperidade, demonstrando o alto envolvimento em aspectos relacionados à tecnologia, inovação, desenvolvimento econômico e atratividade local.
CAT2	Capitais que apresentem a Função Valor Global no intervalo de (0,30-0,70], ou seja, tenham um desempenho superior a 30% e até 70%.	Conjunto de capitais que apresentam um desempenho regular na dimensão Prosperidade, demonstrando envolvimento parcial em aspectos relacionados à tecnologia, inovação, desenvolvimento econômico e atratividade local.
CAT1	Capitais que apresentem a Função Valor Global no intervalo de [0-0,30], ou seja, tenham um desempenho em até 30%.	Conjunto de capitais que apresentam um baixo desempenho na dimensão Prosperidade, demonstrando pouco envolvimento em aspectos relacionados à tecnologia, inovação, desenvolvimento econômico e atratividade local.

Fonte: O Autor (2020).

4.1.3.1 Elicitação de Preferências do decisor

Após a ordenação das constantes de escala realizada na primeira parte iterativa do *Software*, obteve-se a seguinte relação: $k_8 > k_3 > k_5 > k_2 > k_1 > k_6 > k_4 > k_{12} > k_9 > k_{10} > k_7 > k_{11}$.

Quanto a pergunta da heurística, entre consequência A, a qual tinha o desempenho intermediário no primeiro critério da ordenação (C8) e pior desempenho nos demais critérios; e a consequência B, com o desempenho maximizado no último critério ordenado (C11) e a pior *performance* nos demais critério, o decisor preferiu a consequência A. Dessa forma, assim como nas dimensões anteriores, a apresentou o comportamento uniforme.

Trinta e três iterações foram necessárias para classificar as nove capitais analisadas em categorias únicas. A Tabela 15 a seguir ilustra o resultado obtido.

Tabela 15– Classificação das capitais quanto à dimensão Prosperidade

Categoria	Capital	Valor Global Maximizado	Valor Global Minimizado
CAT3	Belo Horizonte (MG)	0,7588	0,7448
CAT2	Curitiba (PR)	0,6989	0,6946
	Florianópolis (SC)	0,6901	0,6843
	Rio de Janeiro (RJ)	0,6045	0,5963
	São Paulo (SP)	0,4554	0,4531
	Recife (PE)	0,4376	0,4238
CAT1	Salvador (BA)	0,1999	0,1968
	Brasília (DF)	0,1858	0,1781
	Fortaleza (CE)	0,1660	0,1615

Fonte: O Autor (2020).

4.1.4 Avaliação multicritério das capitais: Dimensão Governança

Por fim, na dimensão Governança o decisor fez o julgamento das consequências baseado na matriz de decisão com apenas três critérios, 1- Índice da Transparência pública (varia entre 0 e 10, quanto maior melhor), 2- Participação do eleitor (%) e 3- Número de Servidores públicos (nº/100 habitantes), conforme dados da Tabela 16.

Tabela 16- Matriz de decisão multicritério para a dimensão Governança

Capitais Brasileiras	Critérios		
	C ₁	C ₂	C ₃
Belo Horizonte (MG)	9,16	77,78	1,62
Brasília (DF)	9,62	87,84	4,31
Curitiba (PR)	9,67	81,72	1,53
Florianópolis (SC)	6,87	85,78	1,67
Fortaleza (CE)	8,46	82,18	1,32
Recife (PE)	9,9	88,69	1,45
Rio de Janeiro (RJ)	6,77	73,15	1,37
Salvador (BA)	8,74	78,75	0,95
São Paulo (SP)	7,94	78,16	1,1

Fonte: O Autor (2020).

Quanto a tipologia dos critérios, tem-se que C1, C2 são do tipo contínuo com função de maximizar e o critério C3, é contínuo com função de maximizar. Já em relação a definição de categorias, Tabela 17, os valores de fronteira estabelecidos permaneceram os mesmos das outras dimensões, $q_0=0$, $q_1=0,3$, $q_2=0,7$ e $q_3=1$.

Tabela 17– Definição das Categorias da Dimensão Governança

Categoria	Parâmetros	Definição
CAT3	Capitais que apresentem a Função Valor Global no intervalo de $(0,70-1]$, ou seja, tenham um desempenho superior a 70%.	Conjunto de capitais que apresentam um bom desempenho na dimensão governança, demonstrando uma boa transparência do governo e engajamento cívico da população.
CAT2	Capitais que apresentem a Função Valor Global no intervalo de $(0,30-0,70]$, ou seja, tenham um desempenho superior a 30% e até 70%.	Conjunto de capitais que apresentam um desempenho regular na dimensão governança, demonstrando parcialidade na transparência do governo e no engajamento cívico da população.
CAT1	Capitais que apresentem a Função Valor Global no intervalo de $[0-0,30]$, ou seja, tenham um desempenho em até 30%.	Conjunto de capitais que apresentam baixo desempenho na dimensão governança, demonstrando pouca transparência do governo e engajamento cívico da população.

Fonte: O Autor (2020).

4.1.4.1 Elicitação de Preferências do decisor

A ordenação das consequências fora feita conforme as descrições anteriores, obtendo o seguinte ordenamento: $k_1 > k_2 > k_3$.

Diferentemente da relação de preferência declarada nas dimensões anteriores na pergunta de heurística, o decisor preferiu a consequência B, a qual

apresentava o desempenho maximizado no último critério ordenado (C3) e a pior *performance* nos demais critério ao invés da consequência A, que apresentava um desempenho intermediário no primeiro critério da ordenação (C1) e pior desempenho nos demais critérios. Desta forma, a heurística apresentou o comportamento modal.

Por fim, na etapa de elicitação flexível foram necessárias apenas cinco iterações para classificar todas as nove capitais em categorias únicas. O resultado é exposto na Tabela 18 a seguir.

Tabela 18– Classificação das capitais quanto a dimensão Governança

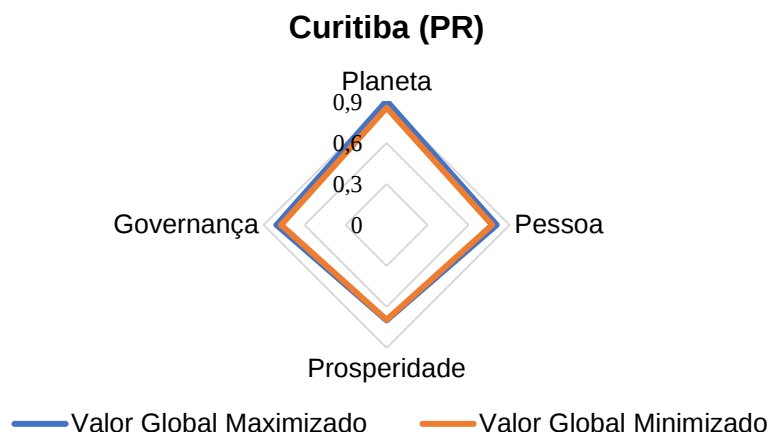
Categoria	Capital	Valor Global Maximizado	Valor Global Minimizado
CAT3	Recife (PE)	0,9885	0,9734
	Brasília (DF)	0,8512	0,7621
	Curitiba (PR)	0,8052	0,7717
CAT2	Belo Horizonte (MG)	0,6358	0,5869
	Fortaleza (CE)	0,6162	0,5795
	Salvador (BA)	0,6055	0,5611
	São Paulo (SP)	0,4583	0,4027
	Florianópolis (SC)	0,4405	0,3302
CAT1	Rio de Janeiro (RJ)	0,1544	0,0673

Fonte: O Autor (2020).

4.2 DESEMPENHO GLOBAL DAS CAPITALS

A capital de maior destaque na análise foi a cidade de Curitiba. Dentre as quatro dimensões analisadas, ela obteve desempenho superior a 70% em três dimensões: Pessoa, Planeta e Governança e, portanto, foi alocada na categoria 3 que é a de maior relevância. Apenas na abordagem de Prosperidade que a capital foi classificada na categoria 2, todavia, ressalta-se que o seu desempenho ficou no intervalo de [0,6989; 0,6946], valores extremamente próximos do valor de fronteira piso da CAT3. O Gráfico 8 radar a seguir demonstra o equilíbrio apresentado pela capital nas dimensões do modelo de cidades inteligentes e sustentáveis.

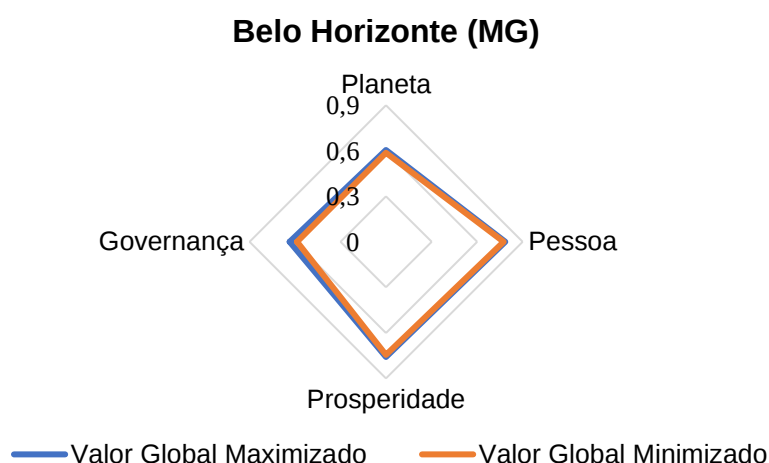
Gráfico 8 – Desempenho da cidade de Curitiba (PR)



Fonte: O Autor (2020).

A cidade de Belo Horizonte também obteve um destaque positivo. Em duas dimensões a capital apresentou desempenho superior a 70%, sendo na área de Pessoa e Prosperidade. Salienta-se que nesta última, ela foi a única cidade da amostra classificada nessa categoria. Ademais, nas abordagens Planeta e Governança, a capital obteve um resultado intermediário, sendo que seu desempenho está situado entre os intervalos $[0,6051; 0,5869]$ e $[0,6358; 0,5869]$, respectivamente. O Gráfico 9, ilustra o comportamento da cidade frente aos aspectos analisados.

Gráfico 9 – Desempenho da cidade de Belo Horizonte (MG)

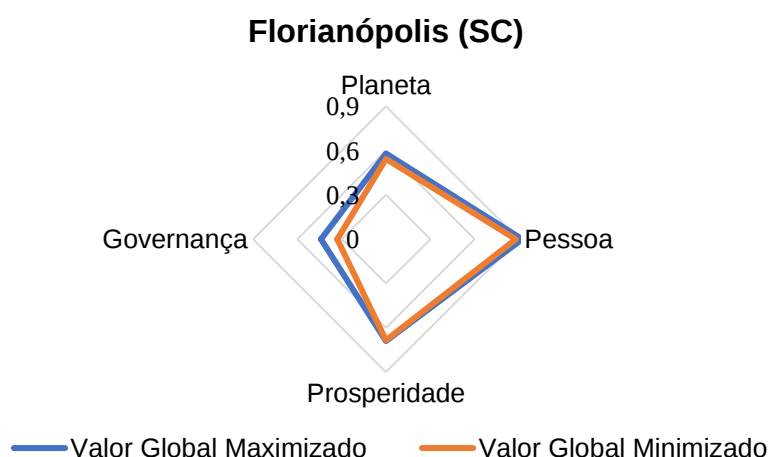


Fonte: O Autor (2020).

Embora a cidade de Florianópolis tenha apresentado um destaque promissor na dimensão de Pessoa, apresentando seu desempenho no intervalo de $[0,9227;$

0,8791] e, portanto, sendo classificada na Categoria 3 e um bom desempenho na área de prosperidade [0,6901; 0,6843], nas demais abordagens seu desempenho foi regular, tendo o pior destaque na dimensão de Governança [0,4405; 0,3302], demonstrando que essa é um segmento que pode receber um enfoque de seus governantes para melhorar o cenário do município. O Gráfico 10 a seguir ilustra esse panorama.

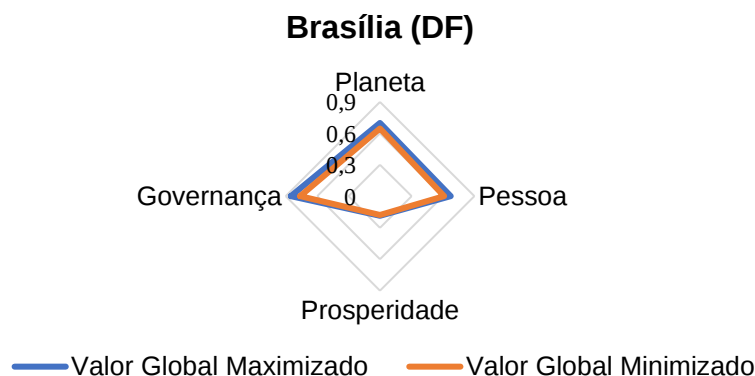
Gráfico 10 – Desempenho da cidade de Florianópolis (SC)



Fonte: O Autor (2020).

A cidade de Brasília também apresentou um destaque positivo na dimensão Governança. Neste quesito a cidade obteve um desempenho mínimo de 76%, sendo classificada na categoria 3. Todavia, na dimensão Prosperidade o resultado foi alarmante, o desempenho da cidade nesse segmento está situado dentro do intervalo [0,1858;0,1781], demonstrando ser uma área que requer bastante investimento por parte dos governantes locais para melhorar essa categoria. No tocante as demais dimensões de Pessoa e Planeta, observou-se um desempenho de no mínimo 61% e 64%, respectivamente, conforme exposto no Gráfico 11 abaixo.

Gráfico 11 – Desempenho da cidade de Brasília (DF)



Fonte: O Autor (2020).

Com valores intermediários em todas as dimensões, a cidade de São Paulo não apresentou nenhum destaque na avaliação e foi classificada na categoria 2 em todas as esferas. O melhor desempenho da cidade, conforme observado no Gráfico 12, foi na dimensão Planeta, com desempenho superior a 64%. Nos demais segmentos, o desempenho da cidade não ultrapassou os 50%.

Gráfico 12 – Desempenho da cidade de São Paulo (SP)

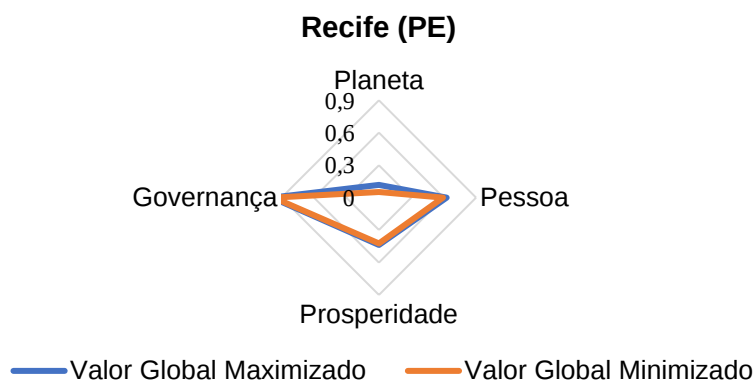


Fonte: O Autor (2020).

Apresentando um desempenho dentro do intervalo [0,9885; 0,9734] na dimensão Governança, a cidade do Recife obteve o melhor resultado nesse segmento e, por conseguinte, foi alocada para a categoria 3. No entanto, na dimensão Planeta a cidade apresentou o pior resultado da amostra analisada, sendo que seu desempenho não ultrapassa os 12%. Nos demais segmentos a *performance* da capital obteve valores intermediários, com intervalos de

[0,6278;0,5941], para a dimensão Pessoas e [0,4376;0,4238] na de Prosperidade. Esse desequilíbrio nas dimensões é ilustrado no Gráfico 13 a seguir.

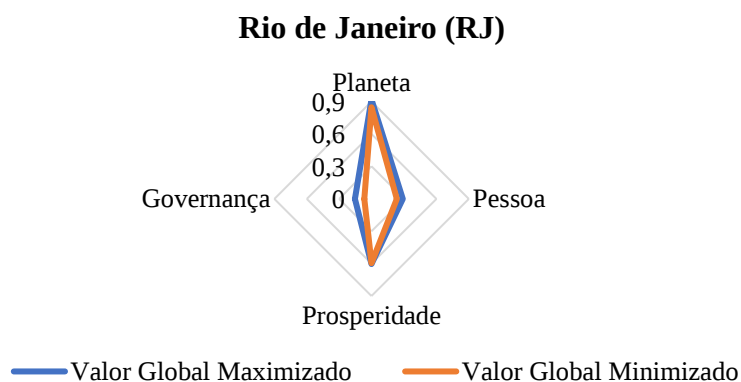
Gráfico 13 – Desempenho da cidade de Recife (PE)



Fonte: O Autor (2020).

A cidade do Rio de Janeiro também apresentou um destaque positivo, sendo este na dimensão Planeta. Com desempenho situado no intervalo de [0,9190; 0,8469], a capital foi alocada nesse segmento para a categoria 3. Quanto a dimensão de Prosperidade, a capital apresentou um desempenho intermediário e, em conjunto com a abordagem anterior, formam os picos do Gráfico 14. As demais dimensões, Governança e Pessoa, receberam destaque negativo, ficando alocadas na categoria inferior (CAT1).

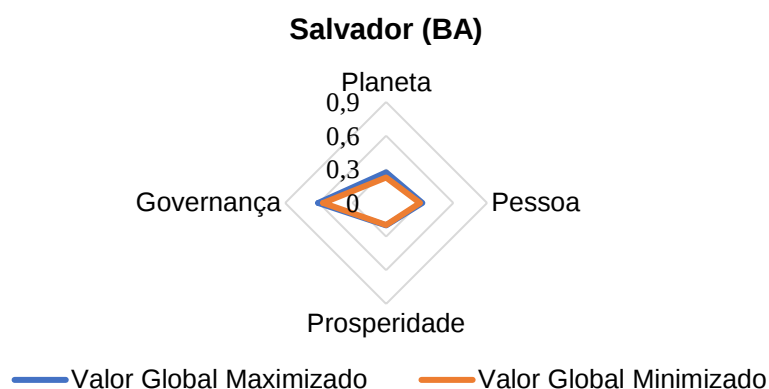
Gráfico 14 – Desempenho da cidade do Rio de Janeiro (RJ)



Fonte: O Autor (2020).

A capital do estado da Bahia não apresentou nenhum destaque positivo. A dimensão de Governança foi a única da análise que obteve um desempenho dentro do intervalo [0,6055; 0,5611]. As demais avaliações não ultrapassaram o desempenho de 33%, demonstrando o baixo envolvimento da cidade nesses segmentos, de acordo com o Gráfico 15.

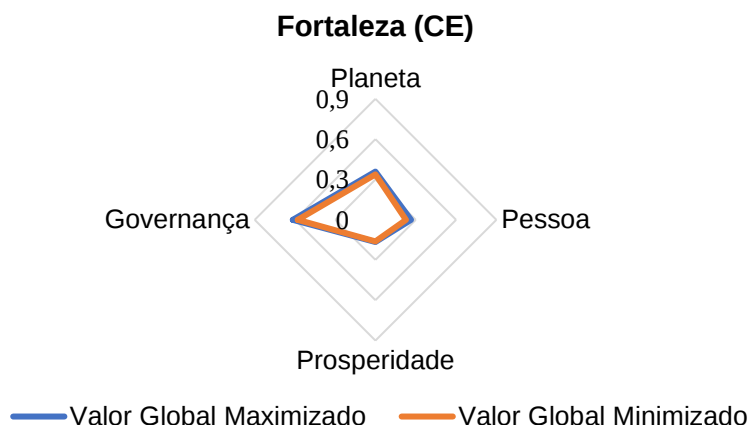
Gráfico 15 – Desempenho da cidade de Salvador (BA)



Fonte: O Autor (2020).

Por fim, a cidade de Fortaleza também não apresentou nenhum destaque positivo, conforme Gráfico 16. Similarmente à Salvador, a capital apresentou o melhor resultado na esfera de Governança, com desempenho no intervalo [0,6162; 0,5795]. Na dimensão Prosperidade, a cidade apresentou o pior resultado da amostra, em que seu desempenho não ultrapassa os 17%. Quanto o segmento de Pessoas, a classificação também ficou na pior categoria (CAT1) e no quesito Planeta, a cidade foi alocada para a segunda categoria, com *performance* situada no intervalo [0,3583; 0,3375].

Gráfico 16 – Desempenho da cidade de Fortaleza (CE)



Fonte: O Autor (2020).

Para que cada capital possa melhorar seu resultado é fundamental que se conheça os principais critérios que afetaram os seus desempenhos. Dessa forma, no próximo item ter-se-á o destaque dos principais indicadores que impactaram o resultado por cada dimensão. A partir dessa análise é possível direcionar os governantes na tomada de ações que compactuem para o desenvolvimento de uma cidade mais inteligente e sustentável.

4.3 ANÁLISE DE DESEMPENHO DOS INDICADORES

Tendo como base os valores de desempenho de cada indicador utilizado para a análise, foram evidenciados os destaques positivos (aqueles que apresentaram o melhor desempenho entre os indicadores utilizados) e os destaques negativos (aqueles que apresentaram o pior desempenho entre os indicadores analisados). A Tabela 19 apresenta essa análise feita para cada dimensão do estudo.

Tabela 19- Análise de desempenho dos indicadores

CAPITAIS	DESTAQUES POSITIVOS	DESTAQUES NEGATIVOS
Belo Horizonte (MG)	Dimensão Pessoa - Acesso a serviços básicos de saúde (100%) - Arborização urbana (100%) - Recurso Educacional Digital (85,7%)	Dimensão Pessoa - Comprimento da faixa de ciclovias (1%) - Preservação do patrimônio cultural (1,4%)
	Dimensão Planeta - Ilha de Calor Urbana (100%) - Tratamento de Esgoto Total (99,6%) - Cobertura de coleta de lixo (92%)	Dimensão Planeta - Índice de qualidade do ar (0%) - Emissão de partículas finas (7,4%) - Taxa de recuperação de Materiais Recicláveis (13%)

	Dimensão Prosperidade - Índice de infraestrutura Tecnológica (100%) - Tamanho da economia criativa (100%) - Renda familiar <i>per capita</i> (60,2%)	Dimensão Prosperidade - Migração líquida (6,1%) - Proporção de empresas com patentes (15,7%) - Índice de tráfego (19,2%)
	Dimensão Governança Número de Servidores públicos (80,1%)	Dimensão Governança Participação do eleitor (29,8%)
Brasília (DF)	Dimensão Pessoa - Acesso à internet (100%) - Recurso Educacional Digital (100%) - Taxa de crime Intencionais (89,3%)	Dimensão Pessoa - Condições Habitacionais (0%) - Arborização urbana (9,7%) - Preservação do patrimônio cultural (16,9%)
	Dimensão Planeta - Emissão de partículas finas (97,8%) - Consumo de água (92,1%) - Perdas de água (75,6%)	Dimensão Planeta - Cobertura de coleta de lixo (0%) - Emissões de CO₂ (0%) - Densidade populacional (0%)
	Dimensão Prosperidade - Produto Interno Bruto per capita (100%) - Índice de tráfego (100%) - Renda familiar per capita (80,6%)	Dimensão Prosperidade - Tamanho da economia criativa (0%) - Proporção de empresas com patentes (12,9%) - Novos negócios registrados (26,3%)
	Dimensão Governança Participação do eleitor (94,5%)	Dimensão Governança Número de Servidores públicos (0%)
Curitiba (PR)	Dimensão Pessoa - Desempenho educacional (100%) - Condições Habitacionais (10%) - Arborização urbana (87%)	Dimensão Pessoa - Preservação do patrimônio cultural (0%) - Acesso a serviços básicos de saúde (19,7%) - Recurso Educacional Digital (48,6%)
	Dimensão Planeta - Tratamento de Esgoto Total (100%) - Cobertura de coleta de lixo (100%) - Perdas de água (96,6%)	Dimensão Planeta - Emissão de partículas finas (0%) - Índice de qualidade do ar (6,0%) - Taxa de recuperação de Materiais Recicláveis (32,3%)
	Dimensão Prosperidade - Novos negócios registrados (100%) - Índice de Gini (85,7%) - Taxa de desocupação juvenil (71,76%)	Dimensão Prosperidade - Proporção de empresas com patentes (19,3%) - Índice de tráfego (26,9%) - Migração líquida (31,1%)
	Dimensão Governança Índice da Transparência pública (92,7%)	Dimensão Governança Não houveram
Florianópolis (SC)	Dimensão Pessoa - Acesso a serviços básicos de saúde (100%) - Acesso à internet (98,2%) - Desempenho educacional (93,8%)	Dimensão Pessoa - Condições Habitacionais (0%) - Arborização urbana (0%) - Preservação do patrimônio cultural (5,6%)
	Dimensão Planeta - Taxa de recuperação de Materiais Recicláveis (100%) - Cobertura de coleta de lixo (100%) - Índice de qualidade do ar (100%)	Dimensão Planeta - Densidade populacional (2,7%) - Emissões de CO₂ (6,3%)
	Dimensão Prosperidade Índice de Gini (100%)	Dimensão Prosperidade Índice de infraestrutura Tecnológica

	- Taxa de desocupação juvenil (100%) - Renda familiar per capita (100%)	(0%) - Produto Interno Bruto per capita (31%) - Tamanho da economia criativa (40,6%)
	Dimensão Governança Participação do eleitor (81,3%)	Dimensão Governança Índice da Transparência pública (3,2%)
Fortaleza (CE)	Dimensão Pessoa - Desempenho educacional (93,8%) - Arborização urbana (84,4%) - Condições Habitacionais (83,3%)	Dimensão Pessoa - Taxa de crime Intencionais (0%) - Preservação do patrimônio cultural (1,4%) - Acesso a serviços básicos de saúde (9,9%)
	Dimensão Planeta - Cobertura de coleta de lixo (100%) - Densidade populacional (100%) - Emissão de partículas finas (96,8%)	Dimensão Planeta - Taxa de recuperação de Materiais Recicláveis (5,7%) - Tratamento de Esgoto Total (17,7%) - Emissões de CO₂ (28,5 %)
	Dimensão Prosperidade Taxa de desocupação média (56,1%)	Dimensão Prosperidade - Tamanho da economia criativa (0%) - Proporção de empresas com patentes (0%) - Renda familiar per capita (0%) - Novos negócios registrados (0%)
	Dimensão Governança Número de Servidores públicos (89%)	Dimensão Governança Não houveram
Recife (PE)	Dimensão Pessoa - Desempenho educacional (75%) - Condições Habitacionais (66,7%) - Arborização urbana (56,2%)	Dimensão Pessoa - Acesso à internet (0%) - Comprimento da faixa de ciclovias (0%) - Taxa de Mortes no trânsito (0%)
	Dimensão Planeta - Consumo de água (100%) - Emissões de CO₂ (100%) - Emissão de partículas finas (97,8%)	Dimensão Planeta - Tratamento de Esgoto Total (0%) - Taxa de recuperação de Materiais Recicláveis (0%) - Perdas de água (0%)
	Dimensão Prosperidade Tamanho da economia criativa (87,5%)	Dimensão Prosperidade - Taxa de desocupação média (0%) - Taxa de desocupação juvenil (0%) - Índice de Gini (0%)
	Dimensão Governança - Índice da Transparência pública (100%) - Participação do eleitor (100%)	Dimensão Governança Não houveram
Rio de Janeiro (RJ)	Dimensão Pessoa - Comprimento da faixa de ciclovias (100%) - Preservação do patrimônio cultural (100%) - Desempenho educacional (93,8%)	Dimensão Pessoa - Condições Habitacionais (0%) - Acesso a serviços básicos de saúde (27,1%) - Recurso Educacional Digital (45,7%)
	Dimensão Planeta - Emissão de partículas finas (100%) - Cobertura de coleta de lixo (100%) - Perdas de água (100%)	Dimensão Planeta - Consumo de água (0%) - Emissões de CO₂ (16,9%) - Taxa de recuperação de Materiais Recicláveis (21,2%)
	Dimensão Prosperidade - Tamanho da economia criativa (93,8%) - Proporção de Mestres e Doutores em	Dimensão Prosperidade - Índice de tráfego (0%) - Novos negócios registrados (11%) - Migração líquida (11,9%)

	C&T (91,3%) • Renda familiar per capita (57,7%)	
	Dimensão Governança • Número de Servidores públicos (87,5%)	Dimensão Governança • Índice da Transparência pública (0%) • Participação do eleitor (0%)
Salvador (BA)	Dimensão Pessoa • Taxa de Mortes no trânsito (87,8%) • Condições Habitacionais (83,3%) • Comprimento da faixa de ciclovias (80%)	Dimensão Pessoa • Recurso Educacional Digital (0%) • Acesso a serviços básicos de saúde (0%) • Desempenho educacional (0%)
	Dimensão Planeta • Cobertura de coleta de lixo (100%) • Consumo de água (99,1%) • Tratamento de Esgoto Total (87,1%)	Dimensão Planeta • Ilha de Calor Urbana (0%) • Taxa de recuperação de Materiais Recicláveis (2,1%) • Índice de qualidade do ar (11,9%)
	Dimensão Prosperidade • Índice de tráfego (50%)	Dimensão Prosperidade • Produto Interno Bruto per capita (0%) • Migração líquida (0%) • Proporção de Mestres e Doutores em C&T (0%)
	Dimensão Governança • Número de Servidores públicos (100%)	Dimensão Governança • Participação do eleitor (36%)
São Paulo (SP)	Dimensão Pessoa • Taxa de crime Intencionais (100%) • Taxa de Mortes no trânsito (100%) • Acesso à internet (86,6%)	Dimensão Pessoa • Preservação do patrimônio cultural (14,1%) • Comprimento da faixa de ciclovias (22%) • Condições Habitacionais (33,3%)
	Dimensão Planeta • Cobertura de coleta de lixo (100%) • Densidade populacional (94,3%) • Tratamento de Esgoto Total (86,3%)	Dimensão Planeta • Taxa de recuperação de Materiais Recicláveis (14,9%) • Ilha de Calor Urbana (22,2%) •
	Dimensão Prosperidade • Índice de infraestrutura Tecnológica (90,9%) • Novos negócios registrados (77,5%) • Proporção de Mestres e Doutores em C&T (72,5%)	Dimensão Prosperidade • Índice de tráfego (1,9%) • Proporção de empresas com patentes (8,6%) • Taxa de desocupação juvenil (19,3%)
	Dimensão Governança • Número de Servidores públicos (95,5%)	Dimensão Governança • Participação do eleitor (32,2%)

Fonte: O Autor (2020).

Ressalta-se que análise fora feita levando em consideração o melhor e o pior desempenho de cada indicador. A partir dessa análise é possível traçar recomendações de ações que podem ser feitas visando a melhora de performance das capitais.

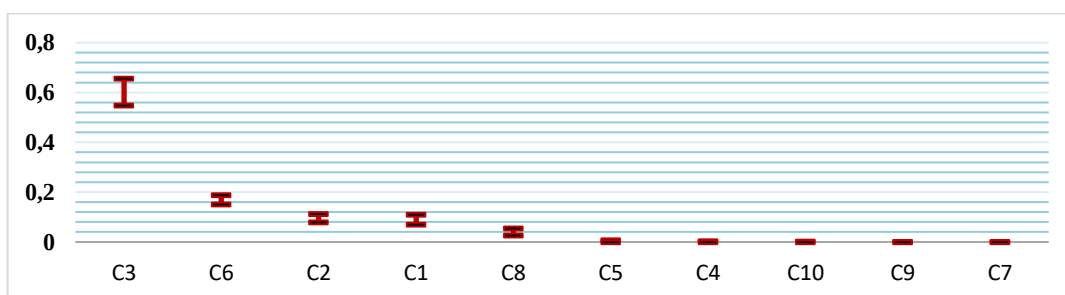
4.4 ANÁLISE DE ROBUSTEZ

Como já fora salientado, no *FiTradeoff* não há a necessidade do decisor definir um ponto exato de indiferença ao se comparar duas consequências. O fato de o método permitir o uso de informações parciais acarreta no encontro de um intervalo de valores de k_i , tal qual, o ponto de indiferença está contido nele.

Na problemática de classificação, o objetivo é alocar cada alternativa para apenas uma categoria. Para tanto, existe no espaço de pesos φ_n , um vetor k' , que minimiza o valor global da alternativa a_j no modelo de programação linear 1 (equação 10) e um vetor k'' , que maximiza o valor global da alternativa a_j no modelo de programação linear 2 (equação 11).

Os Gráficos 17, 18, 19 e 20 trazem, respectivamente, os intervalos das constantes de escala para cada critério da dimensão Pessoa, Prosperidade, Planeta e Governança. Os valores extremos desses intervalos representam os elementos dos vetores k' e k'' . A partir da extensão desses intervalos podemos analisar a robustez do modelo, ou seja, até que ponto as constantes de escala podem variar de modo que a alternativa continue alocada na mesma categoria a qual ela foi estabelecida no final do processo decisório.

Gráfico 17 – Intervalos das Constantes de Escala- Dimensão Pessoa

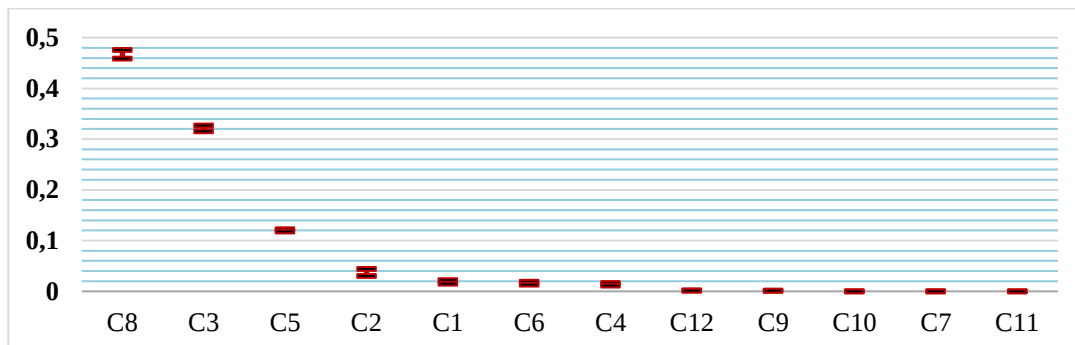


Fonte: O Autor (2020).

Por exemplo, dado o critério C_3 da dimensão Pessoa (Gráfico 17), temos que o valor mínimo da constante de escala é de aproximadamente 0,5483 e o valor máximo em torno de 0,6556, logo, poder-se-ia variar o valor da constante de escala dentro desse intervalo que ainda assim as alternativas continuariam alocadas nas mesmas categorias. No outro extremo, tem-se o critério C_7 , no qual a constante de escala varia entre aproximadamente $[0; 0,00041]$. É importante salientar que esse

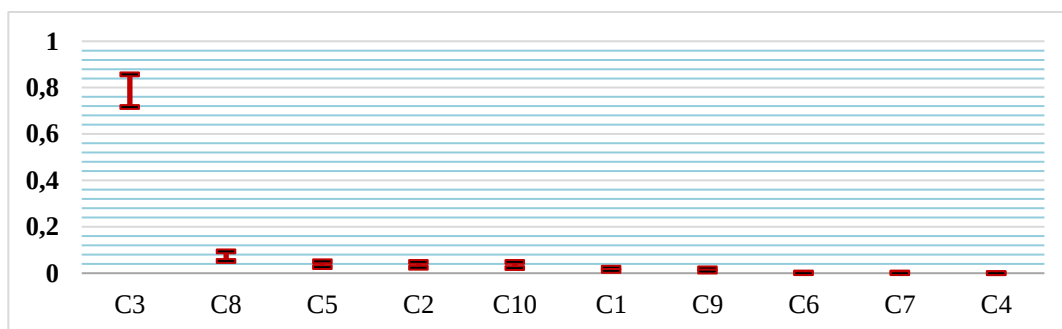
intervalo é muito estreito e pode ser justificado que este foi um critério pouco priorizado pelo decisor.

Gráfico 18 – Intervalos das Constantes de Escala- Dimensão Prosperidade



Fonte: O Autor (2020).

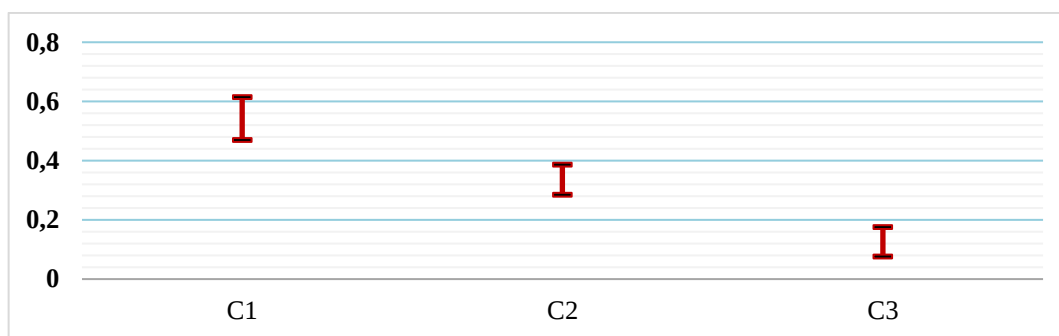
Gráfico 19 – Intervalos das Constantes de Escala- Dimensão Planeta



Fonte: O Autor (2020).

Ademais, pode-se concluir que quanto maior a extensão desse intervalo, maior a robustez do resultado. Nota-se, graficamente, que essa faixa de variação é estreita para quase todos os critérios das dimensões analisadas, exceto a de Governança (Gráfico 20). Tal fato é decorrente do número de alternativas que necessitaram ser alocadas, da quantidade de critérios que compõem o modelo e, principalmente, pela proximidade dos valores dos critérios que as alternativas apresentavam (performance das alternativas).

Gráfico 20– Intervalos das Constantes de Escala- Dimensão Governança



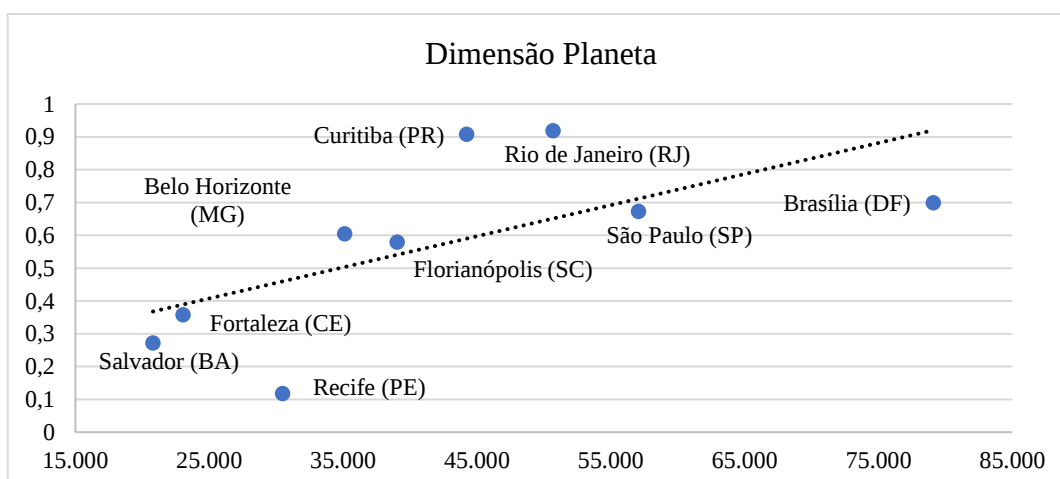
Fonte: O Autor (2020).

Como prova disso, tem-se que o decisor precisou responder muitas questões para definir esses intervalos: 26 para a dimensão de Pessoas, 28 para Prosperidade, 33 para Planeta, exceto Governança que foi apenas 5 questões. Por esses motivos, ainda assim, é considerável o resultado, pois variando dentro destas faixas, as recomendações permanecem as mesmas.

4.5 RELAÇÃO DOS DESEMPENHOS DAS CIDADES COM FATORES LOCAIS

Visando identificar se fatores como tamanho populacional, extensão territorial e se o Produto Interno Bruto (PIB) *per capita* influenciava no desempenho das cidades, análises de correlação levando em consideração a média das funções valor global de cada dimensão foram realizadas.

De todos os aspectos analisados, apenas o PIB para a dimensão planeta apresentou um coeficiente de correlação de *Pearson* estaticamente significativo (com $\alpha=0,05$ e valor de aproximadamente 0,720). Salienta-se que as cidades de Recife e Curitiba foram retiradas da amostra para o cálculo devido a sua discrepância. O valor do coeficiente de correlação anterior era de 0,632. O Gráfico de dispersão a seguir ajuda na identificação do comportamento das capitais perante os dois fatores.

Gráfico 21– Gráfico de Dispersão PIB per capita versus desempenho na dimensão *Planeta*

Fonte: O Autor (2020).

As dimensões Pessoa, Prosperidade e Governança apresentaram para esse fator um coeficiente de *Pearson* de 0,24; 0,004; -0,025, respectivamente.

Os demais fatores, referentes a tamanho populacional e extensão territorial, não demonstraram significância na relação de correlação entre os desempenhos das capitais nas outras dimensões, conforme Tabela abaixo:

Tabela 20 - Análises de correlação

Dimensão	Coeficiente de <i>Pearson</i> com $\alpha=0,05$		
	Extensão Territorial	Tamanho Populacional	Produto Interno Produto <i>per capita</i>
Pessoa	0,068	-0,425	0,240
Planeta	0,289	0,325	0,720
Prosperidade	-0,422	-0,054	0,004
Governança	0,169	-0,4813	-0,025

Fonte: O Autor (2020).

4.6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

A partir dos resultados apresentados constatou-se que, no que concerne a dimensão Pessoa, a região Sul do Brasil obteve a melhor performance, haja vista que 100% das capitais analisadas foram classificadas na categoria de maior

impacto, a CAT3. Além disso, Brasília, a única representante da região Centro-Oeste, também foi alocada a esta categoria. Ressalta-se que o destaque positivo desta seção é a capital Florianópolis, cujo desempenho obtido foi superior a 87%.

Ademais, a região Sudeste do país não apresentou um comportamento regular, ao ter uma capital pertencente a cada uma das três categorias previamente definidas. Belo Horizonte, São Paulo e Rio de Janeiro foram classificadas, respectivamente, na CAT3, CAT2 e CAT1.

O Recife foi a cidade do Nordeste mais bem avaliada nesta categoria, com desempenho superior a 59%. Todavia, ele foi classificado na categoria intermediária, juntamente com Salvador. Fortaleza, em conjunto com a cidade do Rio de Janeiro, apresentaram os piores resultados da amostra, com resultado inferior a 30%, sendo classificadas, portanto, na CAT1.

É importante frisar que aspectos relacionados a qualidade de vida, como saúde, moradia, segurança e educação foram abordados nesta dimensão. Desta forma, as capitais classificadas na categoria de menor empenho devem se posicionar estrategicamente na busca por ações que melhorem seu desempenho, ao passo que as cidades classificadas na CAT3 demonstram um bom engajamento sob esses aspectos e devem manter e/ou aperfeiçoar as práticas adotadas.

Em relação a dimensão Prosperidade, cujo enfoque é voltado para questões de tecnologia, inovação e atratividade local, foi constatado o pior desempenho global das cidades em relação as demais dimensões. Acredita-se que esse resultado seja esperado, tendo em vista que grande parte dos países emergentes, como o Brasil, apresenta um déficit nesse segmento.

Cerca de 33,33% das capitais avaliadas neste estudo apresentaram desempenho em um intervalo inferior a 20%, sendo representadas em 66,67% pelas capitais do Nordeste. Apenas a cidade do Recife, pertencente a região, não foi alocada a esta categoria. Não obstante, a capital apresentou desempenho inferior à 44% em relação a consequência hipotética de melhor compromisso, requerendo medidas que melhorem seu desempenho.

As capitais do Sudeste e Sul apresentaram os melhores resultados da amostra por serem classificadas nas categorias 2 e 3. No entanto, apenas a cidade de Belo Horizonte obteve um desempenho superior a 70%, sendo alocada, unicamente, para a categoria de melhor empenho. No outro extremo, Salvador,

Brasília e Fortaleza exibiram os piores resultados e, por conseguinte, foram designadas à categoria 1.

No tocante a dimensão Planeta, cujo enfoque está direcionado para avaliar questões socioambientais, como emissão de poluição, mitigação de consumo naturais e acesso a saneamento básico, foi ratificado melhores resultados para as cidades do Sul, Sudeste e Centro-Oeste.

Duas capitais, Curitiba e Rio de Janeiro, foram alocadas para a categoria 3 apresentando desempenho superior a 84%. Na categoria intermediária apresentou-se as demais cidades da região Sul e Sudeste, além da presença de Brasília e Fortaleza, sendo esta última, a cidade do Nordeste mais bem avaliada nesse segmento. Entretanto, destaca-se que o desempenho desta capital é inferior a 36%. Além disso, Salvador e Recife compõem as demais cidades dessa região e apresentam resultados inferiores a 28% e 13%, respectivamente, sendo as únicas representantes da categoria 1.

A dimensão Planeta foi a única a possuir uma relação de correlação com o PIB per capita. Constatou-se que as capitais mais ricas, localizadas na região Sul, Sudeste e Centro-Oeste, tendem a ter uma classificação melhor do que outras cidades situadas na região Nordeste. Uma possível explicação para determinado fenômeno é de que as cidades mais ricas acabam investindo em iniciativas e projetos que não se limitam apenas a questões básicas de desenvolvimento, o que geralmente é o foco de cidades locais menos desenvolvidas.

Salienta-se que o resultado de correlação de aspectos envolvendo questões socioambientais estão em consonâncias com resultados encontrados em outros estudos, como Siemens (2009) e Akande et al. (2019).

Já em relação a dimensão Governança, que avalia aspectos relacionados a transparência do governo local e engajamento cívico da população, a cidade do Recife obteve o melhor desempenho da amostra, sendo classificada juntamente com Brasília e Curitiba na categoria de maior empenho. Ressalta-se que esta foi a única dimensão na qual a Região do Nordeste apresentou um resultado de destaque positivo e não houveram representantes na CAT1. As demais cidades da região alcançaram uma performance superior a 54% da consequência hipotética maximizada.

Por outro lado, a cidade do Rio de Janeiro obteve o pior resultado neste cenário, com desempenho inferior a 16%, sendo a única capital a ser enquadrada na categoria1. Belo Horizonte e São Paulo apresentam desempenho intermediário, em conjunto com a cidade de Florianópolis.

5 CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Esta seção é composta pelas principais conclusões acerca do estudo realizado, bem como as limitações encontradas durante o seu desenvolvimento e algumas sugestões para a realização de trabalhos futuros.

5.1 CONCLUSÕES

Os problemas urbanos e ambientais acarretados pelo rápido crescimento populacional nas cidades fizeram com que estratégias fossem criadas para a mitigação de seus impactos. O conceito de cidade inteligente e sustentável partiu dessa premissa, surgindo após o encontro de lacunas presentes em duas abordagens: 1- desenvolvimento sustentável, com a falta de adaptação à realidade de uma sociedade altamente multável e tecnológica e 2- cidades inteligentes, com o enfoque voltado quase que exclusivamente para o uso maciço de tecnologia e contribuição questionável à sustentabilidade.

Embora este conceito seja relativamente novo, o seu interesse é de ordem mundial. Governos de múltiplos continentes já demonstraram interesse pela temática, não se limitando apenas aos países desenvolvidos. O Brasil foi um dos exemplos trazidos, ao recentemente anunciar a criação de um Plano Nacional, visando propor diretrizes, meta e estratégias que padronize as cidades inteligentes e sustentáveis no país.

Nesse sentido, este trabalho teve como intuito a realização de uma avaliação multidimensional de algumas capitais brasileiras quanto aos aspectos de uma cidade inteligente e sustentável, por meio da análise de decisão multicritério com enfoque na problemática de classificação. Para tanto, discutiram-se alguns modelos padronizados em relação a aspectos de sustentabilidade e inteligência urbana, selecionando e adaptando o mais equilibrado.

A análise do modelo selecionado fez-se necessária devido as idiossincrasias presentes no cenário brasileiro que não foram consideradas na elaboração do modelo original. Desta forma, com a incorporação e/ou substituição de novos indicadores, a ferramenta tornou-se mais representativa e pode ser aplicada no contexto local.

Diante do modelo adaptado, realizou-se uma nova avaliação para ratificar o seu equilíbrio, concluindo que houveram poucas variações quando se comparado ao modelo original. As alterações que merecem destaque dizem respeito a redução no número de indicadores utilizados, menor proporção entre indicadores que representam a inteligência urbana, ausência de indicadores que representassem a subárea de energia (uma característica observada em outros modelos) e crescimento da utilização de indicadores de impacto.

Quanto a aplicação do modelo, acredita-se que trabalhar com uma abordagem multidimensional, na qual cada área pode ser avaliada por um decisor com *know-how* específico, diminui-se a complexidade do problema que apresentava um grande número de critérios e poucas alternativas. Ademais, julga-se que o número de iterações e o esforço cognitivo foi bem melhor nesta avaliação se comparado com a uma abordagem unidimensional.

Outro aspecto positivo dessa abordagem diz respeito a uma maior disponibilidade de informações aos tomadores de decisão. É possível, a partir da análise, conhecer os aspectos que requerem mais atenção para o desenvolvimento de planos e estratégias no tocante as dimensões Pessoa, Planeta, Prosperidade e Governança, ao invés de uma classificação única que agrega todas essas informações. Para além disso, com base nas classificações, o Governo Federal poderá priorizar e proporcionar a alocação de recursos para os conjuntos de capitais avaliadas.

Após a avaliação de decisão multicritério das capitais, constatou-se que nenhuma cidade da amostra fora classificada na categoria 3 em todas as dimensões. A cidade de Curitiba foi alocada na CAT3 em três segmentos: Pessoa, Planeta e Governança e na categoria intermediária na dimensão de Prosperidade. Desta forma, tornou-se evidente que, mesmo a cidade apresentando a melhor classificação geral, existem práticas adotadas pela capital de Belo Horizonte, classificada nesta dimensão na categoria 3, que podem ser implementadas em Curitiba para melhorar sua *performance*.

Do mesmo modo que a cidade do Rio de Janeiro apresentou uma baixa classificação nas dimensões de Pessoa e Governança, mas, que em contrapartida, foi alocada para a categoria 3 na dimensão Planeta. Assim, as suas ações podem

servir como referências para as demais capitais que obtiveram uma *performance* inferior nesta dimensão.

É importante frisar que as capitais demonstraram um maior *déficit* na dimensão Prosperidade, evidenciando que este segmento requer um maior engajamento por parte dos gestores e planejadores de cidades. Desta forma, a maior fragilidade apresentada pelas capitais do estudo é em relação ao acesso e desenvolvimento de tecnologia, inovação, atratividade local e questões econômicas.

Por outro lado, os municípios obtiveram um melhor resultado na dimensão de Governança. Não obstante, ressalta-se que esta categoria foi avaliada por um menor número de indicadores quando se comparada com as demais.

De um modo geral, as capitais da Região Nordeste, representadas por Fortaleza, Recife e Salvador, apresentaram um desempenho inferior em relação as cidades de outras regiões. Assim, as estratégias que o Plano Nacional visa desenvolver deve levar em consideração essas peculiaridades. Dicotomicamente, os municípios do Sul e alguns do Sudeste demonstraram estar em um estágio mais desenvolvido no tocante as dimensões de uma cidade inteligente e sustentável.

Ademais, conclui-se que o tamanho territorial e a faixa populacional de uma cidade não interferem nos resultados alcançados pelas capitais. Tal constatação fora verificada em todas as dimensões analisadas. Não obstante, observou-se uma correlação entre o PIB *per capita* e o desempenho das cidades na dimensão Planeta, evidenciando que as capitais mais ricas possuem um maior engajamento neste segmento do que as capitais menos desenvolvidas.

Por fim, acredita-se que a avaliação realizada por esse estudo possa servir como ferramenta de apoio no processo decisório para gestores, planejadores de cidades e entidades do segmento privado, na busca por estratégias de desenvolvimento em relação a temática referida, além de colaborar para mitigação da lacuna encontrada na literatura.

5.2 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

O estudo realizado apresentou algumas limitações, a saber:

- a) Dificuldade na ponderação entre o número de cidades presente na amostra *versus* número de critérios utilizados. Alguns capitais apresentavam um número x de critérios, enquanto outras apresentavam uma quantidade $x+1$, o

principal entrave encontrado foi na maximização entre o número e a representatividade das cidades e a quantidade e importância dos critérios a serem utilizados.

- b) Outro aspecto limitante da pesquisa foi quanto a parâmetros dos dados utilizados. A indisponibilidade, a qualidade e “idade” dos dados, foram fatores que reduziram a quantidade de critérios utilizados no problema. Dos 75 indicadores presentes no modelo original, apenas 35 foram utilizados, incluído as ponderações realizadas.
- c) Quase 49% dos indicadores utilizados foram do tipo de impacto. Seria interessante utilizar um mix mais variado quanto ao tipo de indicador.

5.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Algumas sugestões para a elaboração trabalhos de futuros são expostas a seguir:

- a) Desenvolvimento de um modelo conceitual que leve em consideração as idiossincrasias de países emergentes que não foram abordadas neste trabalho.
- b) Desenvolvimento de *software* que permita aos gestores municipais avaliar a evolução apresentada em cada indicador apresentado e direcioná-los em priorização de investimentos.
- c) A metodologia aplicada pode se estender a avaliação de outras cidades brasileiras, bem como de outros países.
- d) O modelo utilizado como base traz alguns indicadores de percepção dos cidadãos que podem ser empregados em outros estudos.
- e) Pode-se fazer o uso de um mix de indicadores de diferentes modelos e depois avaliar o equilíbrio desse conjunto de indicadores.
- f) Para um maior número de cidade, pode-se realizar uma análise de correlação espacial.

REFERÊNCIAS

- AHVENNIEMI, H.; HUOVILA, A.; PINTO-SEPPÄ, I.; AIRAKSINEN, M. What are the differences between sustainable and smart cities? **Cities**, v. 60, p. 234–245, 2017.
- AKANDE, A.; CABRAL, P.; GOMES, P.; CASTELEYN, S. The Lisbon ranking for smart sustainable cities in Europe. **Sustainable Cities and Society**, v. 44, p. 475–487, 2019.
- ALMEIDA, A.T. **Processo de decisão nas organizações: construindo modelos de decisão multicritério**. São Paulo, Atlas, p. 231, 2013.
- ALMEIDA, A.T.; ALMEIDA, J.A.; COSTA, A.P. C.S.; ALMEIDA-FILHO, A.T. A New Method for Elicitation of Criteria Weights in Additive Models: Flexible and Interactive Tradeoff. **European Journal of Operational Research**, 250(1): 179-191, 2016.
- AL-NASRAWI, S.; ADAMS, C.; EL-ZAART, A. A conceptual multidimensional model for. **Journal of Information Systems and Technology Management**, v. 12, n. 3, p. 541–558, 2015.
- AMERI, R. ; COCCHIA, A. Smart City and digital city: twenty years of terminology evolution. **X Conference of the Italian Chapter of AIS**, p. 1–6, 2013.
- ANGELIDOU, M. Smart city policies: a spatial approach. **Cities**, v. 41, p. S3–S11, 2014.
- BELTON, V.; STEWART, T. **Multiple criteria decision analysis: an integrated approach**. Berlim: Springer, 2002. 372p.
- BIBRI, S. E., BARDICI, V. The Sustainability of eco-city model of sustainable urban form: green and energy efficiency technology-related framing and selectivity issues in eco-city projects in Stockholm. **International Journal of Architectural and Environmental Engineering**, vol. 2, no. 5, pp. 1–20, 2015.
- BIBRI, S. E.; KROGSTIE, J. Smart sustainable cities of the future : An extensive interdisciplinary literature review. **Sustainable Cities and Society**, v. 31, p. 183–212, 2017.
- BIBRI, S.E; KROGSTIE, J. ICT of the new wave of computing for sustainable urban forms: Their big data and context-aware augmented typologies and design concepts **Sustainable Cities and Society**. v.31, p. 183-212, 2017.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **MCTIC vai padronizar cidades inteligentes e debater soluções**. Brasília: MCTIC, 2019. Disponível em: http://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/salaImprensa/noticias/arquivos/2019/07/MCTIC_vai_padronizar_Cidades_Inteligentes_e_debater_solucoes.html?searchRef=cidades%20inteligentes&tipoBusca=expressaoExata. Acesso em: 18 ago. 2019.

CARLI, R.; DOTOLI, M.; PELLEGRINO, R. Multi-criteria decision-making for sustainable metropolitan cities assessment. **Journal of Environmental Managemet.** v. 226, n. July, p. 46–61, 2018.

CAVADA, M.; TIGHT, M. R.; ROGERS, C. D. F. A smart city case study of Singapore—Is Singapore truly smart? *In*: **Smart City Emergence**. Amsterdã: Elsevier Inc., 2019. p. 295–314.

CHANG, D. L.; SABATINI-MARQUES, J.; MOREIRA, E.; SELIG, P. M.; YIGITCANLAR, T. Knowledge-based , smart and sustainable cities : a provocation for a conceptual framework. **Journal of Open Innovation: technology, market, and complexity**, v. 4, n. 5, p. 1–17, 2018.

CHEN, T. M. Smart grids, smart cities need better networks (ed.). **IEEE Network**, v. 24, p. 2–3, 2010.

CLARKE, R. Y. Measuring Success in the Development of Smart and Sustainable Cities. **Springer**, p. 239–254, 2017.

CLIMATE. **Dados climáticos para cidades mundiais**. 2019. Disponível em: < <https://pt.climate-data.org/> >. Acesso em: 20 de set. 2019.

COLDING, J.; BARTHEL, S. An urban ecology critique on the “Smart City” model. **Journal of Cleaner Production**. v.164, p. 95-101,2017.

CONSELHO FEDERAL DE ADMINISTRAÇÃO. **Índice CFA de Governança Municipal – IGM-CFA: ranking dos grupos IGM - CFA 2018**. 2018. Disponível em: <http://igm.cfa.org.br/ranking-grupo-1/reset:true>. Acesso em: 9 set. 2019.

COSTA, E. M.; OLIVEIRA, Á. D. **Oxford Handbooks Online Humane Smart CitiesThe Oxford Handbook of Interdisciplinarity**. [s.l: s.n.].

DAMERI, R. P. **Smart City Implementation: Creating Economic and Public Value in Innovative Urban Systems**. Springer, Italy, 2017.

DATA SUS. **Índice de Gini da Renda Domiciliar Per Capita - Brasil**. 2000. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/ibge/censo/cnv/ginibr.def>. Acesso em: 1 set. 2019.

DATA SUS. **Tecnologia da Informação a Serviço do SUS**. 2017. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?sim/cnv/ext10br.de>. Acesso em: 15 set. 2019.

DOUMPOS, M.; ZOPOUNIDIS, C. A multicriteria classification approach based on pairwise comparisons. **European Journal of Operational Research**, v.158, n.2, p. 378–38, 2004.

e-GESTOR ATENÇÃO BÁSICA. **Cobertura da Atenção Básica**. 2019. Disponível em:<https://egestorab.saude.gov.br/paginas/acessoPublico/relatorios/relHistoricoCoberturaAB.xhtml>. Acesso em: 15 de set. 2019.

ENDEAVOR BRASIL. **Índice de cidades empreendedoras**. 2017. Disponível em: <https://d335luupugsy2.cloudfront.net/cms/files/6588/1512651268AF-REAL-ICE-2017-web.pdf> >. Acesso em: 1 set. 2019.

EUROPEAN STANDARDS ORGANIZATION WITH GLOBAL IMPACT- ETSI. **About ETSI**. 2019. Disponível em: <https://www.etsi.org/about>. Acesso em: 2 fev. 2019.

EUROPEAN STANDARDS ORGANIZATION WITH GLOBAL IMPACT. **Key performance indicators for sustainable digital multiservice cities**. France: ETSI, 2017.

FÓRUM BRASILEIRO DE SEGURANÇA PÚBLICA. **Anuário brasileiro de segurança pública 2018**. 2018 Disponível em: <http://www.forumseguranca.org.br/wp-content/uploads/2019/03/Anuario-Brasileiro-deSeguran%C3%A7aP%C3%BAblica-2018.pdf>. Acesso em: 18 set. 2019.

FREJ, E. A.; ALMEIDA, A. T. DE; MORAIS, D. C. Using FITradeoff for Supporting a Decision Process of a Multicriteria Decision Problem. *In: Multiple Criteria Decision Making and Aiding*. Basel, CH: Springer Nature Switzerland AG, 2019. p. 257–280.

GHARAIBEH, A.; SALAHUDDIN, M. A.; HUSSINI, S. J.; KHREISHAH, A.; KHALIL, I.; GUIZANI, M.; AL-FUQAHA, A. Smart Cities : A Survey on Data Management , Security , and Enabling Technologies. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 19, n. 4, p. 2456–2501, 2017.

GIBSON, E.J. **Working with the performance approach in building**. v.64, Netherlands, 1992.

GIFFINGER, R.; FERTNER, C.; KRAMAR, H.; KALASEK, R.; MILANOVIĆ, N. P.; EVERT, M. **Smart cities**: Ranking of European medium-sized cities. Vienna: University of Technology, 2007.

GIL, A. C. **Como elaborar projeto de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

HALL, P., PFEIFFER, U. **Urban future 21**: A global agenda for twenty-first century cities. Routledge, 2000.

HAN, H.; HAWKEN, S. City , Culture and Society Introduction : Innovation and identity in next-generation smart cities. **City, Culture and Society**, v. 12, p. 1–4, 2018.

HARRISON, C.; ECKMAN, B.; HAMILTON, R.; HARTSWICK, P.; KALAGNANAM, J.; PARASZCZAK, J.; WILLIAMS, P. Foundations for Smarter Cities. **IBM Journal of Research and Development**, v. 54, n. 4, p. 1–16, 2010.

HÖJER, M.; WANGEL, J. Smart sustainable cities: definition and challenges ICT innovations for sustainability. **Advances in Intelligent Systems and Computing**. Springer, v.310, p. 333-349, Cham, 2015.

HOLLANDS, R.G. Critical interventions into the corporate smart city **Journal of Regions, Economy and Society**.v 8, n.1, p. 61-77, 2015.

HUOVILA, A.; BOSCH, P.; AIRAKSINEN, M. Comparative analysis of standardized indicators for Smart sustainable cities: What indicators and standards to use and when? **Cities**, v. 89, p. 141–153, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. **Conheça Cidades e Estados do Brasil**. 2010. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/> >. Acesso em: 18 de set. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Demografia das Empresas e Estatísticas de Empreendedorismo**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/downloadsestatisticas.html?caminho=Trabalho_e_Rendimento/Pesquisa_Nacional_por_Amostra_de_Domicilios_continua/AnualMicrodados/Dados. Acesso em: 25 set. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua**: Acesso à Internet e à televisão e posse de telefone móvel celular para uso pessoal. Rio de Janeiro: IBGE, 2017a. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/17270-pnad-continua.html?edicao=23205&t=resultados>. Acesso em: 18 set. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/downloadsestatisticas.html?caminho=Trabalho_e_Rendimento/Pesquisa_Nacional_por_Amostra_de_Domicilios_continua/AnualMicrodados/Dados. Acesso em: 25 set. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sinopse do Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9662-censo-demografico-2010.html?edicao=9673&t=sobre>. Acesso em: 5 set. 2019.

INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL. **Lista de bens tombados processos em andamento**. Brasília: IPHAN, 2018. Disponível em: http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Lista_bens_tombados_processos_andamento_2018. Acesso em: 16 set. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA. **IDEB - resultados e metas**. Brasília: INEP, 2017. Disponível em: <http://ideb.inep.gov.br/>. Acesso em: 14 set. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA. **Microdados**. Brasília: INEP, 2018. Disponível em: <http://portal.inep.gov.br/web/guest/microdados>. Acesso em: 14 set. 2019.

INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION. **ISO is an independent, non-governmental international organization with a membership of 164 national standards bodies**. 2019. Disponível em: <https://www.iso.org/about-us.html>. Acesso em: 25 abr. 2019.

INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION. **ISO/DIS 37122 Sustainable cities and communities**: Indicators for smart cities, 2018.

INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION- ITU. **Evaluation and assessment Key performance indicators for smart sustainable cities to assess the achievement of sustainable development goals.** 2016d.

INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION- ITU. **Key performance indicators related to the use of information and communication technology in smart sustainable cities.** 2016b.

INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION- ITU. **Key performance indicators related to the sustainability impacts of information and communication technology in smart sustainable cities.** 2016c.

INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION- ITU. **Overview of key performance indicators in smart sustainable cities.** 2016a.

JONG, M.; JOSS, S.; SCHRAVEN, D.; ZHAN, C.; WEIJNEN, M. Sustainable–Smart–Resilient–Low Carbon–Eco–Knowledge Cities; Making sense of a multitude of concepts promoting sustainable urbanization. **Journal of Cleaner Production**, p. 1–35, 2015.

KANG, T. H. A. **Problemática de Classificação com o FITradeoff e Alocação de Recursos em Sistemas de Energia Elétrica.** Recife, 2018. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP), Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, 2018.

KANG, T. H. A.; DE ALMEIDA, A. T. Método fitradeoff para problemática de classificação. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 49., 2017, Blumenau. **Anais** [...]. Blumenau: SBPO, 2017.

KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. **Decisions with multiple objectives:** preferences and value trade-offs. New York: John Wiley & Sons, 1976.

KHAN, S.; ZAMAN, A. U. Future cities : Conceptualizing the future based on a critical examination of existing notions of cities. **Cities**, v. 72, p. 217–225, 2018.

KRAMERS, A.; HÖJER, M.; LÖVEHAGEN, N. Environmental Modelling & Software Smart sustainable cities e Exploring ICT solutions for reduced energy use in cities q. **Environmental Modelling & Software**, p. 1–11, 2014.

MARCHETTI, D.; OLIVEIRA, R.; RODER, A. Are global north smart city models capable to assess Latin American cities? A model and indicators for a new context. **Cities**, v. 92, p. 197–207, 2019.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MILOŠEVIC, M. R.; MILOŠEVIC, D. M.; STEVIC, D. M.; STANOJEVIĆ, A. D. Smart City : Modeling Key Indicators in Serbia Using IT2FS. **Sustainability**, v. 11, 2019.

MOHANTY, S. P.; CHOPPALI, U.; KOUIGIANOS, E. Everything You About Smart Cities. **IEEE Consumer Electronics Magazine**, v. 5, n. JULY 2016, p. 60–70, 2016.

MORA, L.; BOLICI, R.; DEAKIN, M. The first two decades of smart-city research: a bibliometric analysis the first two decades of smart-city research. **Journal of Urban Technology**, p. 1–25, 2017.

NAM, T.; PARDO, T. A. Conceptualizing Smart City with Dimensions of Technology , People , and Institutions. **12th Annual International Conference on Digital Government Research**, p. 282–291, 2011.

NANGINI, C.; PEREGON, A.; CIAIS, P.; WEDDIGE, U.; VOGEL, F.; WANG, J.; BRÉON, F.; BACHRA, S.; WANG, Y.; GURNEY, K.; YAMAGATA, Y.; APPLEBY, K.; TELAHOON, S.; CANADELL, J. G; GRÜBLER, A.; DHAKAL, S.; CREUTZIG, F. **CO2 emissions and ancillary data for 343 cities from diverse sources**. PANGAEA, 2017.

NOY, K.; GIVONI, M. Is ‘ Smart Mobility ’ Sustainable ? Examining the Views and Beliefs of Transport ’ s Technological Entrepreneurs. **Sustainability**, 2018.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Department of Economic and Social Affairs. Population Division. **World Urbanization Prospects: The 2018 Revision**. New York: ONU, 2019.

PORTAL DA TRANSPARÊNCIA. **Escala Brasil transparente**. 2018. Disponível em: <http://transparencia.gov.br/brasiltransparente?ordenarPor=posicao&direcao=asc>. Acesso em: 1 set. 2019.

PREFEITURA DE FORTALEZA. **3º Inventário de Emissões de GEE de Fortaleza**. Canal Urbanismo e Meio Ambiente, 2015. Disponível em: < <https://urbanismoemeioambiente.fortaleza.ce.gov.br/urbanismo-e-meio-ambiente/571-inventarios-de-emissoes-de-gases-do-efeito-estufa-gee> >. Acesso em: 09 de set. 2019.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. DE. **Metodologia do trabalho científico : métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

RAMSAR. **Background and context to the development of principles and guidance for the planning and management of urban and periurban wetlands**. Bucharest, 2012.

RANA, N. P.; LUTHRA, S.; MANGLA, S. K.; ISLAM, R.; RODERICK, S; DWIVEDI, Y. K. Barriers to the Development of Smart Cities in Indian Context. **Information Systems Frontiers**, v. 21, p. 503–525, 2019.

RATHORE, M. M. et al. Urban planning and building smart cities based on the Internet of Things using Big Data analytics. **Computer Networks**, v. 101, p. 63–80, 2016.

RIVERA, M. B.; ERIKSSON, E.; WANGEL, J. ICT practices in smart sustainable cities: In the intersection of technological solutions and practices of everyday life. **International Conference on Informatics for Environmental Protection**, p. 317–324, 2015.

ROY, B. **Multicriteria Methodology for decision Aiding**. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1996.

SHARIFI, A. A critical review of selected smart city assessment tools and indicator sets. **Journal of Cleaner Production**, v. 233, p. 1269–1283, 2019.

SHEN, L.; HUANG, Z.; WONG, S. W.; LIAO, S.; LOU, Y. A holistic evaluation of smart city performance in the context of China. **Journal of Cleaner Production**, v. 200, p. 667–679, 2018.

SHMELEV, S. E.; SHMELEVA, I. A. Global urban sustainability assessment: A multidimensional approach. **Sustainable Development**, p. 904–920, 2018.

SHMELEV, S. E.; SHMELEVA, I. A. Multidimensional sustainability benchmarking for smart megacities. **Cities**, v. 92, n. April, p. 134–163, 2019.

SIEMENS. **European Green City Index**. Assessing the environmental impact of Europe's major cities. v. 51, 2009.

SILVA, E. L. DA; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed. Florianópolis: UFSC, 2005.

SISTEMA DE INFORMAÇÕES AMBIENTAIS INTEGRADO À SAÚDE AMBIENTAL-SISAM. **Dados Preliminares**. 2015. Disponível em: <http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/sisam/v2/dados/download-de-dadospreliminares/>. Acesso em: 20 set. 2019.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO-SNIS. **Série Histórica**. 2017. Disponível em: <http://app4.cidades.gov.br/serieHistorica/>. Acesso em: 20 set. 2019.

SOBRIE, O.; MOUSSEAU, V.; PIRLOT, M. Learning monotone preferences using a majority rule sorting model. **International Transactions Inoperational Research**, v. 26, p. 1786–1809, 2019.

SPLIET, R.; TERVONEN, T. Preference inference with general additive value models and holistic pair-wise statements. **European Journal of Operational Research**, v. 232, n. 3, p. 607–612, 2014.

TRIBUNAL SUPERIOR ELEITORAL-TSE. **Eleições Municipais 2016**. 2017. Disponível em: <http://divulgacandcontas.tse.jus.br/divulga/#/>. Acesso em: 6 set. 2019.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção**. Itajubá: UNIFEI, 2012.

VINCKE, P. **Multicriteria decision-aid**. Bruxelles: John Wiley & Sons, 1992.

WEBER, M.; BORCHERDING, K. Behavioral influences on weight judgments in multiattribute decision making. **European Journal of Operational Research**, v. 67, n.1, p. 1-12, 1993.

YIGITCANLAR, T. **Technology and the city**: systems, applications and implications. New York: Regions and Cities, 2016.

YIGITCANLAR, T.; KAMRUZZAMAN, M.; FOTH, M.; SABATINI, J.; DA COSTA, E.; IOPPOLO, G . Can cities become smart without being sustainable? A systematic review of the literature. **Sustainable Cities and Society**, 2018.

ZELENY, M. **Multiple criteria decision making**. New York: MacGraw-Hill, 1982.