

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
DOUTORADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**FRANCIELY VELOZO ARAGÃO**

**MODELO DE MATURIDADE PARA *SMART CITIES*: UMA  
ABORDAGEM MULTICRITÉRIO**

**TESE**

**PONTA GROSSA  
2020**

**FRANCIELY VELOZO ARAGÃO**

**MODELO DE MATURIDADE PARA SMART CITIES: UMA ABORDAGEM  
MULTICRITÉRIO**

**Smart Cities Maturity Model: A Multicriteria Approach**

Tese apresentada como requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. João Carlos Colmenero.

**PONTA GROSSA**

**2020**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite que outros remixem, adaptem e criem a partir do trabalho para fins não comerciais, desde que atribuam o devido crédito e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



**Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Câmpus Ponta Grossa**



FRANCIELY VELOZO ARAGAO

### **MODELO DE MATURIDADE PARA SMART CITIES: UMA ABORDAGEM MULTICRITÉRIO**

Trabalho de pesquisa de doutorado apresentado como requisito para obtenção do título de Doutora Em Engenharia De Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Gestão Industrial.

Data de aprovação: 27 de Novembro de 2020

Prof Joao Carlos Colmenero, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Aldo Braghini Junior, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Cassiano Moro Piekarski, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Eduardo De Freitas Rocha Loures, Doutorado - Pontifícia Universidade Católica do Paraná (Pucpr)

Prof Jose Luiz Miotto, Doutorado - Universidade Estadual de Maringá (Uem)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 10/12/2020.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, por me ajudar a superar todos os obstáculos em meu caminho. Agradeço a minha família e ao meu grande incentivador Luis Henrique por todo apoio, dedicação, carinho e por sempre compreenderem minha ausência. Agradeço ao Prof. João Carlos pela orientação, paciência e conhecimento transmitido. Agradeço aos meus amigos Daiane, Pedro e Tamires por todo apoio. E, por fim, agradeço a minha grande amiga Fernanda, que tive o privilégio de compartilhar essa jornada, obrigada por ser meu braço direito.

“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo”. (Albert Einstein)

## RESUMO

ARAGÃO, Franciely Velozo. **Modelo de Maturidade para *Smart Cities*: Uma abordagem multicritério**. 2020. 105 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2020.

O conceito de cidades inteligentes vem ganhando grande relevância ao longo dos últimos anos. Gestores públicos vêm planejando investimentos com o objetivo de evoluir suas cidades para uma *Smart Cities*. Alguns modelos de maturidade auxiliam os gestores a monitorar o desempenho de indicadores urbanos, no entanto, nem sempre estes modelos de maturidade são capazes de cumprir seus objetivos propostos. Nesse sentido, este trabalho teve por objetivo desenvolver um modelo de maturidade que permite mensurar a “*smartness*” de uma cidade com base em indicadores sociais e tecnológicos. O procedimento metodológico deste estudo se baseia em uma estrutura matemática híbrida do método para isso uma alteração no método Topsis se fez necessária, ao contrário da função original do método que é ranquear as alternativas, aqui ele foi utilizado para gerar um indicador sintético denominado Índice *Smart* que indica o nível de maturidade da Cidade Real. Para que essa alteração fosse possível, as alternativas denominadas Cidade Utopica, Cidade de Referência e Cidade Limite são fixas pois balizam o nível de maturidade *smart* da Cidade Real. Como resultados, a pesquisa definiu as variáveis do Modelo de Maturidade *Smart Cities* (MMSC) por meio das ISO's 37153:2017, 37120:2018. A aplicação a estrutura matemática permitiu identificar o nível de maturidade de uma Cidade Real em relação a sua *smartness* por meio do Índice *Smart* gerado, neste estudo a cidade analisado foi Londres, a mesma apresenta nível de maturidade 3, ou seja, ela é considerada uma cidade inteligente que atende as necessidades atuais.

**Palavras-chave:** Cidade Inteligente. Modelo de Maturidade. TOPSIS. Indicador Sintético.

## ABSTRACT

ARAGÃO, Franciely Velozo. **Smart Cities Maturity model: A Multicriteria approach**. 2020. 105 p. Thesis (Doctorate in Course Name) – Federal University of Technology – Paraná. Ponta Grossa, 2020.

The concept of smart cities has gained great relevance over the past few years. Public managers have been planning investments to develop their cities into a Smart Cities. Some maturity models help managers to monitor the performance of urban indicators, however, these maturity models are not always able to meet their proposed objectives. In this sense, this work aimed to develop a maturity model that allows measuring the “smartness” of a city based on social and technological indicators. The methodological procedure of this study is based on a hybrid mathematical structure of the TOPSIS-Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution method, for which a change in the Topsis method was necessary, unlike the original function of the method that is to rank the alternatives, here it was used to generate a synthetic indicator called Index Smart that indicates the maturity level of the Real City. For this change to be possible, the alternatives called Utopian City, Reference City and Limit City are fixed because they mark the maturity level smart of the Real City. As a result, the research defined the variables of the Maturity Model Smart Cities - MMSC through ISO's 37153: 2017, 37120: 2018. The application of the mathematical structure allowed to identify the level of maturity of a Real City about its smartness utilizing the generated index Smart, in this study the city analyzed was London, it has a level of maturity 3 , that is, it is considered a smart city that meets current needs.

**Keywords:** Smart Cities. Maturity Model. TOPSIS. Index.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Integração dos indicadores da ISO 37120 com as demais normas em elaboração pelo ISO/TC 268 . . . . .	17
Figura 2 – Processo de Desenvolvimento de Modelos de Maturidade . . . . .	24
Figura 3 – Princípios de Design . . . . .	25
Figura 4 – Detalhamento de Princípios de Design . . . . .	26
Figura 5 – Métodos de Ponderação . . . . .	28
Figura 6 – Métodos de Agregação . . . . .	30
Figura 7 – Métodos multicritérios na construção de indicadores compostos . .	31
Figura 8 – Portfólio bibliográfico . . . . .	32
Figura 9 – Conceito TOPSIS . . . . .	34
Figura 10 – Metodologia . . . . .	36
Figura 11 – Revisão Sistemática . . . . .	37
Figura 12 – Configurações Gerais do MM. . . . .	37
Figura 13 – Identificação da <i>smartness</i> de uma cidade . . . . .	38
Figura 14 – Teste do Modelo de Maturidade . . . . .	40
Figura 15 – Níveis de Maturidade ISO 37153:2017 . . . . .	41
Figura 16 – Variáveis do MNSC . . . . .	43
Figura 17 – Matriz Hierárquica . . . . .	49
Figura 18 – Nível de Maturidade . . . . .	55
Figura 19 – Smart Economy . . . . .	56
Figura 20 – Smart People . . . . .	57
Figura 21 – Smart Living . . . . .	58
Figura 22 – Smart Governance . . . . .	60
Figura 23 – Smart Mobility . . . . .	62
Figura 24 – Smart Environment . . . . .	63
Figura 25 – string de busca e resultado da coleta de dados. . . . .	100
Figura 26 – Autores do portfólio . . . . .	101
Figura 27 – Palavras chaves do portfólio . . . . .	102
Figura 28 – Fluxograma Prisma aplicado no estudo . . . . .	103
Figura 29 – Portfólio de Avaliação . . . . .	103



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valor dos Níveis de Maturidade . . . . .	42
Tabela 2 – Alternativas . . . . .	50
Tabela 3 – Matriz de decisão . . . . .	51
Tabela 4 – Matriz de decisão normalizada . . . . .	52
Tabela 5 – Solução ideal e anti-ideal . . . . .	53
Tabela 6 – Distância das Soluções ideal e anti-ideal . . . . .	54
Tabela 7 – Classificação final . . . . .	54

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>10</b>
1.1	OBJETIVOS	12
1.1.1	Objetivo Geral	12
1.1.2	Objetivos Específicos	12
1.2	JUSTIFICATIVA	12
1.3	DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA	13
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b>	<b>15</b>
2.1	<i>SMART CITIES</i>	15
2.1.1	Padrões de indicadores voltados para cidades inteligentes	16
2.1.2	Estruturas de avaliação voltados para cidades inteligentes	19
2.2	MODELO DE MATURIDADE	22
2.3	ESTRUTURA DE INDICADORES SINTÉTICOS	26
2.4	PROCESSO DE APOIO À DECISÃO MULTICRITÉRIO	33
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>36</b>
3.1	FASE 1 -BASE CONCEITUAL	36
3.2	FASE 2 - CONCEPÇÃO	37
3.3	FASE 3 - APLICAÇÃO	40
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>41</b>
4.1	DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS DO MMSC	41
4.2	APLICAÇÃO DO MODELO DE MATURIDADE PARA <i>SMART CITIES</i>	49
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>66</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>68</b>
	<b>APÊNDICES</b>	<b>99</b>
	<b>APÊNDICE A – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA</b>	<b>100</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O aumento da população nas áreas urbanas, tem levado à inúmeras iniciativas e estudos que visam amenizar os impactos negativos causados por esse crescimento sem planejamento (LIM; KIM; MAGLIO, 2018; LUQUE-AYALA; MARVIN, 2015). Segundo dados da Organização das Nações Unidas), atualmente, a população mundial ultrapassa os 7 bilhões de habitantes, sendo que mais de 55% dessa população residem em áreas urbanas. A ONU projeta que em 2030 a população mundial exceda 8,6 bilhões de pessoas e em 2050 atinja 9,8 bilhões de pessoas, as quais 66% devem residir em áreas urbanas (ECONOMIC; DIVISION, 2006).

Esse crescimento acelerado da população urbana é muito superior em países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento. Essa expansão ocorre, muitas vezes, de forma não planejada e traz uma série de consequências negativas para os centros urbanos, especialmente relacionados à saúde, à segurança, à educação e à mobilidade urbana (BOLÍVAR, 2016; GIL-GARCIA; PARDO; NAM, 2015; BARNS, ; PETTIT; LI-ESKE; JAMAL, 2017). Para solucionar tais problemas é necessário um planejamento para equilibrar as necessidades populacionais com as políticas, tendo como intuito promover um desenvolvimento eficiente para os centros urbanos (PORTO; MACADAR, 2017; ALIZADEH, 2017).

Em consequência da urbanização, que ocorre tipicamente em grande velocidade e de forma pouco planejada, surge um crescente desequilíbrio entre as necessidades da população e a capacidade da gestão pública de promover um desenvolvimento ordenado nos centros urbanos. Esse equilíbrio somente é satisfeito por meio da troca de informações entre os sistemas de atendimento à população que acontece a partir da integração de dados entre sistemas de saúde, de segurança pública, de educação e de transporte, surgindo assim o conceito de *Smart Cities* (CAPDEVILA; ZARLENGA, 2015; HATUKA et al., 2018; NATIONS, 2015; KUMMITHA; CRUTZEN, 2017).

Os gestores das cidades recentemente se conscientizaram desse conceito, produzindo dados para o desenvolvimento de estratégias de gerenciamento inteligente, na utilização de seus recursos de forma mais eficiente, com o intuito de minimizar os custos e desperdícios que a vida urbana gera, também em termos de bem-estar e inclusão (SANSEVERINO, 2017; PINNA; MASALA; GARAU, 2017; KUMMITHA; CRUTZEN, 2017; CARAGLIU; BO; NIJKAMP, 2011).

Nesse sentido, uma cidade pode ser considerada inteligente quando combina fatores institucionais, tecnológicos e humanos e utiliza um conjunto de ferramentas de práticas "inteligentes" para gerenciar sua governança, serviços, dados e sistemas em toda a cidade, de maneira colaborativa e digital (ISO, 2018b; JOSS SIMON E SEN-

GERS, ; CARAGLIU ANDREA E DEL BO, 2019; TRENCHER GREGORY E KARVONEN, 2019).

Para Neirotti et al. (2014), Soyata et al. (2019), Praharaj e Han (2019), Zhu, Li e Feng (2019) iniciativas *smart* precisam ser implementadas por meio de um plano de ação, para que o seu monitoramento seja efetivo e melhorias possam ser aplicadas, pois acompanhar o aumento da urbanização e administrar os recursos e infraestrutura englobados em um espaço urbano, representa um sério desafio para os gestores urbanos.

Dessa forma, as cidades precisam de uma referência confiável para medir seu desempenho. Atualmente, cidades ao redor do mundo adotam estratégias para se tornarem mais sustentáveis, resilientes e inteligentes. Mas como monitorar o comportamento dessas estratégias ao longo do tempo e como monitorar sua efetividade para cidades de diferentes portes? Ainda é um questionamento entre os estudiosos do tema *smart cities* (MATTONI; GUGLIERMETTI; BISEGNA, 2015; FERNÁNDEZ-GÜELL et al., 2016; ALLAM; DHUNNY, 2019; PRAHARAJ; HAN, 2019).

Para apoiar iniciativas *smart city*, diferentes instrumentos são utilizados para facilitar esse processo, sendo um deles o Modelo de Maturidade ( (NAPHADE et al., 2011; SHARIFI, 2019; CAIRD; HALLETT, 2019; CAIRD; HUDSON; KORTUEM, 2016). Um modelo de maturidade pode ser definido como um conjunto de níveis sequenciais que, juntos, descrevem um caminho antecipado, desejado ou lógico, de um estágio inicial para um estágio final de maturidade (RÖGLINGER; PÖPPELBUSS; BECKER, 2012).

Os modelos de maturidade são utilizados para suportar definições de planos de ação, sendo uma ferramenta útil para medir os níveis de desempenho de uma organização ou estrutura (BECKER; KNACKSTEDT; PÖPPELBUSS, 2009; HILLEGERSBERG, 2019). No entanto, Bruin et al. (2005) relata que um MM precisa ser teoricamente correto, pois o mesmo deve ser eficiente para o processo de tomada de decisão. No que tange estudos voltados a *smart city*, o mesmo precisa ser eficiente para decisores políticos e para as partes interessadas do meio em estudo.

Santis et al. (2015) relatam que a heterogeneidade na quantificação do grau de inteligência das cidades é apresentada de forma controversa. Para Taylor (2014), Balducci e Ferrara (2018), tem-se uma seleção arbitrária de indicadores heterogêneos, não há confiabilidade dos dados provenientes de fontes variadas e não verificadas, há ausência de procedimentos de normalização, ponderação ou agregação nos métodos existentes.

Apesar de diversas cidades no mundo estarem aderindo ao conceito *smart city*, não há um padrão das práticas implementadas para identificar o conjunto de características e processos que tornam uma cidade *smart*, ou em qual nível de desempenho ela se enquadra. Surge então a questão: Como determinar se as práticas

inteligentes adotadas por uma determinada cidade é capaz de torna-lá uma *smart city*? Como mensurar o desempenho *smart* de uma cidade, dado a suas necessidades locais?

Desta forma, torna-se relevante o desenvolvimento de um modelo de maturidade que seja capaz de embarcar as características específicas de uma cidade que queira monitorar seu desempenho “*smartness*” e sustentável. Portanto, o objetivo deste estudo é propor um modelo de maturidade voltado para *smart city*.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste estudo consiste em propor um modelo de maturidade, com auxílio de técnicas multicritério, que permita mensurar a “*smartness*” de uma cidade com base em indicadores sociais, tecnológicos e ambientais.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar níveis de desempenho para um modelo de maturidade de uma *smart city*;
- Definir as variáveis “*smarts*” para uma cidade;
- Definir os indicadores de desempenho para uma *smart city*;
- Aplicar o modelo de maturidade proposto.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A crescente quantidade de dados urbanos oferece uma base promissora para o sucesso da gestão urbana de uma cidade, auxiliando o processo de tomada de decisão da mesma (GIL-GARCIA; ZHANG; PURON-CID, 2016; SETA et al., 2015). Dessa forma, a compilação desses dados em indicadores são úteis para a interpretação dos mesmos, pois por definição os indicadores simplificam os fenômenos complexos em números facilmente compreensíveis (HIREMATH et al., 2013; STRATIGEA; LEKA; PANAGIOTOPOULOU, 2019; LIAO et al., 2017).

Neste sentido, modelos de maturidade podem ser utilizados como ferramentas que facilitam o processo de compreensão de desempenho que uma cidade tem para se tornar *smart*. Dessa forma, modelos de maturidade existem para monitorar

o progresso de indicadores que o embarcam (MUNIER, 2011; ALBINO; BERARDI; DANGELICO, 2015; KOURTIT; NIJKAMP, 2018).

A evolução da pesquisa sobre cidades inteligentes e a discussão relevante sobre políticas estratégicas vêm em busca do alinhamento com os dezessete Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (da ONU, os quais foram divididos em 169 metas. Alguns estudos relatam que os ODS são utilizadas para apoiar os indicadores voltados a *smart city*, com foco em harmonizar a utilização de inúmeras métricas, que muitas vezes possuem o mesmo objetivo, mas não possuem aplicação viável pela equipe dos gestores urbanos (VALENCIA et al., 2019; YIGITCANLAR et al., 2018; SILVA; KHAN; HAN, 2018).

Assim, constatou-se que há estruturas de mensuração *smart* as quais avaliam o estado atual de uma cidade, mas as mesmas não permitem orientação para a progressão de maturidade ao longo do tempo, tornando-se falhos no aspecto de ações de melhoria, ou seja, não são capazes de guiar a evolução de uma cidade em sua "*smartness*".

Portanto este estudo se justifica, ou seja, no propósito de estruturar um modelo de maturidade que permita avaliar o estado atual de uma cidade em relação a sua *smartness*, promovendo o monitoramento de seu progresso em direção a uma cidade inteligente.

### 1.3 DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA

Atualmente o processo de urbanização de uma cidade conta com características tecnológicas que não eram consideradas no passado, isso se dá pelo fato do grande volume de geração de dados. A necessidade de transformar esses dados em informações, torna-se necessário para o auxílio no planejamento de estratégias com foco em melhorar a qualidade de vida, a eficiência das operações, os serviços urbanos e a competitividade, garantindo, ao mesmo tempo atender, às necessidades das gerações presentes e futuras com relação aos aspectos econômicos e sociais, bem como os aspectos ambientais e culturais (VIDIASOVA; KACHURINA; CRONEMBERGER, 2017; ISRAILIDIS; ODUSANYA; MAZHAR, 2019).

Nesse contexto há um conceito de *Smart City*, que vem para identificar o quão uma cidade é inteligente nos aspectos que promovem a qualidade de vida do meio urbano, no contexto de possibilitar a comparação com outras cidades ao redor do mundo, com foco em encontrar soluções inovadoras para os desafios que enfrentam (LYTRAS; VISVIZI, 2018; KUMAR et al., 2018).

Alguns estudos se concentram em identificar estruturas metodológicas que possam medir a *smartness* de uma cidade. Torrinha e Machado (2017) em seu estudo

relatam que os modelos de maturidade voltados para *smart cities*, embora atendam à necessidade para avaliar o estado atual de uma cidade, não permitem orientações para progressão ao longo dos níveis de maturidade.

Embora exista um crescente conjunto de documentos que normatizam o conceito *Smart City* e sua mensuração, há poucas normas aplicáveis, sendo em sua maioria documentos de orientação, especificações e relatórios técnicos. Isso se deve, em parte, à confusão em torno da definição de uma *Smart City* e aos desafios no desenvolvimento de padrões a partir de um ponto de vista detalhado e aplicável (ALLWIN-KLE; CRUICKSHANK, 2011; HOLLANDS, 2015).

Além disso, não há estudos que comparem as diferenças de indicadores entre os vários padrões existentes, tornando a mensuração da *smartness* de uma cidade cada vez mais difícil, uma vez que os gestores municipais precisam de informações confiáveis e objetivas para decidir qual padrão de indicador usar (WANG; FOX, 2017; TOKODY; SCHUSTER, 2016; HUOVILA; BOSCH; AIRAKSINEN, 2019).

Atualmente, os modelos de avaliação de *smart cities* se concentram em gerar um ranqueamento para classificar as cidades, não focando no desempenho dos indicadores. Por consequência, tem-se modelos de avaliação falhos que não permitem identificar pontos de melhoria, apenas gerando ranking, mas não fornecendo um plano de ação para tomadas de decisões que possam melhorar os níveis de inteligência de uma cidade.

O *gap* de pesquisa deste estudo, se estrutura em um modelo de maturidade capaz de avaliar quantitativamente os elementos definidos como "*smartness*" para uma cidade. Dessa forma o modelo aqui proposto será baseado em um processo avaliativo diagnóstico que permita o desenvolvimento de uma *smart cities*, auxiliando a mesma a alcançar seus objetivos.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Nesta seção, são apresentados os conceitos relacionados aos temas centrais deste trabalho. Estes temas são Cidades Inteligentes, Modelo de Maturidade, Indicadores Sintéticos e Processo de Apoio a Decisão Multicritério. As características referentes a *Smart City* são abordadas na seção 2.1, contribuindo para compreensão sobre padrões de indicadores e estruturas de avaliação voltados a *Smart City*. A seção 2.2 apresenta os conceitos referentes a modelo de maturidade e seus princípios de construção. A seção 2.3, trata da construção de um indicador sintético além de apresentar um portfólio bibliográfico o qual fundamentou a etapa metodológica desta pesquisa. Por fim, o método multicritério de apoio a decisão que dão base para a estrutura matemática deste estudo é apresentado na seção 2.4 foi utilizado o método Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS).

### 2.1 SMART CITIES

O termo *smart cities* pode ser definido como cidades que promovem a eficiência energética, energia renovável, mobilidade verde e desenvolvimento tecnológico, incentivando a exploração da gestão do conhecimento em ambientes urbanos. Dentro de seu conceito, ações *smart* propiciam a população uma melhor qualidade de vida por meio do crescente processo de inovação de seu meio (CHOURABI et al., 2012; KOMNINOS, 2006).

Uma cidade inteligente é resultado da implantação de soluções tecnológicas avançadas para diferentes infraestruturas e atividades urbanas como serviços, negócios, transportes, comunicação, água e energia. No entanto, as cidades são realmente consideradas inteligentes quando sua tecnologia se torna capaz de otimizar o uso de recursos limitados, auxiliando os principais sistemas urbanos (NEIROTTI et al., 2014; KITCHIN, 2015; ALBINO; BERARDI; DANGELICO, 2015; WALRAVENS; BALLON, 2013).

Dessa forma, para que uma cidade seja considerada “*smart*” é necessário que a mesma otimize recursos atuais e futuros, tendo como suporte o uso da tecnologia da informação e comunicação. Adicionalmente, esses elementos devem ser agregados, considerando também segurança pública, gerenciamento de resíduos, mobilidade, e os recursos naturais (MEIJER; GIL-GARCIA; BOLÍVAR, 2016; EREMIÁ; TOMA; SANDULEAC, 2017). Por outro lado, Mortensen et al. (2012), Caragliu Andrea e Del Bo (2019), Nilssen (2019) criticam o fato das cidades inteligentes serem tratadas como cidades digitais, tendo seu foco apenas a tecnologia da informação, o que, não é a verdadeira motivação do conceito que vai muito além disso, envolvendo mudanças



sociais, econômicas, culturais, políticas e ambientais.

Segundo Hollands (2008), Kitchin (2014) e Maye (2019), a tecnologia da informação e comunicação são os principais elementos que motivam as cidades inteligentes, onde essas tecnologias podem ser utilizadas para coleta e processamento de dados que devem ser compartilhados com a população.

Para tanto, uma cidade inteligente é considerada o resultado de um processo de aprendizado baseado em evidências locais, enquanto coloca o indivíduo no centro da política urbana. Para tanto, alguns pesquisadores detectaram três maneiras distintas de caracterizar uma cidade como inteligente, o primeiro se apoia no contexto do desenvolvimento urbano e econômico (CARAGLIU; BO; NIJKAMP, 2011). Giffinger et al. (2007), visualizam uma *smart city* no contexto de seu planejamento estratégico, Nam e Pardo (2011) caracterizam uma cidade como inteligente quando a mesma trata dos conceitos tecnologias, pessoas e instituições de uma forma agregada, e Ahvenniemi et al. (2017) afirmam que o mais atual conceito de cidade inteligente está voltado a "*smart sustainable cities*".

O conceito *Smart City* é norteado por características de *smartness*, ou seja características de inteligência aplicadas ao meio urbano, que atualmente, seguem padrões internacionais. Várias organizações iniciaram um processo de desenvolvimento de padrões, especificações e características para *Smart Cities*, isso se deve a tentativa de esclarecer quais são os domínios de uma cidade inteligente e como eles devem ser tratados no processo de mensuração de performance da *smartness* de um ambiente urbano (ANTHOPOULOS, 2017; ANTHOPOULOS; JANSSEN; WEERAKKODY, 2019).

### 2.1.1 Padrões de indicadores voltados para cidades inteligentes

Os indicadores são ferramentas de gestão que servem para medir, mensurar ou calcular o desempenho de determinado processo ou objeto de estudo. Os indicadores são, por definição, medidas quantitativas, qualitativas ou descritivas que permitem que informações sobre um fenômeno complexo, como o ambiente urbano dinâmico, sejam simplificadas para uma forma relativamente fácil de usar e entender (NEELY; GREGORY; PLATTS, 2005; COOPER; EZZAMEL; QU, 2017; KAPLAN; NORTON, 2004).

Além disso, esses indicadores ajudam as cidades a definir metas e monitorar seu desempenho ao longo do tempo. Conseqüentemente, as cidades usam, regularmente, conjuntos de indicadores definidos para quantificar suas metas e monitorar, sistematicamente, o progresso em direção a elas. Com a quantidade explosiva de dados urbanos, um número relativamente pequeno e cuidadosamente selecionado de

indicadores-chave de desempenho facilmente compreensíveis é útil para os gerentes das cidades obterem o desempenho da cidade em diferentes áreas. Recentemente, o uso de indicadores na tomada de decisões tornou-se cada vez mais popular (ISO, 2018a; MUNIER, 2011; KOURTIT; NIJKAMP, 2018).

Existe uma grande variedade de estruturas e ferramentas de indicadores para avaliar a sustentabilidade e/ou a inteligência urbana, relata Commission et al. (2015), Moonen et al. (2013). A padronização desses indicadores, atualmente, é estabelecida pela ISO, que atende as especificações da ONU em seus Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Atualmente, existem diversos padrões internacionais de indicadores de cidade, relevantes para avaliação e geração de relatórios de cidades inteligentes e sustentáveis, este trabalho se apoiará nos indicadores estabelecidos pela

A *International Organization for Standardization* (ISO) apresenta um conjunto de padrões que estabelecem estruturas gerais para definir uma cidade como *smart*. A *International Organization for Standardization* criou, em 2013, o Comitê Técnico da ISO – *International Organization for Standardization* de número ISO/TC 268 – *Sustainable cities and communities*. Esse comitê consiste na normalização do tema além do desenvolvimento de requisitos para sistema de gestão, estruturas, instruções, métodos e ferramentas relevantes para auxiliar comunidades de todos os tipos e tamanhos a se tornarem mais sustentáveis, resilientes e inteligentes (ISO, 2013).

A ISO 37120:2018 ISO (2018a) foi a primeira normatização internacional de padrões criada com um conjunto de indicadores para orientar e medir o desempenho dos serviços municipais e a qualidade de vida, a mesma foi criada em 2014 e atualizada no ano de 2018. A ISO 37120:2018 é baseada em um conjunto de indicadores com foco em orientar e medir o desempenho dos serviços municipais e a qualidade de vida, a mesma é composta por 19 dimensões, as quais são subdivididas em 111 indicadores. As dimensões são: Economia, educação, energia, meio ambiente e mudanças climáticas, finanças, governança, saúde, habitação, condições sociais e populacionais, recreação, segurança, resíduos sólidos, esporte e cultura, telecomunicações, transporte, agricultura urbana / local e segurança alimentar, planejamento urbano, águas residuais e água. Tal norma é um modelo de medição para cidades que queiram se tornar inteligentes e sustentáveis.

A partir da ISO 37120:2018 foram elaborados as ISO 37122:2019, que tratam de indicadores para *Smart Cities* a qual se encontra publicada, e a ISO 37123:2019 que trata de indicadores para cidades resilientes, (ISO, 2018a), a Figura 1 apresenta 0 conjunto completo de indicadores.

**Figura 1 – Integração dos indicadores da ISO 37120 com as demais normas em elaboração pelo ISO/TC 268**



Fonte: ISO (2018a).

A ISO/TC 268 ISO (2013), até o ano de 2019, publicou 7 normas ISO, além de 5 estarem em desenvolvimento. A 7 normas ISO publicadas são apresentadas a seguir:

- ISO 37100:2016 - *Sustainable cities and communities – Vocabulary*;
- ISO 37101:2016 - *Sustainable development in communities – Management system for sustainable development – Requirements with guidance for use*;
- ISO 37104:2019 - *Sustainable cities and communities – Transforming our cities – Guidance for practical local implementation of ISO 37101*;
- ISO 37106:2018 - *Sustainable cities and communities – Guidance on establishing smart city operating models for sustainable communities*;
- ISO 37120:2018- *Sustainable cities and communities – Indicators for city services and quality of life*;
- ISO/TR 37121:2017 - *Sustainable development in communities – Inventory of existing guidelines and approaches on sustainable development and resilience in cities*;
- ISO 37122:2019 - *Sustainable cities and communities – Indicators for smart cities*.

Nesse contexto, com o intuito de fornecer métricas padronizadas para a análise de *Smart City*, o *World Council on City Data* ( desenvolveu o primeiro sistema de certificação baseado na ISO 37120 junto com o *Global Cities Registry*. A WCCD atualmente é caracterizada como um centro global de parcerias criativas para ambientes urbanos, organizações internacionais, parceiros corporativos e acadêmicos que, juntos, têm a finalidade de promover inovações na construção de cidades melhores e

mais habitáveis. A WCCD lidera o desenvolvimento de padrões o processo de criação de cidades inteligentes, sustentáveis e resilientes, os quais devem seguir os padrões expostos pela ISO 37120 (PICIOROAGĂ; EREMIĂ; SĂNDULEAC, 2018). Estes indicadores foram testado pela *Global City Indicators Facility* em mais de 250 cidades membros em todo o mundo, a norma é um modelo de medição para cidades que queiram se tornar inteligentes e sustentáveis.

A *WCCD Global Cities Registry* possui 103 cidades certificadas com base na ISO 37120, no ano de 2018 obtiveram nível de certificação platino as seguintes cidades: *Piedras Negras* (México), *Welland* (Canadá), *Mississauga* (Canadá), *Taipei* (Taiwan), *Aalter* (Bélgica), *Tainan City* (Taiwan), *Brisbane* (Austrália), *Whitby* (Canadá), *Oakville* (Canadá), *Quebec City* (Canadá), *Kópavogur* (Islândia) (WCCD, 2019). No ano de 2019 as cidades platino foram: *Guadalupe* (México), *Guelph* (Canadá), *Mississauga* (Canadá), *Whitby* (Canadá), *Brisbane* (Austrália).

A *British Standards Institute* ( desenvolveu um conjunto abrangente de padrões *ad-hoc* que se concentram no desenvolvimento de uma estrutura de Cidades Inteligentes (BSI, 2014). A *International Telecommunication Union* ( se concentrou, principalmente, no desenvolvimento de Indicadores Chaves de Desempenho para permitir que as cidades tenham desempenho em seu processo de transformação, sendo os indicadores a sustentabilidade ambiental, produtividade, igualdade e inclusão social, bem como qualidade de vida e infraestrutura física (UNION, 2016).

O *IESE Business Schools Center for Globalization and Strategy* proposto por Berrone e Ricart (2019), não é considerado um modelo de maturidade, mas sim um índice, o qual contém nove dimensões *smart*: capital humano, coesão social, economia, gestão pública, governança, meio ambiente, mobilidade e transporte, planejamento urbano, alcance internacional e tecnologia. As nove dimensões são caracterizadas por 96 indicadores os quais alguns pertencem a ISO 37120. O índice utiliza uma metodologia comparativa baseada em estatística entre os indicadores e as cidades.

O *IESE Business Schools Center for Globalization and Strategy* (BERRONE; RICART, 2019), avaliou cerca de 174 cidades em mais de 80 países. Em sua última edição as cidades mais inteligentes no mundo em 2019, as que ocupam as primeiras dez posições são: Londres, Nova York, Amsterdam, Paris, Reykjavik, Tokyo, Singapura, Copenhagen, Berlin e Vienna. O conjunto de cidades brasileiras que compõem o índice é: Rio de Janeiro, Brasília, São Paulo, Curitiba, Salvador e Belo Horizonte.

De acordo com Berrone e Ricart (2019), Londres lidera o ranking IESE no ano de 2019 com excelentes resultados em quase todas as áreas analisadas pelo índice. Ela ocupa o primeiro lugar no capital humano (pelo alto número de escolas de negócios e universidades de qualidade), e está entre as dez principais em mobilidade, transporte, governança, tecnologia e planejamento urbano. Em segundo lugar geral se encontra a cidade de Nova York com a primeira posição na dimensão economia,

além de estar entre as principais posições em capital humano, planejamento urbano, alcance internacional, tecnologia e mobilidade e transporte.

### 2.1.2 Estruturas de avaliação voltados para cidades inteligentes

Temas intrinsecamente relacionados à urbanização, como mobilidade, gestão de resíduos sólidos e saneamento, estão incluídos nas metas do ODS 11, bem como o planejamento e aumento de resiliência dos assentamentos humanos, levando em conta as necessidades diferenciadas das áreas rurais, periurbanas e urbanas. Embora os ODS se concentrem, claramente, na sustentabilidade, eles são relevantes, pois as soluções de cidades inteligentes devem desempenhar um papel importante para apoiar as cidades na consecução desses objetivos, ajudando as partes interessadas a monitorar o estado e gerenciar o progresso em direção à consecução dos ODS (UNITED NATIONS, 2015).

Atualmente existem alguns estudos que apresentam estruturas para identificar o nível de inteligência de uma cidade, a grande maioria não se caracteriza como um modelo de maturidade, mas apenas como uma estrutura que avalia e ranqueia as cidades analisadas, utilizando um conjunto de indicadores *smart*.

O *IDC Smart City Maturity Model* (IDC SCMM) desenvolvido por Clarke (2013) é um modelo de maturidade voltado para cidades inteligentes, que pretende ser uma avaliação do estado atual e uma ferramenta de planejamento. O mesmo estabelece cinco dimensões: estratégia, dados, tecnologia, governança e *stakeholder*. O modelo não fornece nenhuma medida de cálculo e também não apresenta sua composição de indicadores.

O *Maturity Model to Measure and Compare Inequality in Brazilian Cities* (Br-SCMM), proposto por Afonso et al. (2015), oferece uma ferramenta para identificar áreas e objetivos a serem planejados estrategicamente em direção a um paradigma de cidade inteligente. Esse modelo apresenta dez dimensões: água, educação, energia, governança; habitação, meio ambiente, saúde, segurança, tecnologia e transporte. Assim, seus respectivos indicadores: água encanada, educação, acesso à energia, IDH / Emprego, residência privada, lixo coletado; IDH – Saúde, homicídios, computadores por casa e transporte público. Como método de cálculo, o Br-SCMM utiliza apenas o Z-score para definir o valor do indicador e, dado os valores estabelecidos pelo método estatístico, o mesmo os incorpora nos níveis de maturidade estabelecidos. O níveis de maturidade do método são:

- Nível S (*Simplified*): a cidade atinge o limite pontuações para os chamados indicadores básicos;

- Nível M (*Managed*): a cidade possui objetivos e práticas que apontam para um gerenciamento otimizado de Recursos;
- Nível A (*Applied*): a cidade usa um modelo de maturidade estabelecer políticas públicas;
- Nível R (*Measured*): a cidade estabelece indicadores estratégicos e possui práticas de medição e melhoria de desempenho;
- Nível T (*Turned*): a cidade alcançou as notas desejadas nas áreas planejadas no nível anterior?

O *Smart City Maturity Model developed by Sustainability Outlook (SO SCMM)* proposto por Mani e Banerjee (2015) fornece um conjunto abrangente de indicadores, baseados na ISO 37120. Este modelo de maturidade consiste, basicamente, em duas partes, a primeira como uma estrutura de avaliação e a segunda como uma estrutura da solução. A Estrutura de Avaliação ajuda uma cidade ou estado a avaliar as condições de seu desenvolvimento social, físico e tecnológico, identificando sua prontidão para a implementação de soluções de cidades inteligentes. A Estrutura da solução mapeia uma solução de cidade inteligente para o estado de desenvolvimento da área focal. Como forma de cálculo o mesmo apresenta uma estrutura de ranking, com base na quantidade de indicadores computados, assim, o mesmo determina o nível de maturidade da cidade.

Considerando o objetivo dos modelos, o IDC SCMM é uma avaliação do estado atual da cidade, que também é o objetivo do Br-SCMM e do SO SCMM. Embora o Br-SCMM e o SO SCMM cumpram seu objetivo declarado de permitir uma avaliação da cidade, fornecendo medições, mesmo que apenas para o primeiro nível, o IDC SCMM falha em fazê-lo. Apesar de sua intenção de avaliar o estado atual de uma cidade, o modelo não fornece medidas para alcançar tal proposta, nem fornece orientações sobre como fazê-lo.

Torrinha e Machado (2017) relata que os três modelos consideram os princípios básicos de um MM, enquanto dois dos três modelos também consideram os princípios descritivos do propósito de uso. Nenhum modelo, no entanto, propôs caminhos de melhoria ou sugeriu ações para progredir ao longo dos estágios. Portanto, não há princípios de design para uma finalidade prescritiva nos diferentes modelos.

Góngora e Bernal (2016) apresenta uma validação de modelo de maturidade para gestão de Tecnologia de Informação em *smart city*. O modelo contém sete dimensões: estratégia educacional, serviços tecnológicos, cultura, infraestrutura, dados, canais de entrega e inovação. Essas dimensões compõem um total de 34 indicadores para avaliar a maturidade da m uma *smart city*. O modelo foi proposto para cidades colombianas, com o intuito de avaliarem sua capacidade de gestão de tecnologia, o

mesmo ainda se encontra em fase de teste, não apresentando suas etapas de cálculo.

Anand et al. (2017) em seu estudo utilizou a técnica *Fuzzy-AHP* para identificar a importância de indicadores voltados à sustentabilidade, para uma *Smart City*, esses indicadores são: mobilidade, economia, meio ambiente, sociedade, energia, qualidade de vida e crescimento econômico. A técnica *Data Envelopment Analysis* (foi utilizada para determinar a eficiência de cada um dos indicadores estudados. Como resultado o trabalho identificou quais os indicadores de sustentabilidade apresentam resultados ruins, focando assim na melhoria da performance desses indicadores.

Anthopoulos e Giannakidis (2016), realizou um estudo que enfoca a padronização do processo de formulação de políticas públicas em cidades inteligentes. Ele utiliza o método *Task-Based Modeling* como um meio de mapear o processo de formulação de políticas relacionadas ao planejamento público de uma cidade, identificando os grupos de critérios, posteriormente, o estudo utilizou a técnica multicritério *Promethee* para identificar os cenários com baixo desempenho. Claudel, Birolo e Ratti (2015), Anthopoulos, Janssen e Weerakkody (2016), Cledou, Estevez e Barbosa (2018), em seu estudo identificaram nove cidades no mundo que foram reconhecidas como cidades que se destacam em algumas das seis dimensões de (GIFFINGER et al., 2007) para uma cidade inteligente:

- Curitiba é reconhecida por seu sistema de transporte integrado e planejamento de uso da terra;
- Seattle é um exemplo líder em sustentabilidade em termos de eficiência energética e transporte, e ingressou recentemente em uma rede nacional de cidades inteligentes;
- Surrey foi reconhecida como uma das sete principais comunidades inteligentes de 2016;
- Dubai foi reconhecida como a principal iniciativa de cidade inteligente no Golfo;
- Songdo é conhecida como *smart city* pois foi concebida e construída do zero;
- Amsterdam foi reconhecida com o Prêmio Mundial *Smart City* em 2012 e é um exemplo em laboratórios vivos e mobilidade e redes inteligentes programadas;
- Barcelona foi reconhecida como a cidade mais inteligente do mundo em 2015 por causa de seus programas em gerenciamento de tráfego inteligente e redes inteligentes;
- Copenhague é reconhecida devido à iniciativa *Copenhagen Connecting*, premiada como melhor projeto com o *Smart City World Award* em 2014;

- Viena foi reconhecida com o *Smart City World Award* em 2016 por sua pesquisa energética integrada.

Os estudos aqui abordados, mostram que as estruturas de monitoramento da *smartness* de uma cidade não são claras na abordagem de seus cálculos, além de serem falhos em não apresentar propostas de melhorias em dimensões *smart* que não apresentam bom desempenho, o que torna a estrutura complexa em sua replicação.

## 2.2 MODELO DE MATURIDADE

A identificação da *smartness* de uma cidade vem crescendo constantemente, uma vez que os gestores urbanos procuram promover um ecossistema que crie e implemente sinergias entre desempenho econômico, ambiental, social e tecnológico, os quais sejam mensuráveis em relação a sua performance (COSGRAVE; ARBUTHNOT; TRYFONAS, 2013; EREMIA; TOMA; SANDULEAC, 2017; BLANCK; RIBEIRO; ANZANELLO, 2019). Nesse sentido, o caminho para uma cidade ser *smart* também se apresenta como estágios de crescimento e, para contribuir com a identificação desses estágios, bem como a identificação de qual estágio a *smartness* de uma cidade se encontra, são propostos modelos de maturidade, os quais são capazes de subsidiar o esforço dessas cidades em manter e ganhar força para manter uma boa performance (RÖGLINGER; PÖPPELBUSS; BECKER, 2012).

O modelo de maturidade é uma ferramenta que define os níveis de maturidade organizacional por meio de uma escala *Likert* de cinco pontos, sendo cinco o mais alto nível de maturidade (BRUIN et al., 2005). Os níveis de maturidade referem-se a um conjunto de processos que as organizações devem implementar como parte de um caminho definido de melhoria. À medida que as organizações aumentam no nível de maturidade em relação a uma dimensão específica de sua atividade, elas operam com mais eficiência (BECKER et al., 2010).

Os modelos de maturidade necessitam de estruturas preparadas ao uso para que sua utilização seja adaptável (BRUIN et al., 2005). Portanto, para que a maturidade seja mensurável, ela pode ser definida como métrica capaz de avaliar as capacidades de um elemento de maturação (FINNERTY et al., 2017), as quais são a capacidade ou habilidade de alcançar objetivos (WENDLER, 2012).

Um modelo de maturidade consiste em um agrupamento estruturado de elementos que se encontrem em diferentes estágios de desenvolvimento (INTRONA et al., 2014) e Kohlegger, Maier e Thalmann (2009). Além das abordagens, os modelos de maturidade variam em termos de sua aplicação (processo, organização ou pes-

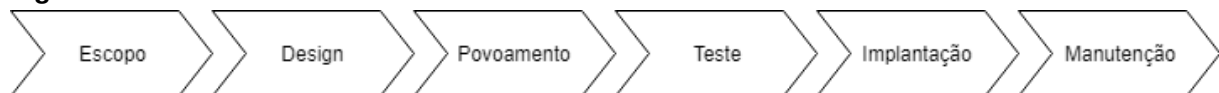


soas) e propósito (melhoria ou descrição) (WENDLER, 2012). Em relação ao propósito, os modelos podem ser definidos como de uso descritivo, prescritivo ou comparativo (BRUIN et al., 2005). Para Röglinger, Pöppelbuß e Becker (2012), aquele que se apresenta como descritivo tem por objetivo avaliar o estado de maturidade atual. Já aqueles que são prescritivos são capazes de direcionar a identificação de níveis de maturidade futuros e desejáveis, bem como guiar a implementação de medidas de melhoria. Os que apresentam propósito de uso comparativo são capazes de promover *benchmarking* interno ou externo com outras organizações. Mais detalhadamente, Bruin et al. (2005) explica que:

- A aplicação de modelos puramente descritivos converge para um ponto único, sem perspectivas para o desenvolvimento da maturidade ou para a explicitação das conexões com o desempenho;
- Os modelos prescritivos reforçam as inter-relações entre o domínio e o desempenho do negócio e demonstram como abordar a melhoria da maturidade com o intuito de agregar de valor ao negócio;
- Os modelos comparativos permitem a realização de *benchmarking* entre organizações e regiões. Estes devem ser capazes de comparar práticas semelhantes entre as organizações, referenciando a maturidade entre organizações díspares e reconhecendo que níveis de maturidade semelhantes não significam níveis de valor agregado semelhantes.

Dessa forma, Bruin et al. (2005) propõem uma estrutura de desenvolvimento padrão para auxiliar o desenvolvimento de modelos de maturidade, como mostra a Figura 2.

**Figura 2 – Processo de Desenvolvimento de Modelos de Maturidade**



**Fonte: Bruin et al. (2005).**

A primeira fase tem por objetivo definir o escopo do modelo a ser desenvolvido, é nessa fase que são determinados os limites para aplicação e uso do modelo, com a definição do seu foco e os seus *stakeholders* (BRUIN et al., 2005). Na fase de design são definidos o público-alvo, o método de aplicação, o solicitante da avaliação, os respondentes/avaliadores e a estratégia de aplicação. Nessa fase é necessário se realizar a pergunta: "Por que irão aplicar o modelo? Como o modelo poderá ser aplicado em diferentes estruturas organizacionais?". A terceira fase, povoamento, irá estabelecer a estruturação de medição do modelo, ou seja é aqui que será desenvolvido o

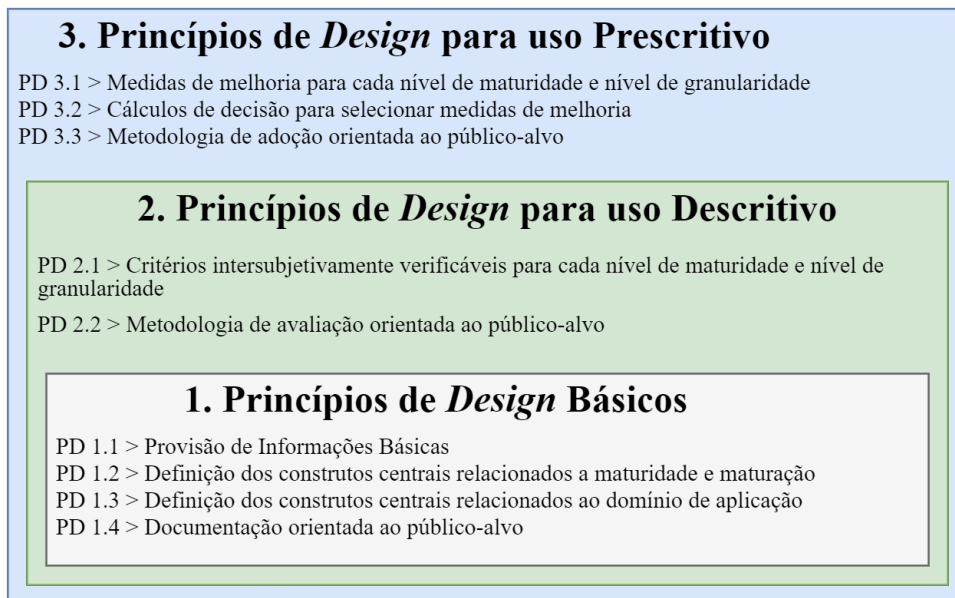
conteúdo do modelo a ser proposto. A quarta fase estabelece o teste do modelo, a fim de identificar se a estrutura proposta na fase povoamento está adequada. Após os ajustes necessários há as fases de implementação e manutenção do modelo (BRUIN et al., 2005).

Após estabelecer a estrutura do modelo de maturidade conforme Bruin et al. (2005), se faz necessário definir alguns elementos, assim, devem ser observados para que se garanta a sua usabilidade e aplicabilidade. Esses elementos são representados pelos princípios de design propostos por Röglinger, Pöppelbuß e Becker (2012), os quais irão definir a função do modelo de maturidade.

Os princípios de um modelo de maturidade são estruturados em três categorias: básicos, descritivos e prescritivos. Röglinger, Pöppelbuß e Becker (2012) apontam que todos os modelos de maturidade devem atender os princípios básicos. Os modelos com propósito de uso descritivo devem atender os princípios básicos e os princípios descritivos. Os modelos com propósito prescritivo devem atender os princípios básicos, descritivos e prescritivos.

Röglinger, Pöppelbuß e Becker (2012) propõem, portanto, um *framework* de apoio como um *checklist*, que pode ser utilizado na melhoria ou aplicação de modelos de maturidade. A estrutura do *framework* de princípios de design e as categorias dos princípios podem ser observadas na Figura 3.

**Figura 3 – Princípios de Design**



**Fonte: Röglinger, Pöppelbuß e Becker (2012).**

A partir do *framework* de Princípios de Design, é possível elencar os subcomponentes que compõem cada um dos princípios (PÖPPELBUSS; RÖGLINGER, 2011). A Figura 4 demonstra como os subcomponentes se distribuem aos princípios de design.

**Figura 4 – Detalhamento de Princípios de Design**

Propósito de Uso	Princípios de <i>Design</i>
Básico	Provisão de Informações Básicas
	a) Domínio de aplicação e pré-requisitos para aplicabilidade
	b) Propósito de uso
	1.1 c) Público-alvo
	d) Classe de entidades sob investigação
	e) Diferenciação de modelos de maturidade correlatos
	f) Processo de <i>design</i> e abrangência da validação empírica
	Definição de construtos centrais relacionados a maturidade e maturação
	1.2 a) Maturidade e dimensões de maturidade
	b) Níveis de maturidade e caminhos de maturação
	c) Níveis de granularidade de maturação disponíveis
	d) Bases teórica de sustentação com respeito à evolução e mudança
	1.3 Definição dos construtos centrais relacionados ao domínio de aplicação
	1.4 Documentação orientada ao público-alvo
Descritivo	2.1 Critérios intersubjetivamente verificáveis para cada nível de maturidade e nível de granularidade
	Metodologia de avaliação orientada ao público-alvo
	a) Modelo procedural
	2.2 b) Orientações em relação aos critérios de avaliação
	c) Orientações sobre a adaptação e configuração dos critérios
	d) Conhecimento proveniente de aplicações prévias
Prescritivo	3.1 Medidas de melhoria para cada nível de maturidade e nível de granularidade
	Cálculos de decisão para selecionar medidas de melhoria
	3.2 a) Explicação de objetivos relevantes
	b) Explicação de fatores de influência relevantes
	c) Distinção entre um relatório externo e uma perspectiva de melhoria interna
	Metodologia de adoção orientada ao público-alvo
	a) Modelo procedural
	b) Orientações na avaliação de variáveis
	3.3 c) Orientações na concretização e adaptação das medidas de melhoria
	d) Orientações na adaptação e configuração dos cálculos de decisão
e) Conhecimento proveniente de aplicações prévias	

Fonte: Pöppelbuß e Röglinger (2011).

Pöppelbuß e Röglinger (2011) e Röglinger, Pöppelbuß e Becker (2012) explicam que os princípios básicos de design são importantes para todos os modelos de maturidade, independentemente do seu propósito de uso. Assim, o processo de desenvolvimento de um modelo de maturidade, proposto pelos autores supracitados, promovem um suporte consistente à construção de modelos de maturidade de forma a garantir sua usabilidade e aplicabilidade.

### 2.3 ESTRUTURA DE INDICADORES SINTÉTICOS

Os indicadores sintéticos ou indicadores compostos, são aqueles que demonstram diferentes composições (saúde, educação, ambiente, dentre outros) em um único indicador, em geral, são muito utilizados para representar indicadores sociais (SERRANO et al., 2011; BRUNI et al., 2017; KOURTIT; NIJKAMP; ARRIBAS, 2012). A principal característica de um indicador sintético é sua capacidade de sintetizar um volume considerável de dados e de tornar mais gerenciáveis as informações significativas sobre o objeto em análise (CABELLO et al., 2014; MOLINOS-SENANTE et al.,

2016; DUARTE; RODRIGUES; RAMOS, 2009; SHAKER; ZUBALSKY, 2015).

Existe uma série de aspectos que devem ser levados em consideração na escolha dos indicadores a serem incluídos em um estudo de mensuração de características urbanas, como a relevância do indicador para a região estudada, a possibilidade de medir a tendência ao longo do tempo e a relação entre os indicadores, pois o mesmo deve auxiliar no desenvolvimento da tomada de decisões estratégicas do local analisado (GRAYMORE; WALLIS; RICHARDS, 2009; HAGERTY; LAND, 2002).

Na combinação de diferentes indicadores básicos para a composição de um indicador sintético, uma série de técnicas podem ser utilizadas nas etapas de padronização, ponderação e agregação.

Os procedimentos para obtenção de indicadores compostos diferem, principalmente, na forma como os indicadores básicos são ponderados e agregados. Inicialmente os indicadores precisam ser normalizados, esse procedimento pode ser realizado pelas técnicas: Z Score, distância do ponto anti-ideal pela diferença entre o valor máximo e valor o mínimo, entre outros (SHAKER, 2018; BOULANGER, 2008; ZHANG; WU; SHEN, 2011; ROMERO; LINARES, 2014).

Na ponderação dos indicadores, Gan et al. (2017) definiu três métodos: ponderação baseada em igualdade e ponderação baseada em especialistas. A ponderação baseada em igualdade é utilizada quando os indicadores recebem o mesmo peso de importância (NARDO et al., 2005; GATTO; DRAGO, 2020; PAPATHOMA-KÖHLE et al., 2019), como técnicas de ponderação de igualdade tem-se a média aritmética não ponderada que é considerada um método simples e de fácil aplicação (ESTY et al., 2005; GRAYMORE; WALLIS; RICHARDS, 2009).

A ponderação baseada em especialista o tomador de decisão pode expressar suas preferências em relação aos critérios avaliados (SERRANO et al., 2011; RAMZAN; DEGENKOLBE; WITT, 2008). Como métodos de ponderação baseada em especialista tem-se: Alocação Verbal, Opinião Pública, *Analytic Hierarchy Process* ( , Análise Conjunta, (SAISANA; TARANTOLA, 2002; HAASTER et al., 2017). A Figura 5 apresenta os métodos de ponderação e suas vantagens e desvantagens.

**Figura 5 – Métodos de Ponderação**

Método		Vantagem	Desvantagem
Ponderação baseada em igualdade	Média aritmética não ponderada	É um método de fácil construção, e pode ser utilizado quando não há acordo entre os tomadores de decisão.	Pesos iguais não permite a diferenciação de indicadores essenciais e os não essenciais, além de ser considerado um julgamento subjetivo.
Ponderação baseada em especialistas	Alocação Verbal	A ponderação é baseada na opinião de especialistas	O método apresenta inconsistência para um série de indicadores superior a 10. A ponderação não medir a importância dos indicadores básicos e apenas das dimensões oque pode não reletir a realidade analisada. Pode apresentar inconsistência no processo de calculo.
Ponderação baseada em especialistas	Opnião Pública	Este processo é útil para processos de decisão multicritério e pode tornar o processo participativo e transparente	O pesos com base neste método são definidos medindo a "preocupação" pública ao invés da importância do indicador, o que pode não refletir a real relevância de fatores urbano, além de produzir inconsistências.
Ponderação baseada em especialistas	Analytic Hierarchy Process (AHP)	O AHP possui as características de uma estrutura hierárquica, é simples e flexível, o que permite que seja combinado com outras técnicas, como programação matemática , peso de entropia e DEA, ao contrário de outros métodos participativos, o AHP fornece uma operação de verificação consistente, este método pode ser usado com dados qualitativos e quantitativos	lincluem o alto número de comparações pareadas e a necessidade de um número de indicadores em cada dimensão analisada.

Fonte: Adaptado de Greco et al. (2019), Gan et al. (2017), Mikulić, Kožić e Krešić (2015)

Em relação aos métodos de agregação os mesmos são divididos em três categorias: compensatórios, não compensatórios e mistos (GRECO et al., 2019; KORONAKOS et al., 2020).

Na categoria de métodos compensatórios a abordagem linear e a geométrica são as mais utilizadas em indicadores compostos, embora a linear assuma maior compensabilidade que a geométrica (GRECO et al., 2018). O método compensatório mais conhecido é a média aritmética ponderada, em relação aos métodos geométricos o mais difundido é a média geométrica ponderada (POLLESCH; DALE, 2015; POLLESCH; DALE, 2016; PUYENBROECK; ROGGE, 2017; GAN et al., 2017; SAIDANI et al., 2019).

Ainda nos métodos compensatórios tem-se as técnicas: Análise de Componentes Principais (, Benefit of the Doubt Approach, Análise de Regressão, Unobserved component models, Distância DP2, entre outros. (PHILLIS; GRIGOROUDIS; KOUIKOGLOU, 2011; BLANCAS et al., 2010b; SOMARRIBA; PENA, 2009; SERRANO et al., 2011).

As técnicas de agregação não compensatórias são baseadas em métodos multicritério como o PROMETHEE (Preference ranking organization method for enrichment evaluation) (PARUOLO; SAISANA; SALTELLI, 2013; HÉLY; ANTONI, 2019; ROWLEY et al., 2012; D'ALPAOS; ANDREOLLI, 2020; LI; YI, 2020; TANG et al., 2019). A abordagem multicritério não compensatória baseia-se nas preferências dos decisores, sendo o objetivo da maioria dos indicadores compostos criarem classificações. (MUNDA; NARDO, 2009; DOČEKALOVÁ; KOČMANOVÁ, 2016).

Tem-se também os métodos de agregação misto que são assim definidos pois não se encaixam em nenhuma das categorias anteriores, pois elas utilizam diferentes combinações de métodos compensatórios e não compensatórios (GRECO et al., 2019; ANGILELLA et al., 2018; YANG et al., 2017; FUSCO, 2015; VIDOLI; FUSCO; MAZZIOTTA, 2015). A Figura 6 apresenta os métodos de agregação compensatórios e não compensatórios.

**Figura 6 – Métodos de Agregação**

	Método	Vantagem	Desvantagem
Compensatórios	Média aritmética ponderada	Aplicação simples, permite execução de análise de sensibilidade	Se caracteriza como um método compensatório
	Média geométrica ponderada	Como o a média aritmética ponderada, é de fácil execução.	Não são técnicas totalmente não compensatórias e, portanto, permitem compensações entre os indicadores, porque os métodos geométricos, como os métodos aditivos, têm a característica de serem preferencialmente dependentes
	Análise dos Componentes Principais (ACP)	É indicado quando um grande número de indicadores precisa ser considerado, além de reduzir a "dupla ponderação" que pode ocorrer no método ponderação baseada em igualdade.	Não foi um método desenvolvido para determinar pesos e sim para analisar relação entre as variáveis. O método é falho quando indicadores não relacionados são agrupados em uma mesma dimensão, e também quando os mesmos não possuem correlação.
	Benefit of the Doubt Approach	Uma vantagem do BDO é que o mesmo tem capacidade de ponderar e agregar o indicador composto, o método tem capacidade de ajudar a definir os tradeoffs do sistema em avaliação.	O método possui baixa transparência na distribuição dos pesos, além de não permitir comparação entre eles.
	Análise de Regressão	Uma vantagem deste método é que o mesmo permite sua aplicação para dimensões com grandes números de indicadores. Os indicadores não precisam ser correlacionados.	Apresenta problemas de multicolinearidade, ou seja, se há um grande número de indicadores correlacionados, requer uma grande quantidade de dados para reproduzir uma estimativa estatística confiável.
Unobserved component models	O método UCM, como o método BOD, é uma abordagem que combina os processos de ponderação, agregação e construção de índice. A característica mais interessante dos UCMs é que eles podem fornecer estimativas de intervalo de um índice em vez de um valor específico com base em indicadores observados.	O método não funciona de forma confiável quando os indicadores são divididos em dimensões, além de não responder bem com um grande número de indicadores correlacionado	
Distância DP2	Não requer um procedimento de normalização dos indicadores, uma vez que dividindo a distância dij pelo desvio padrão de cada indicador, é possível expressar o valores do indicador em uma escala dimensional, de modo que a contribuição de cada distância ao valor do índice é inversamente proporcional à sua dispersão.	O valor do indicador sintético é afetado pela ordem em que os valores são inseridos. indicadores do sistema, que determina os valores dos coeficientes de determinação. Para que o indicador sintético finalmente obtido é único, uma solução é aplicar um procedimento iterativo baseado no indicador Frechet, que permite estabelecer uma ordem de introdução de indicadores de acordo com a quantidade de informações que fornecem.	
Não compensatórios	MCDM	Ao contrário, o uso de pesos com pontuações de critério ordinal origina procedimentos de agregação não compensatórios e dá aos pesos o significado de coeficientes de importância. Como os métodos Promethe, Electre	O uso de pesos com intensidade de preferência origina métodos multicritérios compensatórios e dá o significado de compensações para o pesos.

Fonte: Adaptado de Serrano et al. (2011), Greco et al. (2019), Gan et al. (2017), Fusco (2015).

Em relação aos métodos multicritérios para construção de indicadores compostos, nem todos são caracterizados como não compensatórios. Os métodos SAW, UTA, SMART, DEA e TOPSIS são métodos que se caracterizam por compensação total entre os critérios, os métodos MAUT e MAVT adotam funções multiplicativas em sua composição matemática limitando a compensação entre os critérios. Os métodos ELECTRE e PROMETHEE se caracterizam como métodos não compensatórios, ou seja, não há *trade offs* entre os critérios (GIBARI; GÓMEZ; RUIZ, 2019). Gibari, Gómez e Ruiz (2019) em seu estudo identificou uma gama de trabalhos que utilizam a elaboração de indicadores compostos, que podem ser observados no Figura 7.

**Figura 7 – Métodos multicritérios na construção de indicadores compostos**

Grupo	Método	Autores
Métodos Elementares	SAW, WPM, AHP	(HAIDER et al., 2018; ZHOU; ANG; POH, 2006; KROPP; LEIN, 2012; GIANNETTI et al., 2009; ARBOLINO et al., 2018; AZEVEDO et al., 2012; WANG; LUO, 2010)
Métodos baseados em valor de utilidade	MAUT, MAVT, SMART, MACBETH	(HAJKOWICZ, 2006; CALKER et al., 2006; FRANK et al., 2016; CRACOLICI; NIJKAMP, 2009; WÜRTENBERGER; KOELLNER; BINDER, 2006; DANTSIS et al., 2010; LANGHANS; REICHERT; SCHUWIRTH, 2014; CARAYANNIS; GRIGOROU-DIS; GOLETSIS, 2016; GRIGOROU-DIS; ORFANOUDAKI; ZOPOUNIDIS, 2012; PAPAPOSTOLOU et al., 2017; PLAKAS; GEORGIADIS; KARABELAS, 2016; BEZAMA et al., 2007; CLIVILLÉ; BERRAH; MAURIS, 2007; MARQUES; GOURC; LAURAS, 2011; JUNIOR et al., 2012; LAVOIE; DESLANDES; PROULX, 2016; RODRIGUES et al., 2017)
Métodos baseados em comparação entre pares	ELECTRE, PROMETHEE,	(ATTARDI et al., 2018; PETROVIĆ et al., 2014; WU et al., 2016; ANTANASIJEVIĆ et al., 2017; HERNANDEZ-PERDOMO; MUN et al., 2017)
Métodos baseados em Análise Envolvória de Dados	MCDM-DEA, BoD,	(CHÉRCHYE et al., 2007; CHÉRCHYE et al., 2008; MURIAS; MIGUEL; RODRÍGUEZ, 2008; DOBOS; VÖRÖSMARTY, 2014; MARTÍ; MARTÍN; PUERTAS, 2017; AMADO; JOSÉ; SANTOS, 2016; HATEFI; TORABI, 2010; ROGGE, 2018; VERBUNT; ROGGE, 2018; PUYENBROECK; ROGGE, 2017; KAO; HUNG, 2007; ZHOU; ANG; POH, 2007)
Métodos baseados em funções de distância	Método de Programação em metas, Métodos de programação em compromisso, TOPSIS, GRA,	(BLANCAS et al., 2010a; MOLINOS-SENANTE et al., 2016; JADIDI; CAVALIERI; ZOLFAGHARI, 2015; VOCES; DIAZ-BALTEIRO; ROMERO, 2012; TRENADO et al., 2014; BLANCAS et al., 2011; GU et al., 2012; GARCIA et al., 2016; WANG; DAI; WANG, 2017; WANG et al., 2012; WANG; WAN; SONG, 2018; ESCRIG-OLMEDO et al., 2017; CHEN; WANG; DENG, 2015; BOGGIA et al., 2018; MI et al., 2017; BAO et al., 2012; HU; LI; TANG, 2017; JUN et al., 2011)

Fonte: Adaptado de Gibari, Gómez e Ruiz (2019).

Portanto, a construção de indicadores se inicia na padronização dos valores dos indicadores básicos que serão inseridos na análise, após a padronização dos indicadores básicos tem-se a ponderação, os pesos refletem a importância relativa de diferentes dimensões na contribuição do desempenho da dimensão estudada. A última operação na construção de um indicador sintético consiste na agregação dos vários indicadores que compõem uma dimensão em um indicador composto. A agregação é a



operação que consiste em condensar as informações contidas em cada indicador básico em um único item de informação, podendo levar em consideração pesos iguais ou distintos para cada variável analisada (BILBAO-TEROL; ARENAS-PARRA; ONOPKO-ONOPKO, 2019; RÖSCH et al., 2017; POLLESCH; DALE, 2015; MARE; GRANATA; NESTICÒ, 2015).

Contudo, independente do objetivo do indicador composto o mesmo deve ser robusto, assim a análise de robustez pode ser realizada por meio da análise de incerteza que se refere a mudanças que são observadas no resultado final do indicadores, e ainda pela análise de sensibilidade que mede qual a variação dessas incertezas (PERMANYER, 2011; SETH; MCGILLIVRAY, 2018).

Dessa forma, o presente estudo irá utilizar em sua estrutura matemática o método Topsis, para tanto a Figura 8 apresenta um portfólio de artigos que tratam da construção de indicadores sintéticos que utilizam como método de agregação os métodos TOPSIS e Fuzzy TOPSIS.

Figura 8 – Portfólio bibliográfico

Área	Método	Autores
Fuzzy-TOPSIS	Manufatura	(NARA et al., 2021)
TOPSIS	Telecomunicação	(GUO et al., )
AHP -TOPSIS	Urbana	(WANG et al., 2020)
Fuzzy - TOPSIS-Vikor	Tecnologia	(ZHANG et al., 2020)
TOPSIS	método	(LIERN; PÉREZ-GLADISH, 2020)
TOPSIS	Sustentabilidade	(ROSZKOWSKA; FILIPOWICZ-CHOMKO, 2020)
Fuzzy AHP/TOPSIS-Vikor	Tecnológica	(HE et al., 2019)
TOPSIS	Espaço urbano	(PILEHFOROOSHHA; KARIMI, 2019)
TOPSIS	Meio Ambiente	(LAN; PAN, 2019)
Fuzzy-TOPSIS	Tecnologia	(MURUGAANANDAM; GANAPATHY, 2019)
TOPSIS	Método	(YANG; WU, 2019)
TOPSIS	Análise de Conflito	(LEONETI; ZIOTTI, 2019)
TOPSIS	Saúde	(WIELKI; JURCZYK-BUNKOWSKA; MADERA, 2019)
TOPSIS	Segurança do Trabalho	(LEE et al., 2019)
TOPSIS	Economia	(THUONG et al., 2018)
TOPSIS	Desenvolvimento urbano	(MA et al., 2018)
TOPSIS	Cadeia de Suprimentos	(ZHOU; XU, 2018)
AHP-Electre-TOPSIS	Sustentabilidade	(KAMALI; HEWAGE; MILANI, 2018)
Fuzzy -TOPSIS	Espaço urbano	(SINGARAJU et al., 2018)
TOPSIS - MOORA - Promethee	Projeto de Estradas rurais	(BHANDARI; NALMPANTIS, 2018)
Recepe-Topsi	Sustentabilidade	(KALBAR et al., 2017)
AHP-Fuzzy TOPSIS	Qualidade da agua	(HAIDER; AL-SALAMAH; GHUMMAN, 2017)
TOPSIS	Método	(QU et al., 2017)
TOPSIS e Fuzzy TOPSIS	Tecnologia	(PRAKASH; PATEL; JAIN, 2016)
Fuzzy TOPSIS	Manufatura	(AREVALO et al., 2016)
Fuzzy TOPSIS	Sustentabilidade	(GUMUS; KUCUKVAR; TATARI, 2016)
Fuzzy TOPSIS	Incêndio	(XU et al., 2015)
Fuzzy TOPSIS	Cadeia de Suprimentos	(LI; WU, 2015)
TOPSIS, AHP, SAW	Sustentabilidade	(SHAFIEE; SAFFARIAN; ZARENDAR, 2015)
Fuzzy TOPSIS	Segurança urbana	(NAIM; HAGRAS, 2014)
AHP-TOPSIS	Sustentabilidade	(GALLEGO-AYALA et al., 2014)
Fuzzy TOPSIS	Defesa nuclear	(KABAK; RUAN, 2011)
AHP-TOPSIS	Meio Ambiente	(JOZI et al., 2011)
Fuzzy TOPSIS	Defesa nuclear	(KABAK; RUAN, 2009)
AHP-TOPSIS	Manufatura	(RAO, 2008)
TOPSIS	Manufatura	(SHIH, 2008)
Fuzzy TOPSIS	Tecnologia	(CHU; LIN, 2003)
Fuzzy TOPSIS	Manufatura	(CHU, 2002)
BWM, Dematel, TOPSIS	Sustentabilidade	(NIE et al., 2018)
AHP-TOPSIS	Manufatura	(BAI et al., 2018)
AHP-TOPSIS	Cidade Resilientes	(ZHU; LI; FENG, 2019)
Fuzzy AHP, TOPSIS	Manufatura	(BAI et al., 2020)

Fonte: Autora.

Analisando as referências da Figura 8, os maioria dos artigos utilizam o método TOPSIS ou Fuzzy Topsis na sua forma padrão, ou seja, gerando um ranking onde o coeficiente de proximidade de cada alternativa se caracteriza como o próprio indicador.

Roszkowska e Filipowicz-Chomko (2020), Pilehforoosha e Karimi (2019), Lan e Pan (2019), Leoneti e Ziotti (2019), Wielki, Jurczyk-Bunkowska e Madera (2019), Lee et al. (2019), Thuong et al. (2018), Ma et al. (2018), Zhou e Xu (2018) e Shih (2008), utilizaram o método TOPSIS no seu modelo clássico para gerar um ranking sendo o próprio coeficiente de proximidade o valor do indicador sintético.

Nara et al. (2021), Zhang et al. (2020), He et al. (2019), Murugaanandam e Ganapathy (2019), Singaraju et al. (2018), Haider, Al-Salamah e Ghumman (2017),

Prakash, Patel e Jain (2016), Arevalo et al. (2016), Gumus, Kucukvar e Tatari (2016), Xu et al. (2015), Li e Wu (2015), Naim e Hagrass (2014), Kabak e Ruan (2011), Kabak e Ruan (2009), Chu e Lin (2003), Chu (2002), Bai et al. (2018), Zhu, Li e Feng (2019) e Bai et al. (2020), aplicaram o método Fuzzy TOPSIS em seus estudos para gerar um ranking utilizando o próprio coeficiente de proximidade como valor do indicador sintético.

Wang et al. (2020), Kamali, Hewage e Milani (2018), Bhandari e Nalmpantis (2018), Kalbar et al. (2017), Shafiee, Saffarian e Zaredar (2015), Gallego-Ayala et al. (2014), Jozi et al. (2011), Rao (2008) e Nie et al. (2018), aplicaram o método TOPSIS combinando outros métodos multicritérios para gerar um ranking assumindo o valor do coeficiente de proximidade como valor do indicador sintético.

Nos estudos que modificam o método para criar um indicador sintético, Liern e Pérez-Gladish (2020) traz um novo algoritmo do método TOPSIS que não requer a fixação dos pesos dos critérios. Yang e Wu (2019) também apresenta uma variação do método utilizando o grau de dispersão dos dados para determinação dos pesos dos critérios. Qu et al. (2017) apresenta uma variação na etapa de agregação da opinião dos decisores no método Fuzzy TOPSIS.

## 2.4 PROCESSO DE APOIO À DECISÃO MULTICRITÉRIO

Diferentes metodologias de apoio a tomada de decisão podem ser utilizadas como a *Multiple-Criteria Decision Method – MCDM*, que é uma metodologia que trata problemas de escolha e tem como foco padronizar o processo de tomada de decisão por meio da modelagem matemática, auxiliando o decisor a resolver problemas nos quais existem diversos objetivos a serem satisfeitos simultaneamente (ROY, 1990; ALMEIDA; FERREIRA; CAVALCANTE, 2015; KEENEY, 1982).

Nesta lógica, métodos multicritérios são ferramentas matemáticas eficazes para resolução de problemas, a vantagem da utilização de métodos multicritérios tem-se pelo fato de que não há, decisões que sejam ótimas em uma análise, convergindo assim para a seleção da melhor opção possível (FIGUEIRA; GRECO; EHRGOTT, 2005; VINCKE, 1992).

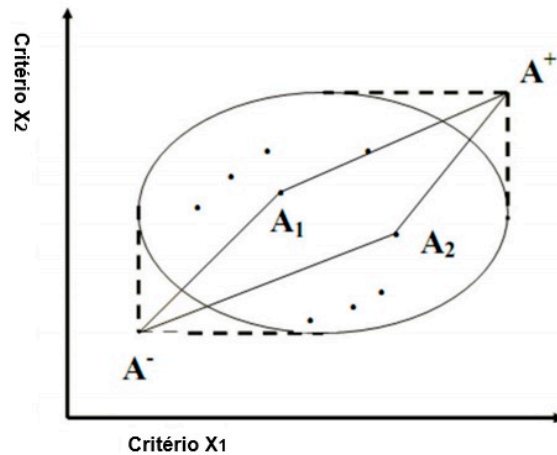
Neste sentido Roy e Słowiński (2013) e Velasquez e Hester (2013) relatam que os métodos multicritérios podem ser dividido em método de escolha, método de ordenação e método de categorização das alternativas. A diferença entre os métodos multicritérios se dá pelo fato do modelo matemático de cada um considerarem aspectos distintos e avaliarem as ações por meio de um conjunto de critérios que serve para medir o desempenho de cada ação.

Na literatura é possível encontrar artigos que buscam resolver problemas voltados para *smart city* utilizando modelos multicritérios, como: Anand et al. (2017),

Wang, Dai e Wang (2017), Zolfani et al. (2018), Addae et al. (2019), Kaklauskas et al. (2018), Gudipudi et al. (2018).

Conforme descrito anteriormente, os métodos MCDM auxiliam o tomador de decisão a avaliar um número finito de critérios. Dentre os diversos métodos MCDM utilizados atualmente o Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), proposto por Tzeng e Huang (2011), é um dos métodos mais utilizado (BEHZADIAN et al., 2012) e se destaca por buscar a alternativa que esteja mais distante da solução anti-ideal e mais perto da solução ideal como mostra a figura 9.

**Figura 9 – Conceito TOPSIS**



Fonte: Adaptado de Balioti, Tzimopoulos e Evangelides (2018)

Para utilizar a metodologia TOPSIS o decisor deve primeiro construir a matriz de decisão para as  $n$  alternativas candidatas que serão avaliadas considerando  $m$  critérios. Se  $A = A_1, A_2, \dots, A_n$  é o conjunto de  $n$  alternativas candidatas e  $C = C_1, C_2, \dots, C_m$  é o conjunto dos  $m$  critérios de avaliação, a matriz de decisão consiste em:

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

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

Com a matriz de decisão construída, o primeiro passo do método consiste em normalizar a matriz de decisão para cada critério, utilizando a equação:

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

estando  $r_{ij}$  entre 0 e 1.

Na sequência é necessário ponderar a matriz. Os elementos  $v_{ij}$  da matriz normalizada ponderada pode ser calculado através da equação:

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

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

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

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

onde B são os critérios de Benefício (ou maximização) e C são os critérios de Custos (ou minimização).

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

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

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

Por fim, a última etapa do método consiste em determinar a proximidade relativa de cada alternativa ( $C_i^*$ ) em relação a solução ideal, utilizando a equação:

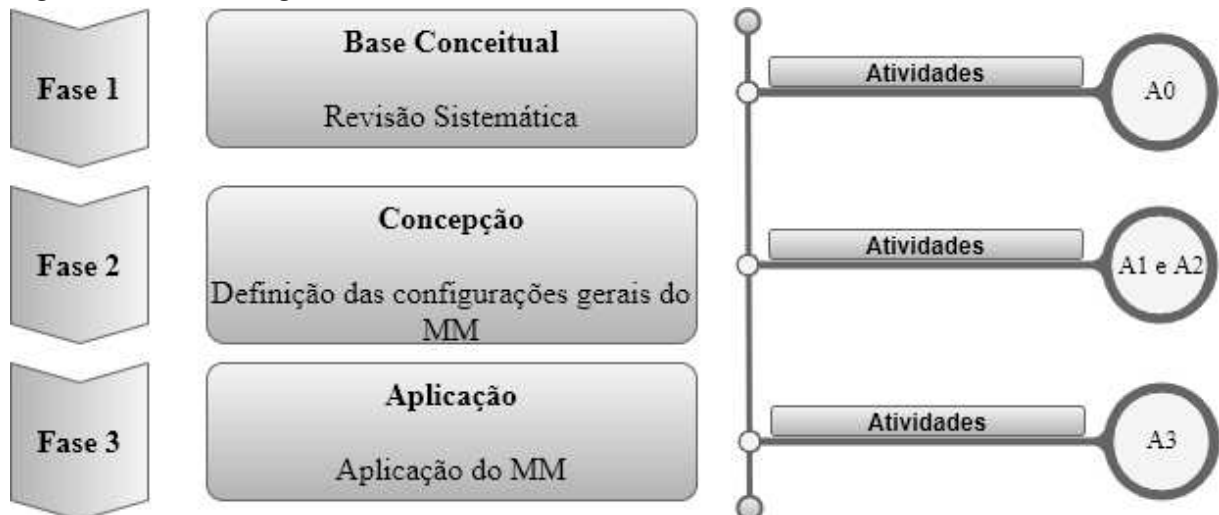
$$C_i^* = \frac{S_i^-}{(S_i^* + S_i^-)} \quad (8)$$

A partir do coeficiente de proximidade as alternativas são rankeadas para encontrar a ordem de preferencia das alterativas.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para que os objetivos deste trabalho fossem alcançados, foi realizada uma *framework* para o desenvolvimento de um modelo de maturidade voltado para *Smart City* que consiste em três etapas, as quais podem ser observadas na Figura 10.

Figura 10 – Metodologia



Fonte: Autoria própria.

Cada uma das fases é realizada por meio de atividades, a Atividade A0 irá tratar da execução da base conceitual do modelo proposto, as Atividades A1 e A2 tratam da concepção da estrutura matemática do modelo de maturidade, e a Atividade A3 trata da aplicação do modelo. As atividades foram apresentadas em formato de diagramas que seguiram a notação IDEF0 (*Icam DEFINition for Function Modeling*), esta notação é comumente utilizada para representação de diagramas de processos.

#### 3.1 FASE 1 -BASE CONCEITUAL

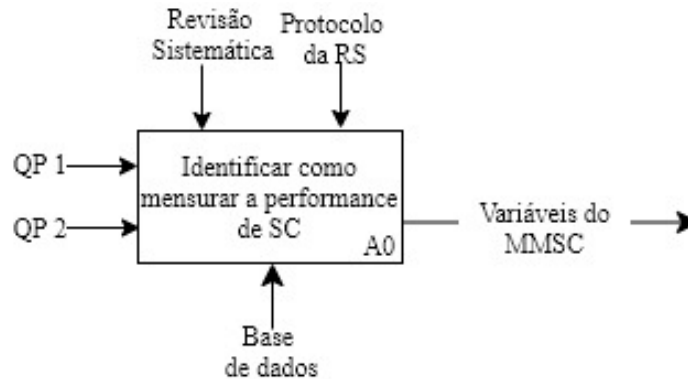
A primeira etapa da metodologia consiste na atividade A0 que trata da identificação das características de mensuração da performance de um *Smart City*, indicada na Figura 11.

A atividade contempla a Revisão Sistemática (Apêndice A), a qual se fez necessária para responder as questões de pergunta apresentadas no problema de pesquisa. São elas:

- Quais as variáveis "*smart*" devem fazer parte de um modelo de maturidade voltado a *Smart Cities*?

- Como mensurar o desempenho das variáveis "smart" para traçar planos de ações para melhorias dos níveis?

**Figura 11 – Revisão Sistemática**



**Fonte: Autoria própria.**

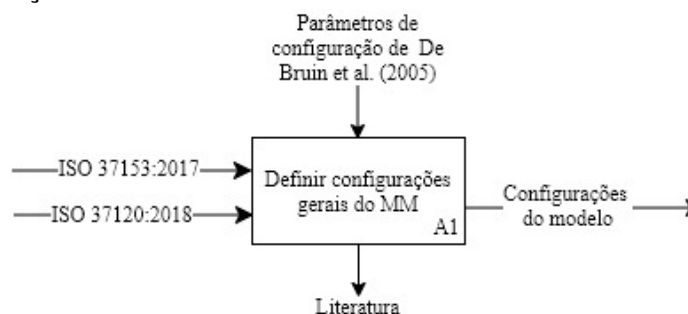
Como entrada a atividade A0 tem as duas questões de pesquisa, a própria RS como mecanismo de controle, as bases de dados e o protocolo de pesquisa como instrumento de coleta de dados, e como saída tem-se as variáveis do modelo de maturidade.

### 3.2 FASE 2 - CONCEPÇÃO

A fase 2 traz as configurações gerais do modelo desenvolvido além de apresentar o desenvolvimento do instrumento de mensuração do MMSC aqui proposto.

Com atividade A1 apresenta as configurações gerais do modelo de maturidade, a Figura 12 apresenta a sequência lógica desta etapa.

**Figura 12 – Configurações Gerais do MM.**



**Fonte: Autoria própria.**

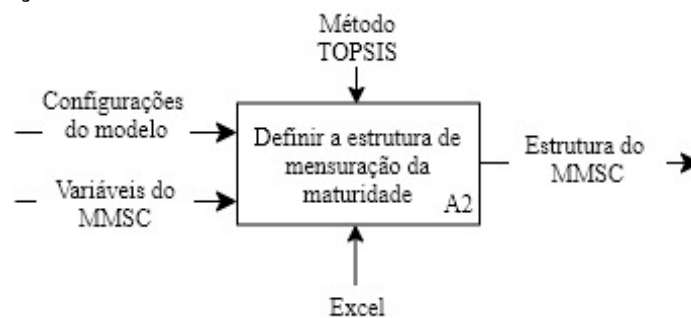
Nesta etapa, foram determinados os limites para aplicação e uso do modelo, estabelecendo seu foco e os seus *stakeholders*, além da arquitetura de suporte ao desenvolvimento e aplicação do modelo de maturidade voltado a *Smart City*. Nesse

momento, também foram identificados o público-alvo, o método de aplicação, o solicitante da avaliação, os respondentes/avaliadores e a estratégia de aplicação. Aqui, as ISO's 37153:2017 e 37120:2018 foram utilizadas como apoio.

Dessa forma, neste estudo, o Modelo de Maturidade *Smart City* (MMSC) tem um domínio específico voltado ao tratamento de questões urbanas que tratam da *smartness* de uma cidade.

A atividade A2 trata de como mensurar a maturidade *smartness* de uma cidade, ou seja, foi desenvolvido um instrumento próprio de mensuração. Dessa forma, esta etapa atendeu ao princípio básico e descritivo, como propõem Röglinger, Pöppelbuß e Becker (2012), o autor aborda que essa estrutura é necessária no desenvolvimento de um MM para garantir a usabilidade e aplicabilidade do modelo de maturidade aqui proposto. A Figura 13 apresenta a estrutura IDEF0 para o desenvolvimento do MMSC.

**Figura 13 – Identificação da *smartness* de uma cidade**



**Fonte: Autoria própria.**

Nessa fase as entradas consistem nas configurações do modelo, as quais servem para balizar sua aplicabilidade e usabilidade, que serão chamadas nessa pesquisa de variáveis do modelo e o método multicritério TOPSIS foi estruturado como instrumento matemático de medição da *smartness* do MMSC.

As variáveis do modelo aqui proposto, foram determinadas como Eixo *smart* os quais agrupam as Dimensões *smart*, que por sua vez, agrupam os indicadores *smart*. Os eixos *smart* ( $E_s$ ) representam as características que uma *smart city* deve ter, as dimensões *smart* ( $D_s$ ) definem a temática de cada indicador, e os indicadores *smart* ( $I_s$ ) medem o desempenho *smartness* de uma cidade.

Em sequência, determinou-se as alternativas de avaliação aqui denominadas de Cidade Utópica ( $A^+$ ), Cidade de Referência ( $A_R$ ), Cidade Real (A) e Cidade Limite ( $A_0$ ).

Com as variáveis definidas, foi determinado os pesos de cada indicador *smart* apresentados pela sigla  $W_{I_s}$ . Os eixos, dimensões e indicadores deste estudo possuem mesma importância, o estudo de Vavrek e Chovancová (2019) relata que não é possível se determinar peso de um conjunto extenso de indicadores por meio da



opinião de especialista, sendo assim os pesos dos eixos, dimensões, e indicadores foram definidos pela ponderação em cascata, sendo igualmente distribuídos.

Este estudo não tem o objetivo de gerar um ranking entre as alternativas ( $A_n$ ) e sim um indicador sintético que irá mensurar o nível de maturidade de uma cidade no contexto smart, para tanto, as alternativas Cidade Utópica  $A^+$ , Cidade de Referência  $A_R$  e Cidade Limite  $A_0$  são alternativas fixas que iram determinar o nível de maturidade da Cidade Real  $A$ . Para a Cidade Utópica, os valores dos indicadores são utópicos atendendo a própria característica da alternativa. Os indicadores da Cidade de Referência apresentam o melhor valor entre as principais cidades *smart* (Londres, Nova York, Amsterdam, Paris, Reykjavik). Os indicadores da Cidade Limite possuem os valores mínimos entre as principais cidades *smart* (Londres, Nova York, Amsterdam, Paris, Reykjavik). Os indicadores da Cidade Real representam os valores da cidade analisada.

O método multicritério TOPSIS foi utilizado nesta etapa, o método se inicia com a construção da matriz de decisão com os dados de cada indicador referente a a cada cidade. Com o preenchimento da matriz é realizada a normalização e ponderação dos dados (equação 2). Na etapa seguinte a solução ideal e solução anti-ideal foram calculadas, aqui a solução ideal terá valor igual a 1 para critério de maximização e 0 para critérios de minimização, e para a solução anti-ideal os critérios de maximização terão valor igual a 0 e os critérios de minimização valor igual a 1. A distância da solução ideal (equação 6) e a distância da solução anti-ideal (equação 7) são determinadas possibilitando a aplicação da equação 8 para se obter o coeficiente de proximidade ( $CC_i$ ).

A partir dos valores do  $CC_i$  de cada cidade, calcula-se o índice smart ( $I_{smart}$ ) que irá determinar o nível de maturidade da Cidade Real, como mostra a equação 9.

$$I_{smart} = \frac{A_n}{A^+} \quad (9)$$

Por fim, para se identificar quais indicadores devem ser tratados com prioridade com foco num processo de melhoria, determinou-se o índice de proximidade ( $I_{proximidade}$ ) e o índice de afastamento ( $I_{afastamento}$ ), por meio das equações 10 e 11. O  $I_{proximidade}$  irá representar o quão próximo a cidade real está da cidade de referência, já o  $I_{afastamento}$  irá apresentar o quão distante a cidade real está da cidade de limite. Onde  $A_R^*$  representa o valor da solução ideal da cidade de referência e  $A_A^*$  representa o valor da solução ideal da cidade real. Já  $A_0^-$  representa o valor da solução anti-ideal da cidade limite e  $A_A^-$  representa o valor da solução anti-ideal da cidade real.

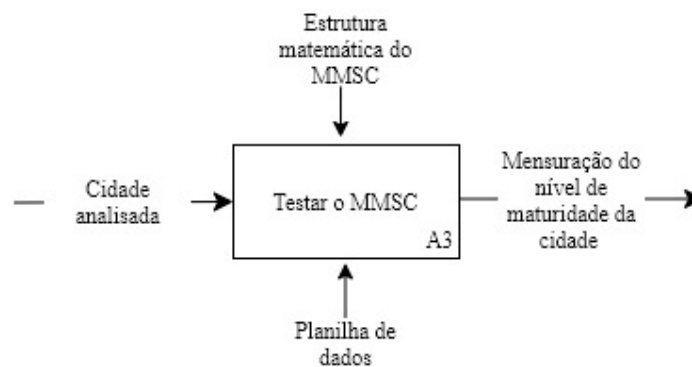
$$I_{proximidade} = A_R^* - A_A^* \quad (10)$$

$$I_{afastamento} = A_0^- - A_A^- \quad (11)$$

### 3.3 FASE 3 - APLICAÇÃO

Nesse momento, a atividade 3 contempla a aplicação do modelo de maturidade proposto, o MM foi aplicado na cidade de Londres/UK atualmente considerada a cidade mais inteligente do mundo pelo ranking *IESE - Business Schools Center for Globalization and Strategy*. A Figura 14 apresenta a sequência lógica dessa etapa.

**Figura 14 – Teste do Modelo de Maturidade**



**Fonte: Autoria própria.**

A entrada dessa atividade contempla a própria cidade analisada, a ferramenta utilizada nesta atividade é a estrutura matemática do MMSC, e como saída tem-se o resultado global do modelo proposto.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A aplicação do MMSC é composto por duas etapas, a primeira é referente a determinação das variáveis que compõem o modelo, essas variáveis são necessárias para que a estrutura matemática possa ser implementada. A segunda etapa se refere a aplicação da estrutura matemática que define a base quantitativa do modelo aqui proposto. Nesta etapa foi possível testar o modelo, identificando o nível de maturidade de uma cidade real, além de identificar quais são os indicadores com desempenho mais sensível dentro de um eixo *smart*.

### 4.1 DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS DO MMSC

A primeira etapa do MMSC se refere a definição dos níveis de maturidade que caracterizam uma cidade como *smart*. Esta etapa se apoiou nos cinco níveis de referência apresentados na norma ISO 37153:2017 - *Smart community infrastructures — Maturity model for assessment and improvement*, os níveis são apresentados no Figura 15.

A caracterização dos níveis de maturidade que irão compor o MMSC foi baseada nos níveis propostos pela ISO 37153:2017 conforme apresentado anteriormente no Figura 15, os níveis do MMSC são apresentado a seguir:

- Nível 1 - Nenhuma infraestrutura *smartness* funcionando;
- Nível 2 - *Smartness* funcionando mas não atendem as necessidades futuras;
- Nível 3 - *Smartness* satisfaz as necessidades atuais;
- Nível 4 - *Smartness* parcialmente iniciada para necessidades futuras;
- Nível 5 - *Smartness* melhorando continuamente para atender as necessidades futuras.

**Figura 15 – Níveis de Maturidade ISO 37153:2017**

Nível	Definição	Descrição
5	<i>Otimizando de forma sustentável</i>	<i>Satisfaz as necessidades futuras</i>
4	<i>Melhorando</i>	<i>Desenvolvimento iniciado para desenvolver necessidades futuras</i>
3	<i>Realizada</i>	<i>Satisfaz as necessidades atuais</i>
2	<i>Parcialmente atingido</i>	<i>Funciona, mas não satisfaz as necessidades atuais</i>
1	<i>Inicial</i>	<i>Sem estrutura funcional</i>

Fonte: Adaptado de ISO (2017)

Destaca-se que a ISO 37153:2017, na definição de desempenho dos níveis de maturidade se apresentam de forma qualitativa. Destaca-se que cada nível assume que os requisitos dos níveis anteriores foram cumpridos. Para que os níveis da ISO 37153:2017 possam ser mensurados quantitativamente, será utilizado o sistema de padrões e classificação existente para indicadores voltados a sustentabilidade urbana proposto por Wang e Xu (2005), Li et al. (2009), é apresentado a Tabela 1 e relaciona os critérios de classificação de eixo/dimensão smart.

**Tabela 1 – Valor dos Níveis de Maturidade**

Nível	Valor	Avaliação Qualitativa
5	>0,90	Excelente
4	0,90 - 0,75	Bom
3	0,75 - 0,50	Moderado
2	0,50 - 0,25	Baixo
1	<0,25	Ruim

Fonte: Adaptado Wang e Xu (2005), Li et al. (2009).

A primeira variável a ser definida no modelo proposto, são os eixos *smart*. Alguns autores sistematizam a abordagem da *smart cities* em eixos as quais norteiam os conjuntos de indicadores, que farão parte das ferramentas de avaliação de cidades inteligentes. Giffinger et al. (2007) conceitua seis eixos para uma cidade inteligente, são eles: *Smart Economy, Smart People, Smart Living, Smart Governance, Smart Mobility, Smart Environment*.

Com auxílio da ISO 37120:2018 - (*Sustainable cities and communities — Indicators for city services and quality of life*), para os seis eixos *smart* foram identificadas 19 dimensões *smart*, que por sua vez possuem 111 indicadores que irão compor o MMSC. Ressalta-se que tal norma é também um modelo de medição para cidades que queiram se tornar inteligentes e sustentáveis.

A ISO 37120:2018, apresenta 19 dimensões para cidades inteligentes, os quais tem por objetivo orientar e avaliar o gerenciamento de desempenho das atividades urbanas, esse padrão considera a sustentabilidade como seu princípio geral e a “cidade inteligente” como um conceito norteador no desenvolvimento dos espaços urbanos. Dessa forma, os eixos e dimensões que compõem o modelo aqui proposto são apresentados no Figura 16.

Figura 16 – Variáveis do MNSC

Variáveis do MNSC	
<i>Eixo Smart</i>	<i>Dimensão Smart</i>
<i>Economia</i>	Economia
	Finanças
<i>Pessoas</i>	População e Condições Sociais
<i>Vida</i>	Recreação
	Esporte/Cultura
	Segurança
	Habitação
<i>Governança</i>	Educação
	Governança
	Saúde
	Telecomunicação
	Planejamento urbano
<i>Mobilidade</i>	Transporte
<i>Meio Ambiente</i>	Energia
	Meio Ambiente e Mudanças Climáticas
	Resíduos Sólidos
	Agricultura Urbana
	Água Residual
	Água

Fonte: Adaptado de ISO (2017), Giffinger et al. (2007)

Para cada dimensão foi definido seus respectivos indicadores, como preceitua a ISO 37120:2018. A seguir são apresentados as 19 dimensões com os 111 indicadores que irão compor o modelo proposto:

- Economia:
  - I.11 Taxa de desemprego da cidade;
  - I.12 Valor avaliado das propriedades comerciais e industriais como uma porcentagem do valor total avaliado de todas as propriedades;
  - I.13 Percentual de pessoas empregadas em período integral;
  - I.14 Taxa de desemprego jovem;
  - I.15 Número de empresas por 100.000 habitantes;
  - I.16 Número de novas patentes por 100.000 habitantes por ano;
  - I.17 Número anual de estadias de visitantes (pernoite) por 100.000 habitantes;
  - I.18 Conectividade aérea comercial (número de destinos aéreos comerciais sem escalas);
  - I.19 Indicadores de perfil econômico.
- Finanças:
  - I.20 Rácio de serviço da dívida (despesa do serviço da dívida em porcentagem da receita própria da cidade);

- I.21 Gastos de capital como porcentagem do total de gastos;
  - I. 22 Receita de origem própria como porcentagem da receita total;
  - I. 23 Imposto cobrado;
  - I. 24 Indicadores de perfil financeiro.
- População e condições sociais:
    - I.25 Percentual da população da cidade que vive abaixo da linha de pobreza internacional;
    - I. 26 Percentual da população da cidade que vive abaixo da linha de pobreza nacional;
    - I. 27 Coeficiente de desigualdade de Gini;
    - I. 28 Indicadores de perfil de população e condições sociais.
- Recreação:
    - I.29 Metros quadrados de espaço público recreativo interno per capita;
    - I.30 Metros quadrados de espaço público recreativo ao ar livre per capita.
- Esporte/Cultura:
    - I. 31 Número de instituições culturais e instalações esportivas por 100.000 habitantes;
    - I. 32 Porcentagem do orçamento municipal alocado para instalações culturais e esportivas;
    - I. 33 Número anual de eventos culturais por 100.000 habitantes (por exemplo, exposições, festivais, shows).
- Segurança:
    - I. 34 Número de bombeiros por 100.000 habitantes;
    - I. 35 Número de mortes por incêndio por 100.000 habitantes;
    - I. 36 Número de mortes relacionadas a perigos naturais por 100.000 habitantes;
    - I. 37 Número de policiais por 100.000 habitantes;
    - I. 38 Número de homicídios por 100.000 habitantes;
    - I. 39 Número de bombeiros voluntários e em regime de meio período por 100.000 habitantes;
    - I. 40 Tempo de resposta para serviços de resposta a emergências da chamada inicial;

- I.41 Crimes contra propriedades por 100.000 habitantes;
  - I. 42 Número de mortes causadas por acidentes industriais por 100.000 habitantes;
  - I. 43 Número de crimes violentos contra as mulheres por 100.000 habitantes.
- Habitação:
    - I. 44 Porcentagem da população da cidade que vive em moradias inadequadas;
    - I. 45 Porcentagem da população que vive em moradias populares;
    - I. 46 Número de sem-teto por 100.000 habitantes;
    - I. 47 Porcentagem de famílias que existem sem títulos legais registrados;
    - I. 48 Indicadores de perfil de habitação.
- Educação:
    - I. 49 Percentual da população feminina em idade escolar matriculada nas escolas;
    - I.50 Percentual de alunos que concluíram o ensino fundamental: taxa de sobrevivência;
    - I.51 Percentual de alunos que concluíram o ensino médio: taxa de sobrevivência;
    - I. 52 Proporção entre alunos e professores do ensino fundamental;
    - I. 53 Percentual da população em idade escolar matriculada nas escolas;
    - I. 54 Número de graus de ensino superior por 100.000 habitantes .
- Governança:
    - I. 55 Mulheres como porcentagem do total de eleitos para cargos no nível da cidade;
    - I. 56 Número de condenações por corrupção e/ou suborno por funcionários da cidade por 100.000 habitantes;
    - I. 57 Número de eleitores registrados como porcentagem da população em idade de votar;
    - I. 58 Participação do eleitor nas últimas eleições municipais (como porcentagem de eleitores registrados).
- Saúde:

- I. 59 Expectativa média de vida;
  - I. 60 Número de leitos hospitalares por 100.000 habitantes;
  - I. 61 Número de médicos por 100.000 habitantes;
  - I. 62 Mortalidade abaixo de cinco anos por 1.000 nascidos vivos;
  - I.63 Número de pessoal de enfermagem e obstetrícia por 100.000 habitantes;
  - I.64 Taxa de suicídio por 100.000 habitantes.
- Telecomunicação:
    - I.65 Número de conexões à Internet por 100.000 habitantes;
    - I.66 Número de conexões de telefonia móvel por 100.000 habitantes.
- Planejamento Urbano:
    - I.67 Área verde (hectares) por 100.000 habitantes;
    - I.68 Tamanho regional dos assentamentos informais como porcentagem da área da cidade;
    - I.69 Relação emprego-habitação;
    - I.70 Proximidade básica do serviço;
    - I.71 Indicadores de perfil de planejamento urbano.
- Transporte:
    - I.72 Quilômetros de sistema de transporte público por 100.000 habitantes;
    - I.73 Número anual de viagens de transporte público per capita;
    - I.74 Porcentagem de passageiros que usam um modo de viagem para trabalhar que não seja um veículo pessoal;
    - I.75 Quilômetros de ciclovias e ciclovias por 100.000 habitantes;
    - I.76 Mortes por transporte por 100.000 habitantes;
    - I.77 Porcentagem da população que vive a 0,5 km de transporte público circulando pelo menos a cada 20 minutos durante os períodos de pico;
    - I.78 Tempo médio de deslocamento;
    - I.79 Indicadores de perfil de transporte.
- Energia:
    - I.80 Consumo total de energia de uso final per capita (GJ/ano);

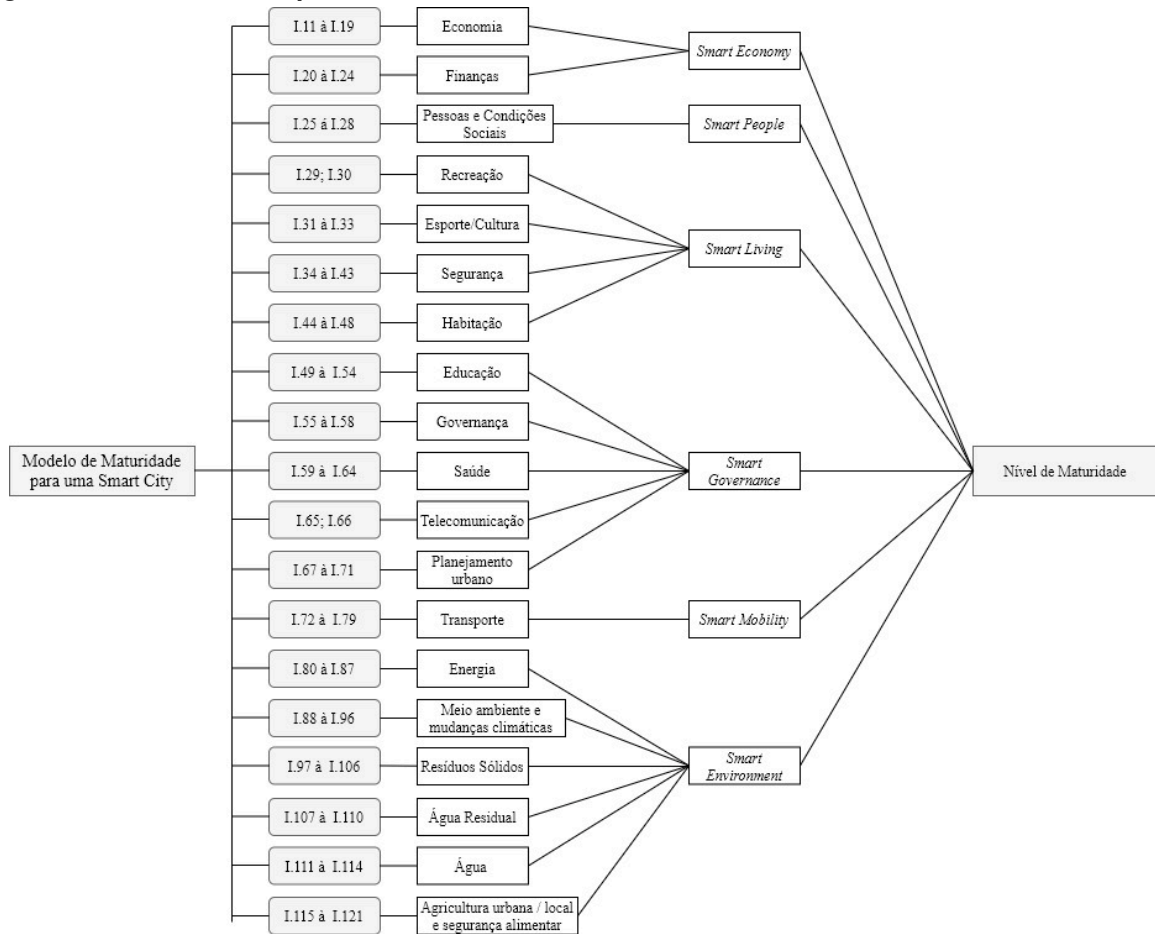


- I.81 Porcentagem do total de energia de uso final derivada de fontes renováveis;
  - I.82 Percentual da população da cidade com serviço elétrico autorizado (residencial);
  - I.83 Número de conexões do serviço de distribuição de gás por 100.000 habitantes (residencial);
  - I.84 Consumo final de energia dos edifícios públicos por ano ( $GJ/m^2$ );
  - I.85 Consumo de eletricidade da iluminação pública por quilômetro de rua iluminada (kWh/ano);
  - I.86 Horas anuais médias de interrupção do serviço elétrico por família;
  - I.87 Indicadores do perfil energético.
- Meio Ambiente e Mudanças Climáticas:
    - I.88 Concentração de partículas finas (PM2.5);
    - I.89 Concentração de material particulado (PM10);
    - I.90 Emissões de gases de efeito estufa medidas em toneladas per capita;
    - I.91 Porcentagem de áreas designadas para proteção natural;
    - I.92 Concentração de  $NO_2$  (dióxido de nitrogênio);
    - I.93 Concentração de  $SO_2$  (dióxido de enxofre);
    - I.94 Concentração de  $O_3$  (ozônio);
    - I.95 Poluição sonora;
    - I.96 Variação percentual no número de espécies nativas.
- Resíduos Sólidos:
    - I.97 Percentual da população da cidade com coleta regular de resíduos sólidos (residencial);
    - I.98 Total de resíduos sólidos urbanos coletados per capita;
    - I.99 Percentual de resíduos sólidos da cidade que é reciclado;
    - I.100 Porcentagem de resíduos sólidos da cidade que são descartados em um aterro sanitário;
    - I.101 Porcentagem de resíduos sólidos da cidade que são tratados em usinas de energia a partir de resíduos;
    - I.102 Percentual de resíduos sólidos da cidade que são tratados biologicamente e usados como composto;

- I.103 Porcentagem de resíduos sólidos da cidade que são descartados em lixões abertos;
  - I.104 Percentual de resíduos sólidos da cidade que é descartado por outros meios;
  - I.105 Geração de resíduos perigosos per capita (toneladas);
  - I.106 Porcentagem de resíduos perigosos da cidade que é reciclada.
- Agricultura Urbana:
    - I.107 Área agrícola urbana total por 100.000 habitantes;
    - I.108 Quantidade de alimentos produzidos localmente como porcentagem do total de alimentos fornecidos à cidade;
    - I.109 Percentual da população da cidade desnutrida;
    - I.110 Percentual da população da cidade que está com sobrepeso ou obesidade - Índice de Massa Corporal (IMC).
  - Águas residuais:
    - I.111 Porcentagem da população da cidade atendida pela coleta de águas residuais;
    - I.112 Porcentagem de águas residuais da cidade que recebe tratamento centralizado;
    - I.113 Porcentagem da população com acesso a saneamento melhorado;
    - I.114 Taxa de conformidade do tratamento de águas residuais.
  - Água:
    - I.115 Percentual da população da cidade com serviço de abastecimento de água potável;
    - I.116 Percentual da população da cidade com acesso sustentável a uma fonte de água melhorada;
    - I.117 Consumo total de água doméstica per capita (litros/dia);
    - I.118 Taxa de conformidade da qualidade da água potável;
    - I.119 Consumo total de água per capita (litros/dia);
    - I.120 Horas anuais médias de interrupção do serviço de água por família;
    - I.121 Porcentagem de perda de água (não contabilizada pela água).

Dessa forma, o estudo contempla 6 Eixos *smart* conceituados por Giffinger et al. (2007), 19 Dimensões *smart* e 111 indicadores *smart* conceituados pela ISO 37120:2018, e os níveis de maturidade conceituados pela ISO 37153:2017. A Figura 17 apresenta a estrutura hierárquica do MMSC.

**Figura 17 – Matriz Hierárquica**



Fonte: Autoria própria.

## 4.2 APLICAÇÃO DO MODELO DE MATURIDADE PARA SMART CITIES

Esta seção apresenta a aplicação do modelo de maturidade voltado a *smart cities* aqui proposto. O Modelo de Maturidade *Smart Cities* (MMSC), foi estruturado com base na ISO 37153:2017 e ISO 37120:2018, o MM foi testado utilizando os dados da cidade de Londres - UK. A capital britânica liderou o ranking do *IESE Business Schools Center for Globalization and Strategy* do ano de 2019.

A base matemática do MMSC se baseia na estrutura de um problema de tomada de decisão multicritério, dessa forma a primeira etapa de cálculo é a determinação dos pesos dos indicadores *smart*. Aqui foi definido peso ( $W$ ) de importância igual tanto para os indicadores quanto para as dimensões e eixos, pois ao se considerar um cidade inteligente, todas as variáveis que a definem devem ser estruturadas de forma igualitária não compensando as demais variáveis.

Com os pesos dos indicadores definidos, a aplicação do método TOPSIS se inicia, a matriz de decisão então é construída com os 111 indicadores (critérios) juntamente com as 4 alternativas (Tabela 2): Cidade Utopica, Cidade de Referência, Cidade

Limite e Cidade Real.

**Tabela 2 – Alternativas**

Código	Cidade
$A^+$	Utópica
$A_0$	Limite
$A_R$	Referência
$A$	Real

Para a aplicação da estrutura matemática, os dados referentes aos indicadores da Cidade Utópica, Cidade Limite, Cidade de Referência e Cidade Real (Londres) foram extraídos dos bancos de dados: *WCCD Global Cities Registry*, *Numbeo*, *The World Bank*, *Global SDG Indicators Database*, *World Health Organization*.

Com a definição dos valores de cada indicador *smart* e sua respectiva alternativa o método multicritério TOPSIS é aplicado. Neste estudo, as alternativas Cidade Utópica, Cidade de Referência e Cidade Limite são fixas, se tornando assim alternativas balizadoras pois o foco aqui não é construir um ranking e sim através do coeficiente de proximidade da Cidade Real gerar um indicador sintético que permita mensurar seu nível de maturidade.

Os valores dos indicadores I.12, I.17, I.19, I.24, I.28, I.32, I.33, I.35, I.42, I.48, I.54, I.56, I.63, I.64, I.68, I.69, I.70, I.71, I.72, I.74, I.77, I.79, I.83, I.84, I.85, I.87, I.120 e I.121 não foram utilizados, ou porque não são mensurados ou os órgãos responsáveis não os divulgam. Deste modo, esses indicadores foram excluídos da análise.

A Tabela 3 apresenta a matriz de decisão do problema. Com a aplicação das equações 2 e 3 obteve-se a matriz de decisão normalizada ponderada, como mostra a tabela 4. A tabela 5 apresenta a solução ideal e anti-ideal, aqui os valores foram definidos como 1 para critérios de maximização e 0 para critérios de minimização na solução ideal, e para a solução anti-ideal os critérios de maximização receberam valor 0 e para minimização valor 1. Aplicando as equações 6 e 7 foi possível calcular as distâncias ideal e anti-ideal, como mostra a tabela 6.

Tabela 3 – Matriz de decisão

Indicador	A <sup>+</sup>	A <sub>0</sub>	A <sub>R</sub>	A(Londres)	Indicador	A <sup>+</sup>	A <sub>0</sub>	A <sub>R</sub>	A(Londres)
I.11	0,0	6,0	2,8	2,8	I.66	345000	114000	129000	129000
I.13	1,0	0,0	1,0	1,0	I.67	860,0	4,0	700,0	13,5
I.14	0,0	1,0	0,0	0,1	I.73	502	109	480	480
I.15	100,0	0,0	9,3	9,3	I.75	64,7	0,0	1,2	1,2
I.16	100,0	0,0	86,5	86,5	I.76	0,0	100,0	3,0	3,0
I.18	920000	450000	515811	515811	I.78	12,0	162,0	20,0	162,0
I.20	0,0	3,0	0,0	0,0	I.80	1,0	10,0	2,1	5,1
I.21	0,0	25,0	0,2	0,2	I.81	1,0	0,0	0,8	0,8
I.22	1,0	0,0	0,3	0,3	I.82	1,0	0,0	1,0	1,0
I.23	0,0	50,0	31,0	30,6	I.86	0,0	168,0	24,0	4,0
I.25	0,0	2,0	0,0	0,1	I.88	0,0	125,0	25,0	0,1
I.26	0,0	2,0	0,0	0,0	I.89	0,0	250,0	50,0	50,0
I.27	0,0	31,0	27,0	26,8	I.90	0,0	0,1	0,0	0,7
I.29	24,0	5,0	18,0	18,0	I.91	1,0	0,0	0,3	0,3
I.30	40,0	5,0	22,0	14,0	I.92	0	1130	200	134
I.31	1000	0	676	676	I.93	0	800	20	14
I.34	1000	0,0	30,0	30,0	I.94	0	200	100	66
I.36	0,0	10,0	0,0	2,0	I.95	0,0	85,0	70,0	53,4
I.37	10000	10	635	635	I.97	1,0	0,0	1,0	1,0
I.38	0,0	30,0	1,2	0,8	I.98	1,0	0,0		1,0
I.39	10000,0	10,0	21,7	17,7	I.99	1,0	0,1	0,4	0,4
I.40	2,0	60,0	5,0	3,0	I.100	100	32	89	89
I.43	0,0	5,0	0,0	1,4	I.102	1,0	0,1	0,2	0,2
I.44	0,0	0,1	0,0	0,0	I.103	0,0	1,0	0,3	0,3
I.45	0,0	1,0	0,0	0,1	I.104	0,0	1,0	0,0	0,0
I.46	0	100000	38	108	I.105	0,0	100,0	0,0	0,1
I.47	0,0	1,0	0,0	1,0	I.106	1,0	0,0	0,6	0,6
I.49	1,0	0,0	1,0	1,0	I.108	1,0	0,0	0,8	0,8
I.50	1,0	0,0	1,0	1,0	I.109	0,0	1,0	0,0	0,0
I.51	1,0	0,7	1,0	1,0	I.110	0,0	1,0	0,0	0,0
I.52	1,0	0,3	10,0	10,0	I.111	1,0	0,9	1,0	1,0
I.53	1,0	0,5	1,0	1,0	I.112	1,0	0,5	0,8	0,8
I.55	0,5	0,6	0,4	0,4	I.113	1,0	0,6	0,7	0,7
I.57	100,0	80,0	100,0	93,0	I.114	1,0	0,7	1,0	1,0
I.58	100,0	36,0	100,0	96,0	I.115	1,0	0,8	1,0	1,0
I.59	85,0	25,0	83,0	83,0	I.116	1,0	0,9	1,0	1,0
I.60	1870,0	0,0	650,0	650,0	I.117	107	0	110	110
I.61	1,0	0,0	0,5	0,5	I.118	1,0	0,1	0,2	0,2
I.62	0,0	1000,0	2,0	2,0	I.119	107	0	110	110
I.65	100000	78000	99000	99000					

Tabela 4 – Matriz de decisão normalizada

Indicador	$A^+$	$A_0$	$A_R$	$A(\text{Londres})$	Indicador	$A^+$	$A_0$	$A_R$	$A(\text{Londres})$
I.11	0,00	0,52	0,24	0,24	I.66	0,48	0,16	0,18	0,18
I.13	0,34	0,00	0,33	0,33	I.67	0,55	0,00	0,44	0,01
I.14	0,00	0,90	0,04	0,06	I.73	0,32	0,07	0,31	0,31
I.15	0,84	0,00	0,08	0,08	I.75	0,96	0,00	0,02	0,02
I.16	0,37	0,00	0,32	0,32	I.76	0,00	0,94	0,03	0,03
I.18	0,38	0,19	0,21	0,21	I.78	0,03	0,46	0,06	0,46
I.20	0,00	1,00	0,00	0,00	I.80	0,05	0,55	0,12	0,28
I.21	0,00	0,98	0,01	0,01	I.81	0,39	0,00	0,30	0,30
I.22	0,66	0,00	0,17	0,17	I.82	0,33	0,00	0,33	0,33
I.23	0,00	0,45	0,28	0,27	I.86	0,00	0,86	0,12	0,02
I.25	0,00	0,95	0,00	0,05	I.88	0,00	0,83	0,17	0,00
I.26	0,00	1,00	0,00	0,00	I.89	0,00	0,71	0,14	0,14
I.27	0,00	0,37	0,32	0,32	I.90	0,00	0,13	0,01	0,87
I.29	0,37	0,08	0,28	0,28	I.91	0,60	0,00	0,20	0,20
I.30	0,49	0,06	0,27	0,17	I.92	0,00	0,77	0,14	0,09
I.31	0,43	0,00	0,29	0,29	I.93	0,00	0,96	0,02	0,02
I.34	0,00	0,89	0,11	0,00	I.94	0,00	0,55	0,27	0,18
I.36	0,00	0,83	0,00	0,17	I.95	0,00	0,41	0,34	0,26
I.37	0,89	0,00	0,06	0,06	I.97	0,33	0,00	0,33	0,33
I.38	0,00	0,94	0,04	0,02	I.98	0,51	0,00	0,00	0,49
I.39	1,00	0,00	0,00	0,00	I.99	0,56	0,06	0,19	0,19
I.40	0,03	0,86	0,07	0,04	I.100	0,32	0,10	0,29	0,29
I.43	0,00	0,78	0,00	0,22	I.102	0,68	0,07	0,12	0,12
I.44	0,00	1,00	0,00	0,00	I.103	0,00	0,66	0,17	0,17
I.45	0,00	0,93	0,02	0,05	I.104	0,00	1,00	0,00	0,00
I.46	0,00	1,00	0,00	0,00	I.105	0,00	1,00	0,00	0,00
I.47	0,00	0,50	0,00	0,50	I.106	0,44	0,00	0,28	0,28
I.49	0,33	0,00	0,33	0,33	I.108	0,40	0,00	0,30	0,30
I.50	0,33	0,00	0,33	0,33	I.109	0,00	0,96	0,01	0,03
I.51	0,27	0,19	0,27	0,27	I.110	0,00	0,98	0,02	0,00
I.52	0,05	0,01	0,47	0,47	I.111	0,26	0,22	0,26	0,26
I.53	0,29	0,14	0,29	0,29	I.112	0,34	0,15	0,25	0,25
I.55	0,26	0,32	0,21	0,21	I.113	0,34	0,19	0,23	0,23
I.57	0,27	0,21	0,27	0,25	I.114	0,27	0,19	0,27	0,27
I.58	0,30	0,11	0,30	0,29	I.115	0,26	0,21	0,26	0,26
I.59	0,31	0,09	0,30	0,30	I.116	0,26	0,23	0,26	0,26
I.60	0,59	0,00	0,21	0,21	I.117	0,33	0,00	0,34	0,34
I.61	0,50	0,00	0,25	0,25	I.118	0,69	0,07	0,12	0,12
I.62	0,00	1,00	0,00	0,00	I.119	0,33	0,00	0,34	0,34
I.65	0,27	0,21	0,26	0,26					

Tabela 5 – Solução ideal e anti-ideal

Indicador	Tipo	Ideal	Anti-ideal	Indicador	Tipo	Ideal	Anti-ideal
I.11	-	0	1	I.66	+	1	0
I.13	+	1	0	I.67	+	1	0
I.14	-	0	1	I.73	+	1	0
I.15	+	1	0	I.75	+	1	0
I.16	+	1	0	I.76	-	0	1
I.18	+	1	0	I.78	-	0	1
I.20	-	0	1	I.80	+	1	0
I.21	-	0	1	I.81	+	1	0
I.22	-	0	1	I.82	+	1	0
I.23	-	0	1	I.86	-	0	1
I.25	-	0	1	I.88	-	0	1
I.26	-	0	1	I.89	-	0	1
I.27	-	0	1	I.90	+	1	0
I.29	+	1	0	I.91	+	1	0
I.30	+	1	0	I.92	-	0	1
I.31	+	1	0	I.93	-	0	1
I.34	+	1	0	I.94	-	0	1
I.36	-	0	1	I.95	-	0	1
I.37	+	1	0	I.97	+	1	0
I.38	-	0	1	I.98	+	1	0
I.39	+	1	0	I.99	+	1	0
I.40	-	0	1	I.100	+	1	0
I.43	-	0	1	I.102	+	1	0
I.44	-	0	1	I.103	-	0	1
I.45	-	0	1	I.104	-	0	1
I.46	-	0	1	I.105	-	0	1
I.47	-	0	1	I.106	+	1	0
I.49	+	1	0	I.108	+	1	0
I.50	+	1	0	I.109	-	0	1
I.51	+	1	0	I.110	-	0	1
I.52	+	1	0	I.111	+	1	0
I.53	+	1	0	I.112	+	1	0
I.55	+	1	0	I.113	+	1	0
I.57	+	1	0	I.114	+	1	0
I.58	+	1	0	I.115	+	1	0
I.59	+	1	0	I.116	+	1	0
I.60	+	1	0	I.117	+	1	0
I.61	+	1	0	I.118	+	1	0
I.62	-	0	1	I.119	+	1	0
I.65	+	1	0				

Tabela 6 – Distância das Soluções ideal e anti-ideal

Indicador	S*				S-				Indicador	S*				S-			
	A <sup>+</sup>	A <sub>0</sub>	A <sub>R</sub>	A	A <sup>+</sup>	A <sub>0</sub>	A <sub>R</sub>	A		A <sup>+</sup>	A <sub>0</sub>	A <sub>R</sub>	A	A <sup>+</sup>	A <sub>0</sub>	A <sub>R</sub>	A
I.11	0,0	0,5	0,2	0,2	-1,0	-0,5	-0,8	-0,8	I.66	-0,5	-0,8	-0,8	-0,8	0,5	0,2	0,2	0,2
I.13	-0,7	-1,0	-0,7	-0,7	0,3	0,0	0,3	0,3	I.67	-0,5	-1,0	-0,6	-1,0	0,5	0,0	0,4	0,0
I.14	-1,0	-0,1	-1,0	-0,9	0,0	0,9	0,0	0,1	I.73	-0,7	-0,9	-0,7	-0,7	0,3	0,1	0,3	0,3
I.15	-0,2	-1,0	-0,9	-0,9	0,8	0,0	0,1	0,1	I.75	0,0	-1,0	-1,0	-1,0	1,0	0,0	0,0	0,0
I.16	-0,6	-1,0	-0,7	-0,7	0,4	0,0	0,3	0,3	I.76	0,0	0,9	0,0	0,0	-1,0	-0,1	-1,0	-1,0
I.18	-0,6	-0,8	-0,8	-0,8	0,4	0,2	0,2	0,2	I.78	0,03	0,46	0,06	0,46	-0,97	-0,54	-0,94	-0,54
I.20	0,0	1,0	0,0	0,0	-1,0	0,0	-1,0	-1,0	I.80	-0,9	-0,5	-0,9	-0,7	0,1	0,5	0,1	0,3
I.21	0,0	1,0	0,0	0,0	-1,0	0,0	-1,0	-1,0	I.81	-0,6	-1,0	-0,7	-0,7	0,4	0,0	0,3	0,3
I.22	0,7	0,0	0,2	0,2	-0,3	-1,0	-0,8	-0,8	I.82	-0,7	-1,0	-0,7	-0,7	0,3	0,0	0,3	0,3
I.23	0,0	0,4	0,3	0,3	-1,0	-0,6	-0,7	-0,7	I.86	0,0	0,9	0,1	0,0	-1,0	-0,1	-0,9	-1,0
I.25	0,0	1,0	0,0	0,0	-1,0	0,0	-1,0	-1,0	I.88	0,0	0,8	0,2	0,0	-1,0	-0,2	-0,8	-1,0
I.26	0,0	1,0	0,0	0,0	-1,0	0,0	-1,0	-1,0	I.89	0,0	0,7	0,1	0,1	-1,0	-0,3	-0,9	-0,9
I.27	0,0	0,4	0,3	0,3	-1,0	-0,6	-0,7	-0,7	I.90	-1,0	-0,9	-1,0	-0,1	0,0	0,1	0,0	0,9
I.29	-0,6	-0,9	-0,7	-0,7	0,4	0,1	0,3	0,3	I.91	-0,4	-1,0	-0,8	-0,8	0,6	0,0	0,2	0,2
I.30	-0,5	-0,9	-0,7	-0,8	0,5	0,1	0,3	0,2	I.92	0,0	0,8	0,1	0,1	-1,0	-0,2	-0,9	-0,9
I.31	-0,6	-1,0	-0,7	-0,7	0,4	0,0	0,3	0,3	I.93	0,0	1,0	0,0	0,0	-1,0	0,0	-1,0	-1,0
I.34	-1,0	-0,1	-0,9	-1,0	0,0	0,9	0,1	0,0	I.94	0,0	0,5	0,3	0,2	-1,0	-0,5	-0,7	-0,8
I.36	0,0	0,8	0,0	0,2	-1,0	-0,2	-1,0	-0,8	I.95	0,0	0,4	0,3	0,3	-1,0	-0,6	-0,7	-0,7
I.37	-0,1	-1,0	-0,9	-0,9	0,9	0,0	0,1	0,1	I.97	-0,7	-1,0	-0,7	-0,7	0,3	0,0	0,3	0,3
I.38	0,0	0,9	0,0	0,0	-1,0	-0,1	-1,0	-1,0	I.98	-0,5	-1,0	-1,0	-0,5	0,5	0,0	0,0	0,5
I.39	0,0	-1,0	-1,0	-1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	I.99	-0,4	-0,9	-0,8	-0,8	0,6	0,1	0,2	0,2
I.40	0,0	0,9	0,1	0,0	-1,0	-0,1	-0,9	-1,0	I.100	-0,7	-0,9	-0,7	-0,7	0,3	0,1	0,3	0,3
I.43	0,0	0,8	0,0	0,2	-1,0	-0,2	-1,0	-0,8	I.102	-0,3	-0,9	-0,9	-0,9	0,7	0,1	0,1	0,1
I.44	0,0	1,0	0,0	0,0	-1,0	0,0	-1,0	-1,0	I.103	0,0	0,7	0,2	0,2	-1,0	-0,3	-0,8	-0,8
I.45	0,0	0,9	0,0	0,0	-1,0	-0,1	-1,0	-1,0	I.104	0,0	1,0	0,0	0,0	-1,0	0,0	-1,0	-1,0
I.46	0,0	1,0	0,0	0,0	-1,0	0,0	-1,0	-1,0	I.105	0,0	1,0	0,0	0,0	-1,0	0,0	-1,0	-1,0
I.47	0,0	0,5	0,0	0,5	-1,0	-0,5	-1,0	-0,5	I.106	-0,6	-1,0	-0,7	-0,7	0,4	0,0	0,3	0,3
I.49	-0,7	-1,0	-0,7	-0,7	0,3	0,0	0,3	0,3	I.108	-0,6	-1,0	-0,7	-0,7	0,4	0,0	0,3	0,3
I.50	-0,7	-1,0	-0,7	-0,7	0,3	0,0	0,3	0,3	I.109	0,0	1,0	0,0	0,0	-1,0	0,0	-1,0	-1,0
I.51	-0,7	-0,8	-0,7	-0,7	0,3	0,2	0,3	0,3	I.110	0,0	1,0	0,0	0,0	-1,0	0,0	-1,0	-1,0
I.52	-1,0	-1,0	-0,5	-0,5	0,0	0,0	0,5	0,5	I.111	-0,7	-0,8	-0,7	-0,7	0,3	0,2	0,3	0,3
I.53	-0,7	-0,9	-0,7	-0,7	0,3	0,1	0,3	0,3	I.112	-0,7	-0,8	-0,7	-0,7	0,3	0,2	0,3	0,3
I.55	-0,7	-0,7	-0,8	-0,8	0,3	0,3	0,2	0,2	I.113	-0,7	-0,8	-0,8	-0,8	0,3	0,2	0,2	0,2
I.57	-0,7	-0,8	-0,7	-0,8	0,3	0,2	0,3	0,2	I.114	-0,7	-0,8	-0,7	-0,7	0,3	0,2	0,3	0,3
I.58	-0,7	-0,9	-0,7	-0,7	0,3	0,1	0,3	0,3	I.115	-0,7	-0,8	-0,7	-0,7	0,3	0,2	0,3	0,3
I.59	-0,7	-0,9	-0,7	-0,7	0,3	0,1	0,3	0,3	I.116	-0,7	-0,8	-0,7	-0,7	0,3	0,2	0,3	0,3
I.60	-0,4	-1,0	-0,8	-0,8	0,6	0,0	0,2	0,2	I.117	-0,7	-1,0	-0,7	-0,7	0,3	0,0	0,3	0,3
I.61	-0,5	-1,0	-0,8	-0,8	0,5	0,0	0,2	0,2	I.118	-0,3	-0,9	-0,9	-0,9	0,7	0,1	0,1	0,1
I.62	0,0	1,0	0,0	0,0	-1,0	0,0	-1,0	-1,0	I.119	-0,7	-1,0	-0,7	-0,7	0,3	0,0	0,3	0,3
I.65	-0,7	-0,8	-0,7	-0,7	0,3	0,2	0,3	0,3									

Na etapa final, foi calculado o coeficiente de proximidade  $CC_i$  por meio da equação 8 em sequência a equação 9 é aplicada para se definir o Índice Smart que irá representar o Nível de Maturidade das cidades, a Tabela 7 apresenta os valores desta etapa.

Tabela 7 – Classificação final

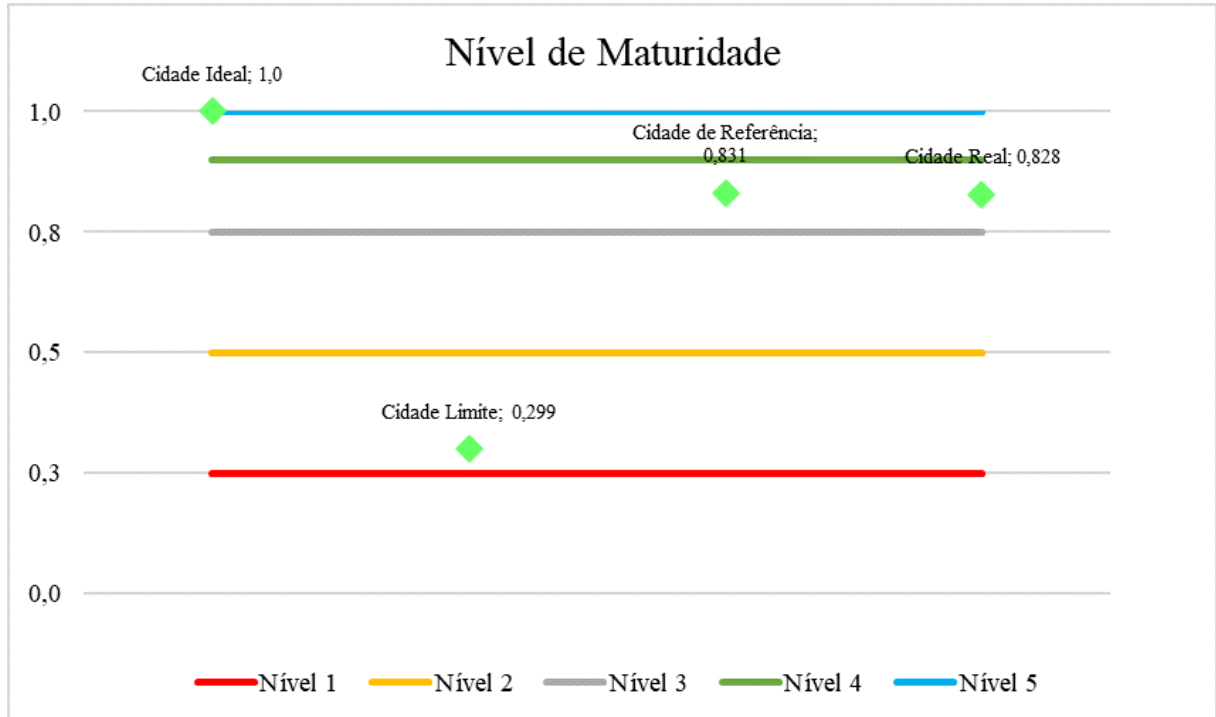
Cidade	$S_i^*$	$S_i^-$	$C_i$	Ranking	Índice Smart
A <sup>+</sup>	0,47	0,74	0,61	1	1,000
A <sub>0</sub>	0,89	0,20	0,18	4	0,299
A <sub>R</sub>	0,60	0,62	0,51	2	0,831
A(Londres)	0,59	0,61	0,51	3	0,828

Com base no Figura 15 que trata sobre os níveis de maturidade definidos pela ISO 37153:2017 e pela Tabela 1 que trata sobre os valores destes níveis, Londres aqui representada pela Cidade Real se caracteriza como nível de maturidade 3. Logo, a cidade é considerada inteligente, com ações que atende as necessidades atuais dentro do conceito *smartness*. As demais cidades, servem apenas para balizar o índice smart da Cidade Real que neste caso é representada por Londres, logo a Cidade Utopica tem nível de maturidade 5, a Cidade Limite nível de maturidade 1, e a Cidade de



Referência nível de maturidade 3. A Figura 18 apresenta um gráfico com os valores do Índice *Smart* de cada cidades analisadas.

**Figura 18 – Nível de Maturidade**

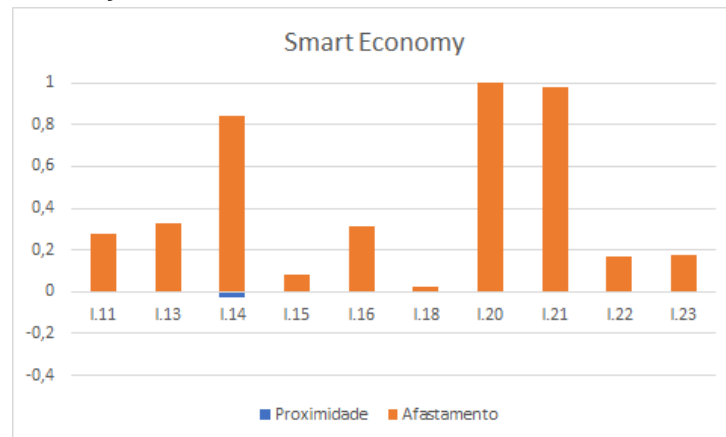


**Fonte: Autoria própria.**

Para que o MMSC seja considerado prescritivo além de mensurar o nível de maturidade da cidade real ele deve ser capaz de direcionar melhorias para que os indicadores consigam aumentar seu valor de desempenho. Para tanto, com as equações 10 e 11 foi possível identificar para cada eixo e dimensão quais indicadores devem ser priorizados para melhorar sua performance.

Em relação a economia, Londres é considerada um dos principais centros econômicos do mundo (ALDERETE, 2020), contribuindo assim para que os níveis de desenvolvimento econômico e emprego estejam diretamente relacionados à qualidade de vida geral e à satisfação do cidadão. A Figura 19 apresenta os índices de proximidade e afastamento para o o Eixo *Smart Economy*, em relação ao índice de proximidade apenas o indicadore I.14 de Londres esta afastasdo do valore da Cidade de Referência, já o índice de afastamento apresenta todos os valores dos indicadores de Londres acima dos valores da Cidade Limite.

**Figura 19 – Smart Economy**



**Fonte: Autoria própria.**

Para maior compreensão os indicadores do eixo *Smart Economy* com suas respectivas siglas são apresentadas a seguir:

- Eixo *Smart Economy*
  - I.11 Taxa de desemprego da cidade;
  - I.13 Percentual de pessoas empregadas em período integral;
  - I.14 Taxa de desemprego jovem;
  - I.15 Número de empresas por 100.000 habitantes;
  - I.16 Número de novas patentes por 100.000 habitantes por ano;
  - I.18 Conectividade aérea comercial (número de destinos aéreos comerciais sem escalas);
  - I.20 Rácio de serviço da dívida (despesa do serviço da dívida em percentagem da receita própria da cidade);
  - I.21 Gastos de capital como percentagem do total de gastos;
  - I.22 Receita de origem própria como percentagem da receita total;
  - I.23 Imposto cobrado como uma percentagem do imposto cobrado;

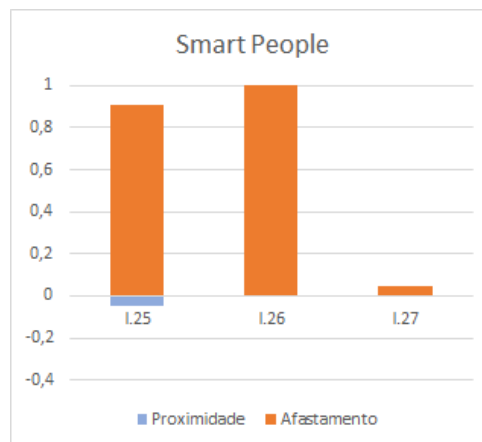
Com o desenvolvimento de estratégias que melhorem o desempenho do indicador I.14 podem resultar em ações que consigam promover impacto positivo no desempenho do eixo que as pertence e além de promover resultados que impactem os Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis, uma vez que o eixo *economy* trata da competitividade da cidade e seu papel ativo no aumento da produtividade. Pode-se afirmar que o eixo *economy*, esta ligado à 7 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), são eles:

- ODS 2 - Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável
- ODS 4 - Assegurar a educação inclusiva e equitativa e de qualidade, e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todas e todos
- ODS 8 - Promover o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, emprego pleno e produtivo e trabalho decente para todas e todos
- ODS 10 - Reduzir a desigualdade dentro dos países e entre eles
- ODS 11 - Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis
- ODS 12 -Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis
- ODS 17 - Fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável

Em relação aos eixos *Governance*, *People* e *Living* tem-se a iniciativa Smart London proposta pela prefeitura da cidade, este projeto esta direcionado a criar um modelo de governança colaborativa sendo um dos focos promover o desenvolvimento do capital humano e social, como mostra o estudo de (COWLEY; JOSS; DAYOT, 2018).

A Figura 20 apresenta os índices de proximidade e afastamento para o o Eixo *Smart People*, em relação ao índice de proximidade apenas o indicadore I.25 de Londres esta afastado do valor da Cidade de Referência, já o índice de afastamento apresenta todos os valores dos indicadores de Londres acima dos valores da Cidade Limite.

**Figura 20 – Smart People**



**Fonte: Autoria própria.**

Os indicadores do eixo *Smart People* com suas respectivas siglas são apresentados a seguir:

- Eixo *Smart People*

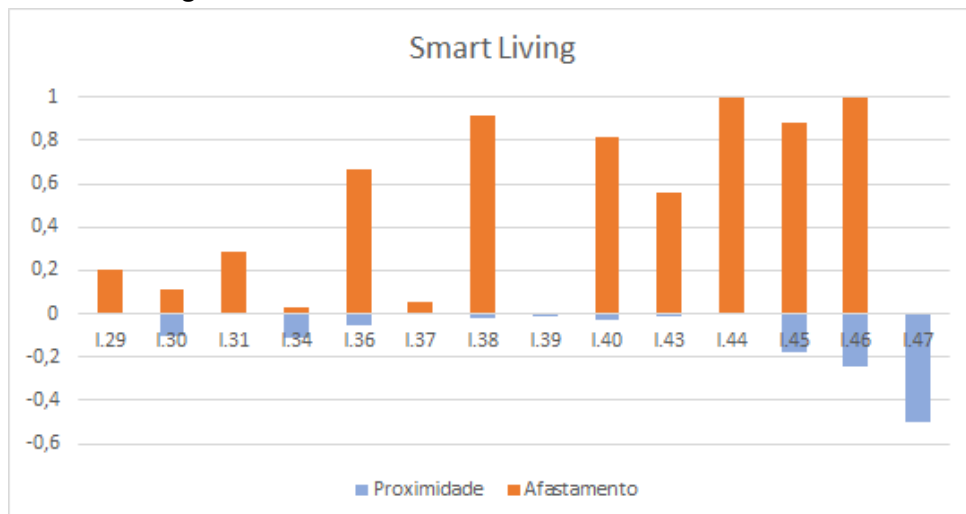
- I.25 Percentual da população da cidade que vive abaixo da linha de pobreza internacional;
- I. 26 Percentual da população da cidade que vive abaixo da linha de pobreza nacional;
- I. 27 Coeficiente de desigualdade de Gini;

Em relação ao Eixo *Smart People* o desempenho dos indicadores que a compõem tem impacto positivo nas condições sociais da população urbana. O desempenho desse eixo impacta as seguintes ODS:

- ODS 1 - Acabar com a pobreza em todas as suas formas, em todos os lugares
- ODS 2 - Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável
- ODS 3 - Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todas e todos, em todas as idades
- ODS 10 - Reduzir a desigualdade dentro dos países e entre eles
- ODS 11 - Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis

A Figura 21 apresenta os índices de proximidade e afastamento para o o Eixo *Smart Living*, em relação ao índice de proximidade os indicadores de Londres I.30, I.34, I.36, I.38, I.39, I.40, I.43, I.45, I.46, I.47 estão afastados dos valores da Cidade de Referência, sendo os três últimos os mais distantes, já o índice de afastamento os indicadores I.39 e I.47 estão no limite do valor de desempenho.

**Figura 21 – Smart Living**



Fonte: Autoria própria.

Os indicadores do eixo *Smart Living* com suas respectivas siglas são apresentadas a seguir:

- Eixo *Smart Living*
  - I.29 Metros quadrados de espaço público recreativo interno per capita;
  - I.30 Metros quadrados de espaço público recreativo ao ar livre per capita.
  - Esporte/Cultura:
    - I. 33 Número anual de eventos culturais por 100.000 habitantes (por exemplo, exposições, festivais, shows).
    - I. 34 Número de bombeiros por 100.000 habitantes;
    - I. 36 Número de mortes relacionadas a perigos naturais por 100.000 habitantes;
    - I. 37 Número de policiais por 100.000 habitantes;
    - I. 38 Número de homicídios por 100.000 habitantes;
    - I. 39 Número de bombeiros voluntários e em regime de meio período por 100.000 habitantes;
    - I. 40 Tempo de resposta para serviços de resposta a emergências da chamada inicial;
    - I. 43 Número de crimes violentos contra as mulheres por 100.000 habitantes.
    - I. 44 Porcentagem da população da cidade que vive em moradias inadequadas;
    - I. 45 Porcentagem da população que vive em moradias populares;
    - I. 46 Número de sem-teto por 100.000 habitantes;
    - I. 47 Porcentagem de famílias que existem sem títulos legais registrados;

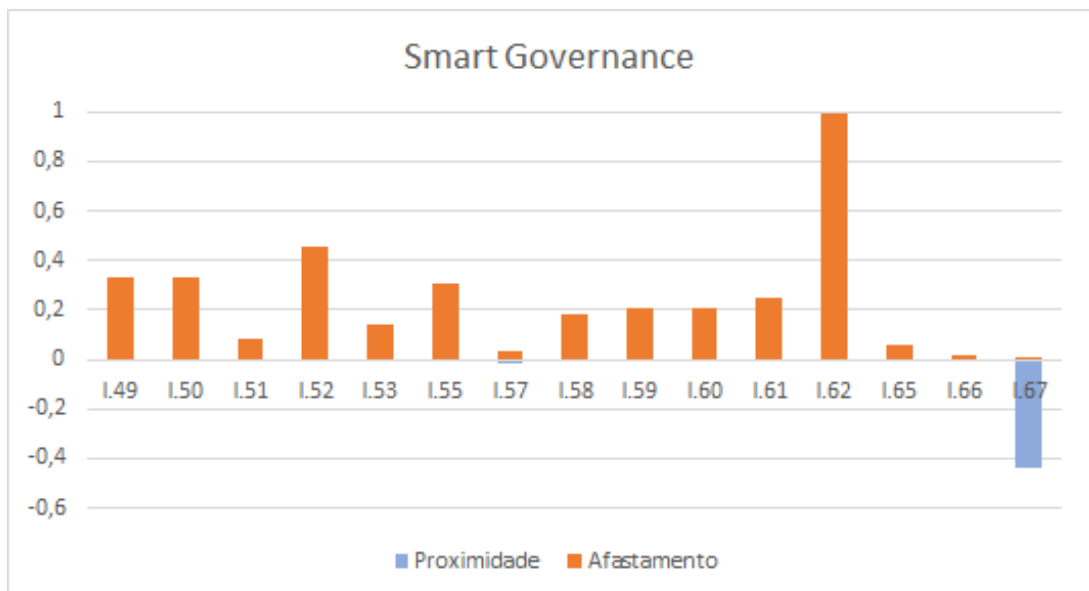
O Eixo *Smart Living* apresenta indicadores que precisam ser controlados com mais atenção, uma vez que caso o desempenho dos indicadores I.39 e I.47 caiam. As melhorias no desempenho deste eixo proporcionam impacto nas seguintes ODS:

- ODS 2- Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável
- ODS 3 - Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todas e todos, em todas as idades
- ODS 5 - Alcançar a igualdade de gênero e empoderar todas as mulheres e meninas

- ODS 11 - Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis
- 16 - Promover sociedades pacíficas e inclusivas para o desenvolvimento sustentável, proporcionar o acesso à justiça para todos e construir instituições eficazes, responsáveis e inclusivas em todos os níveis

A Figura 22 apresenta os índices de proximidade e afastamento para o o Eixo *Smart Governance*, em relação ao índice de proximidade os indicadores de Londres I.49, I.57, I.58, I.67 estão afastados dos valores da Cidade de Referência, já o índice de afastamento o indicadore I.67 esta no limite do valor de desempenho.

**Figura 22 – Smart Governance**



Fonte: Autoria própria.

Os indicadores do eixo *Smart Governance* com suas respectivas siglas são apresentadas a seguir:

- Eixo *Smart Governance*
  - I. 49 Percentual da população feminina em idade escolar matriculada nas escolas;
  - I.50 Percentual de alunos que concluíram o ensino fundamental: taxa de sobrevivência;
  - I.51 Percentual de alunos que concluíram o ensino médio: taxa de sobrevivência;
  - I. 52 Proporção entre alunos e professores do ensino fundamental;
  - I. 53 Percentual da população em idade escolar matriculada nas escolas;

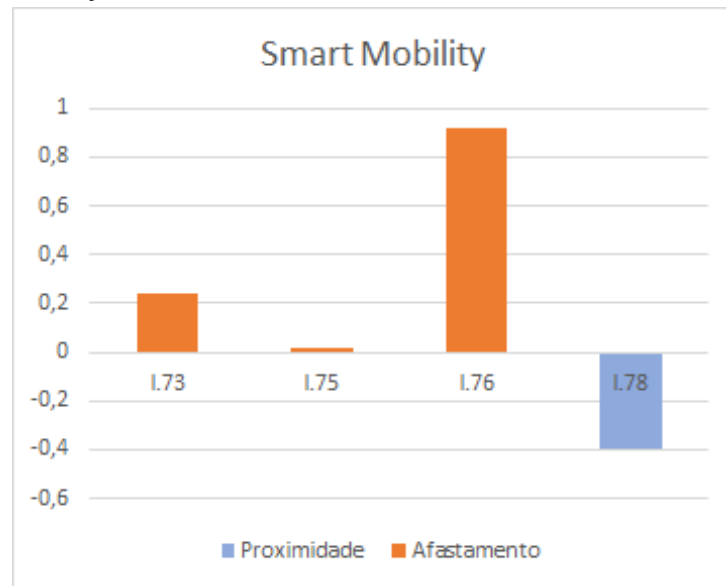
- I. 55 Mulheres como porcentagem do total de eleitos para cargos no nível da cidade;
- I. 57 Número de eleitores registrados como porcentagem da população em idade de votar;
- I. 58 Participação do eleitor nas últimas eleições municipais (como porcentagem de eleitores registrados).
- I. 59 Expectativa média de vida;
- I. 60 Número de leitos hospitalares por 100.000 habitantes;
- I. 61 Número de médicos por 100.000 habitantes;
- I. 62 Mortalidade abaixo de cinco anos por 1.000 nascidos vivos;
- I.65 Número de conexões à Internet por 100.000 habitantes;
- I.66 Número de conexões de telefonia móvel por 100.000 habitantes.
- I.67 Área verde (hectares) por 100.000 habitantes;

O Eixo *Smart Governance* trata das transparências dos dados em relação aos serviços públicos, a governança está relacionada às práticas de governo eletrônico, à participação dos cidadãos e ao envolvimento de líderes empresariais e partes interessadas locais, as ODS ligadas a este eixo são:

- ODS 3 - Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todas e todos, em todas as idades
- ODS 4 - Assegurar a educação inclusiva e equitativa e de qualidade, e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todas e todos
- ODS 11 - Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis

Já no eixo *mobility*, o *Smart London Plan* trata sobre o crescimento populacional da cidade e suas consequências em relação ao congestionamento, números de veículos nas vias e a poluição consequente, este projeto enfatiza a participação da população para elaboração de políticas voltadas à inovação tecnológica, no intuito de tornar a cidade mais inteligente no que tange o transporte urbano (ZVOLSKA et al., 2019). A Figura 23 apresenta os índices de proximidade e afastamento para este eixo, o indicador I.78 apresenta desempenho abaixo do valor da Cidade de Referência devendo ser priorizado neste eixo.

**Figura 23 – Smart Mobility**



Fonte: Autoria própria.

Os indicadores do eixo *Smart Mobility* com suas respectivas siglas são apresentadas a seguir:

- Eixo *Smart Mobility*
  - I.73 Número anual de viagens de transporte público per capita;
  - I.75 Quilômetros de ciclovias e ciclovias por 100.000 habitantes;
  - I.76 Mortes por transporte por 100.000 habitantes;
  - I.78 Tempo médio de deslocamento;

O eixo *smart mobility* está ligado ao transporte urbano, talvez este seja o eixo mais sensível para uma cidade inteligente pois é a mais perceptível pela população, dessa forma o planejamento estratégico para maximizar o desempenho de seus indicadores se faz importante. A ODS ligada a este eixo é:

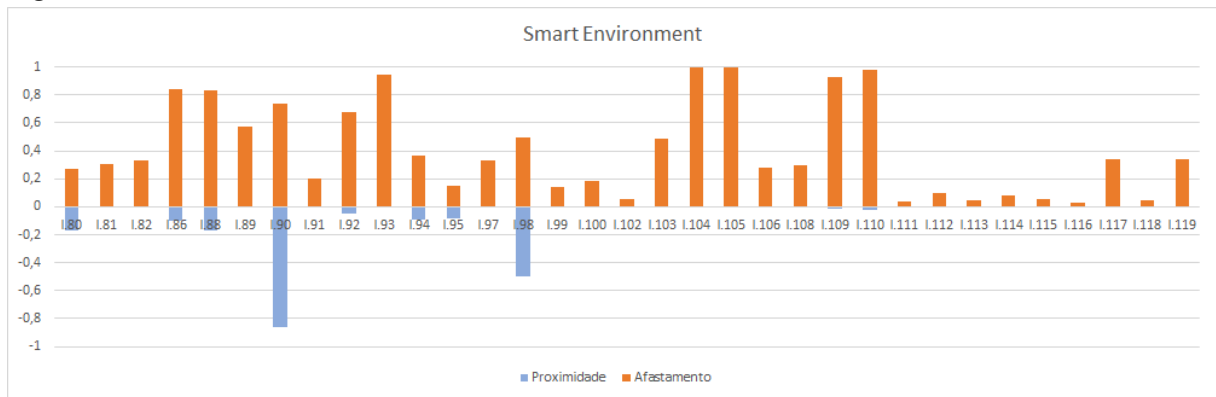
- ODS 11 - Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis

No que tange o eixo *environment* a prefeitura de Londres (LONDRES, 2018) estruturou o projeto (*London Environment Strategy - LES*) no ano de 2018, com foco de garantir uma cidade mais ecológica e limpa para o futuro, o objetivo central do projeto é aumentar a cobertura verde e tornar Londres uma cidade com emissão zero de carbono até 2050. A Figura 24 apresentam os índices de proximidade e afastamento para do eixo em análise, os indicadores I.80, I.86, I.88, I.90, I.98 são os mais



distantes dos valores da Cidade de Referência. Já no índice de afastamento todos os indicadores apresentam desempenho acima dos valores da Cidade Limite.

**Figura 24 – Smart Environment**



**Fonte: Autoria própria.**

Os indicadores do eixo *Smart Environment* com suas respectivas siglas são apresentadas a seguir:

- Eixo *Smart Environment*

- I.80 Consumo total de energia de uso final per capita (GJ/ano);
- I.81 Porcentagem do total de energia de uso final derivada de fontes renováveis;
- I.82 Percentual da população da cidade com serviço elétrico autorizado (residencial);
- I.86 Horas anuais médias de interrupção do serviço elétrico por família;
- I.88 Concentração de partículas finas (PM2.5);
- I.89 Concentração de material particulado (PM10);
- I.90 Emissões de gases de efeito estufa medidas em toneladas per capita;
- I.91 Porcentagem de áreas designadas para proteção natural;
- I.92 Concentração de  $NO_2$  (dióxido de nitrogênio);
- I.93 Concentração de  $SO_2$  (dióxido de enxofre);
- I.94 Concentração de  $O_3$  (ozônio);
- I.95 Poluição sonora;
- I.97 Percentual da população da cidade com coleta regular de resíduos sólidos (residencial);
- I.98 Total de resíduos sólidos urbanos coletados per capita;
- I.99 Percentual de resíduos sólidos da cidade que é reciclado;

- I.100 Porcentagem de resíduos sólidos da cidade que são descartados em um aterro sanitário;
- I.102 Percentual de resíduos sólidos da cidade que são tratados biologicamente e usados como composto;
- I.103 Porcentagem de resíduos sólidos da cidade que são descartados em lixões abertos;
- I.104 Percentual de resíduos sólidos da cidade que é descartado por outros meios;
- I.105 Geração de resíduos perigosos per capita (toneladas);
- I.106 Porcentagem de resíduos perigosos da cidade que é reciclada.
- I.107 Área agrícola urbana total por 100.000 habitantes;
- I.108 Quantidade de alimentos produzidos localmente como porcentagem do total de alimentos fornecidos à cidade;
- I.109 Percentual da população da cidade desnutrida;
- I.110 Percentual da população da cidade que está com sobrepeso ou obesidade - Índice de Massa Corporal (IMC).
- I.111 Porcentagem da população da cidade atendida pela coleta de águas residuais;
- I.112 Porcentagem de águas residuais da cidade que recebe tratamento centralizado;
- I.113 Porcentagem da população com acesso a saneamento melhorado;
- I.114 Taxa de conformidade do tratamento de águas residuais.
- I.115 Percentual da população da cidade com serviço de abastecimento de água potável;
- I.116 Percentual da população da cidade com acesso sustentável a uma fonte de água melhorada;
- I.117 Consumo total de água doméstica per capita (litros/dia);
- I.118 Taxa de conformidade da qualidade da água potável;
- I.119 Consumo total de água per capita (litros/dia);

Por fim o eixo *smart environment* tem o foco de medir a sustentabilidade e a relação da cidade com seu entorno, as ODS ligadas a este eixo são:

- ODS 2- Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável

- ODS 6 - Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos
- ODS 7 - Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todas e todos
- ODS 11 - Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis
- ODS 12 - Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis
- ODS 13 - Tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos
- ODS 14 - Conservação e uso sustentável dos oceanos, dos mares e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável
- ODS 15 - Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade

É importante destacar que o modelo de maturidade aqui proposto pode ser aplicado em cidades de qualquer porte, o mesmo tem o intuito de auxiliar o gestor público a identificar o nível de maturidade de uma cidade em relação a sua inteligência e ainda apresentar quais os indicadores que precisam de atenção.

## 5 CONCLUSÃO

Atualmente são as normatizações ISO que tratam de cidade do futuro, referindo-se a sustentabilidade como um "guarda-chuva" que abriga tanto a inteligência quanto a resiliência das cidades. Foi neste sentido que as ISOs 37120:2018, 37122:2019 e 37123:2019 foram elaboradas, para que possam estruturar indicadores capazes de medir o desempenho de uma cidade com foco em melhorar os serviços municipais e a qualidade de vida neste ambiente.

A ISO 37122:2019 propõem um foco extremamente tecnológico para as cidades mundiais, o que é muito distante para países em desenvolvimento como o Brasil, que tem muito a evoluir no quesito inteligência e sustentabilidade urbana. Dessa forma, este estudo se baseou na ISO 37120:2018 pois ela traz os indicadores que já foram mensuráveis por grandes organizações ao redor do mundo, fazendo com que o teste do modelo proposto seja baseado em dados confiáveis.

No presente trabalho foi utilizada a metodologia híbrida do método TOPSIS, sendo que ao contrário da função original do método que é rankear as alternativas, aqui ele foi utilizado gerar um indicador sintético denominado Índice Smart. Outra modificação realizada no método foi em relação as alternativas, uma vez que as alternativas Cidade Real, Cidade de Referência e Cidade Limite são fixas que balizam o nível de maturidade smart de uma cidade. Esta alteração no método impossibilita o fenômeno conhecido como *ranking reverse* ou reversão de classificação que é uma desvantagem do método TOPSIS. Desta forma, em outra aplicação as cidades balizadoras permanecem e apenas a Cidade Real é modificada. Por fim, a última modificação diz respeito aos valores ideais e anti-ideais que ao contrário do método tradicional, no modelo proposto esses valores são fixados em 1 e 0 para critérios de maximização e 0 e 1 para critérios de minimização, para solução ideal e anti-ideal, essa modificação permite que o modelo analise a cidade baseada no melhor e pior cenário possível, mesmo que esse cenário não esteja presente nas alternativas fixas (Utópica, Referência e Limite).

O modelo proposto se mostrou eficiente para avaliação do nível de maturidade *smart* de uma cidade, uma vez que além de indicar o nível *smart* da cidade analisada, o modelo também permite que seja avaliado separadamente cada indicador, possibilitando para a cidade identificar pontos que precisam ser melhorados.

Além disso, é importante ressaltar que o modelo proposto pode ser facilmente adaptado para mensurar o nível de maturidade da cidade para outras ISOs, especialmente englobando as ISOs 37122:2019; 37123:2019, que não foram utilizadas no estudo por falta de dados confiáveis a respeito dos indicadores.

A pesquisa se deparou com a dificuldade em se encontrar dados confiáveis

em relação aos indicadores. Muitas cidades, apesar de se autointitularem *smart*, não divulgam dados referentes aos indicadores, mesmo possuindo ações referentes aos mesmos. Logo, estes dados devem ser de fácil acesso a pesquisadores e organizações não governamentais para que os mesmos possam ser analisados constantemente. O modelo MMSC tem objetivo ser um modelo prescritivo, e é aplicado para avaliar o nível de maturidade atual do ambiente estudado

Por fim, o estudo contempla os aspectos econômico e sociais, uma vez que o mesmo contribui aos gestores públicos a análise do desempenho da *smartness* de sua cidade, permitindo a melhora da infraestrutura da cidade que tem impacto direto na qualidade de vida da população. Em relação ao ineditismo, o MMSC possui uma estrutura quantitativa com auxílio de técnica multicritério híbrida e variáveis pertencentes a normas internacionalmente conhecidas, estrutura essa ainda não explorada na literatura.

## REFERÊNCIAS

- ADDAE, Bismark Appiah et al. Analyzing barriers of smart energy city in accra with two-step fuzzy dematel. **Cities**, Elsevier, v. 89, p. 218–227, 2019. Citado na página 33.
- AFONSO, Ricardo Alexandre et al. Brazilian smart cities: using a maturity model to measure and compare inequality in cities. In: ACM. **Proceedings of the 16th Annual International Conference on Digital Government Research**. [S.l.], 2015. p. 230–238. Citado na página 20.
- AHVENNIEMI, Hannele et al. What are the differences between sustainable and smart cities? **Cities**, Elsevier, v. 60, p. 234–245, 2017. Citado na página 16.
- ALBINO, Vito; BERARDI, Umberto; DANGELICO, Rosa Maria. Smart cities: Definitions, dimensions, performance, and initiatives. **Journal of urban technology**, Taylor & Francis, v. 22, n. 1, p. 3–21, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 15.
- ALDERETE, María Verónica. Exploring the smart city indexes and the role of macro factors for measuring cities smartness. **Social Indicators Research**, Springer, p. 1–23, 2020. Citado na página 55.
- ALIZADEH, Tooran. An investigation of ibm’s smarter cites challenge: What do participating cities want? **Cities**, Elsevier, v. 63, p. 70–80, 2017. Citado na página 10.
- ALLAM, Zaheer; DHUNNY, Zaynah A. On big data, artificial intelligence and smart cities. **Cities**, Elsevier, v. 89, p. 80–91, 2019. Citado na página 11.
- ALLWINKLE, Sam; CRUICKSHANK, Peter. Creating smart-er cities: An overview. **Journal of urban technology**, Taylor & Francis, v. 18, n. 2, p. 1–16, 2011. Citado na página 13.
- ALMEIDA, Adiel Teixeira de; FERREIRA, Rodrigo José Pires; CAVALCANTE, Cristiano Alexandre V. A review of the use of multicriteria and multi-objective models in maintenance and reliability. **IMA Journal of Management Mathematics**, Oxford University Press, v. 26, n. 3, p. 249–271, 2015. Citado na página 33.

AMADO, Carla AF; JOSÉ, José MS São; SANTOS, Sérgio P. Measuring active ageing: a data envelopment analysis approach. **European Journal of Operational Research**, Elsevier, v. 255, n. 1, p. 207–223, 2016. Citado na página 31.

ANAND, Atul et al. Evaluation of sustainability indicators in smart cities for india using mcdm approach. **Energy Procedia**, Elsevier, v. 141, p. 211–215, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 33.

ANGILELLA, Silvia et al. Robust sustainable development assessment with composite indices aggregating interacting dimensions: The hierarchical-smaa-choquet integral approach. **Knowledge-Based Systems**, Elsevier, v. 158, p. 136–153, 2018. Citado na página 29.

ANTANASIJEVIĆ, Davor et al. A differential multi-criteria analysis for the assessment of sustainability performance of european countries: Beyond country ranking. **Journal of cleaner production**, Elsevier, v. 165, p. 213–220, 2017. Citado na página 31.

ANTHOPOULOS, Leonidas. Smart utopia vs smart reality: Learning by experience from 10 smart city cases. **Cities**, Elsevier, v. 63, p. 128–148, 2017. Citado na página 16.

ANTHOPOULOS, Leonidas; GIANNAKIDIS, George. Task-based process modeling for policy making in smart cities. In: IEEE. **2016 ITU Kaleidoscope: ICTs for a Sustainable World (ITU WT)**. [S.l.], 2016. p. 1–8. Citado na página 21.

ANTHOPOULOS, Leonidas; JANSSEN, Marijn; WEERAKKODY, Vishanth. Smart service portfolios: Do the cities follow standards? In: INTERNATIONAL WORLD WIDE WEB CONFERENCES STEERING COMMITTEE. **Proceedings of the 25th International Conference Companion on World Wide Web**. [S.l.], 2016. p. 357–362. Citado na página 21.

\_\_\_\_\_. A unified smart city model (uscm) for smart city conceptualization and benchmarking. In: **Smart Cities and Smart Spaces: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications**. [S.l.]: IGI Global, 2019. p. 247–264. Citado na página 16.

ARBOLINO, Roberta et al. Towards a sustainable industrial ecology: Implementation of a novel approach in the performance evaluation of italian regions. **Journal of Cleaner Production**, Elsevier, v. 178, p. 220–236, 2018. Citado na página 31.

AREVALO, Vivian Juliette Cortes et al. Decision support method to systematically evaluate first-level inspections of the functional status of check dams. **Structure and infrastructure engineering**, Taylor & Francis, v. 12, n. 11, p. 1487–1504, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.

ATTARDI, Raffaele et al. Non-compensatory composite indicators for the evaluation of urban planning policy: The land-use policy efficiency index (lupei). **European Journal of Operational Research**, Elsevier, v. 264, n. 2, p. 491–507, 2018. Citado na página 31.

AZEVEDO, Susana G et al. An integrated model to assess the leanness and agility of the automotive industry. **Resources, Conservation and Recycling**, Elsevier, v. 66, p. 85–94, 2012. Citado na página 31.

BAI, Shuowei et al. Methodologies for evaluating sawability of ornamental granite and relation modeling combining sawability with environmental impacts: An application in a stone industrial park of china. **Journal of Cleaner Production**, Elsevier, v. 246, p. 119004, 2020. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.

\_\_\_\_\_. Development of a method based on madm theory for selecting a suitable cutting fluid for granite sawing process. **Journal of Cleaner Production**, Elsevier, v. 185, p. 211–229, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.

BALDUCCI, Francesco; FERRARA, Alessandra. Using urban environmental policy data to understand the domains of smartness: An analysis of spatial autocorrelation for all the italian chief towns. **Ecological indicators**, Elsevier, v. 89, p. 386–396, 2018. Citado na página 11.

BALIOTI, Vasiliki; TZIMOPOULOS, Christos; EVANGELIDES, Christos. Multi-criteria decision making using topsis method under fuzzy environment. application in spillway selection. In: **Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings**. [S.l.: s.n.], 2018. v. 2, n. 11, p. 637. Citado na página 34.

BAO, Qiong et al. Improved hierarchical fuzzy topsis for road safety performance evaluation. **Knowledge-based systems**, Elsevier, v. 32, p. 84–90, 2012. Citado na página 31.

BARNS, Sarah. Cidades inteligentes e plataformas de dados urbanos: projetando interfaces para governança inteligente. **Cidade, cultura e sociedade**, v. 12, p. 5–12.



Citado na página 10.

BECKER, Jörg; KNACKSTEDT, Ralf; PÖPPELBUSS, Jens. Developing maturity models for it management. **Business & Information Systems Engineering**, Springer, v. 1, n. 3, p. 213–222, 2009. Citado na página 11.

BECKER, Joerg et al. Maturity models in is research. 2010. Citado na página 23.

BEHZADIAN, Majid et al. A state-of-the-art survey of totpis applications. **Expert Systems with Applications**, Elsevier, v. 39, n. 17, p. 13051–13069, 2012. Citado na página 34.

BERRONE, Pascual; RICART, Joan Enric. Iese cities in motion index 2019. **Retrieved**, v. 1, p. 2019, 2019. Citado na página 19.

BEZAMA, Alberto et al. Application of a balanced scorecard system for supporting decision-making in contaminated sites remediation. **Water, Air, and Soil Pollution**, Springer, v. 181, n. 1-4, p. 3–16, 2007. Citado na página 31.

BHANDARI, Sahadev Bahadur; NALMPANTIS, Dimitrios. Application of various multiple criteria analysis methods for the evaluation of rural road projects. **The Open Transportation Journal**, v. 12, n. 1, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.

BILBAO-TEROL, Amelia; ARENAS-PARRA, Mar; ONOPKO-ONOPKO, Vitali. Measuring regional sustainable competitiveness: a multi-criteria approach. **Operational Research**, Springer, p. 1–24, 2019. Citado na página 31.

BLANCAS, FJ et al. How to use sustainability indicators for tourism planning: The case of rural tourism in andalusia (spain). **Science of the Total Environment**, Elsevier, v. 412, p. 28–45, 2011. Citado na página 31.

BLANCAS, Francisco J et al. Goal programming synthetic indicators: An application for sustainable tourism in andalusian coastal counties. **Ecological Economics**, Elsevier, v. 69, n. 11, p. 2158–2172, 2010. Citado na página 31.

BLANCAS, Francisco Javier et al. The assessment of sustainable tourism: Application to spanish coastal destinations. **Ecological indicators**, Elsevier, v. 10, n. 2, p. 484–492, 2010. Citado na página 29.

BLANCK, Mery; RIBEIRO, José Luis Duarte; ANZANELLO, Michel J. A relational exploratory study of business incubation and smart cities-findings from europe. **Cities**, Elsevier, v. 88, p. 48–58, 2019. Citado na página 22.

BOGGIA, Antonio et al. Spatial multicriteria analysis for sustainability assessment: A new model for decision making. **Land Use Policy**, Elsevier, v. 71, p. 281–292, 2018. Citado na página 31.

BOLÍVAR, Manuel Pedro Rodríguez. Mapping dimensions of governance in smart cities: Practitioners versus prior research. In: ACM. **Proceedings of the 17th International Digital Government Research Conference on Digital Government Research**. [S.l.], 2016. p. 312–324. Citado na página 10.

BOULANGER, Paul-Marie. Sustainable development indicators: a scientific challenge, a democratic issue. **SAPI EN. S. Surveys and Perspectives Integrating Environment and Society**, Institut Veolia Environnement, n. 1.1, 2008. Citado na página 27.

BRUIN, Tonia De et al. Understanding the main phases of developing a maturity assessment model. Australasian Chapter of the Association for Information Systems, 2005. Citado 3 vezes nas páginas 11, 23 e 24.

BRUNI, Elisa et al. Evaluation of cities' smartness by means of indicators for small and medium cities and communities: A methodology for northern italy. **Sustainable cities and society**, Elsevier, v. 34, p. 193–202, 2017. Citado na página 26.

BSI, British Standards Institution. The role of standards in smart cities issue 2. **The UK Department for Business, Innovation and Skills (BIS)**, 2014. Citado na página 18.

CABELLO, JM et al. Multicriteria development of synthetic indicators of the environmental profile of the spanish regions. **Ecological indicators**, Elsevier, v. 39, p. 10–23, 2014. Citado na página 26.

CAIRD, Sally; HUDSON, Lorraine; KORTUEM, Gerd. A tale of evaluation and reporting in uk smart cities. The Open University, 2016. Citado na página 11.

CAIRD, Sally P; HALLETT, Stephen H. Towards evaluation design for smart city development. **Journal of urban Design**, Taylor & Francis, v. 24, n. 2, p. 188–209, 2019. Citado na página 11.

CALKER, KJ Van et al. Development and application of a multi-attribute sustainability function for dutch dairy farming systems. **Ecological Economics**, Elsevier, v. 57, n. 4, p. 640–658, 2006. Citado na página 31.

CAPDEVILA, Ignasi; ZARLENGA, Matías I. Smart city or smart citizens? the barcelona case. **Journal of Strategy and Management**, Emerald Group Publishing Limited, v. 8, n. 3, p. 266–282, 2015. Citado na página 10.

CARAGLIU, Andrea; BO, Chiara Del; NIJKAMP, Peter. Smart cities in europe. **Journal of urban technology**, Taylor & Francis, v. 18, n. 2, p. 65–82, 2011. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 16.

CARAGLIU ANDREA E DEL BO, Chiara F. Cidades inovadoras inteligentes: o impacto das políticas das cidades inteligentes na inovação urbana. **Previsão Tecnológica e Mudança Social**, v. 142, p. 373–383, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 15.

CARAYANNIS, Elias G; GRIGOROUDIS, Evangelos; GOLETISIS, Yorgos. A multilevel and multistage efficiency evaluation of innovation systems: A multiobjective dea approach. **Expert Systems with Applications**, Elsevier, v. 62, p. 63–80, 2016. Citado na página 31.

CHEN, Faan; WANG, Jianjun; DENG, Yajuan. Road safety risk evaluation by means of improved entropy topsis–rsr. **Safety science**, Elsevier, v. 79, p. 39–54, 2015. Citado na página 31.

CHERCHYE, Laurens et al. One market, one number? a composite indicator assessment of eu internal market dynamics. **European Economic Review**, Elsevier, v. 51, n. 3, p. 749–779, 2007. Citado na página 31.

\_\_\_\_\_. Creating composite indicators with dea and robustness analysis: the case of the technology achievement index. **Journal of the Operational Research Society**, Springer, v. 59, n. 2, p. 239–251, 2008. Citado na página 31.

CHOURABI, Hafedh et al. Understanding smart cities: An integrative framework. In: IEEE. **2012 45th Hawaii international conference on system sciences**. [S.l.], 2012. p. 2289–2297. Citado na página 15.

CHU, Ta-Chung. Facility location selection using fuzzy topsis under group decisions. **International journal of uncertainty, fuzziness and knowledge-based systems**, World Scientific, v. 10, n. 06, p. 687–701, 2002. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.

CHU, T-C; LIN, Y-C. A fuzzy topsis method for robot selection. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, Springer, v. 21, n. 4, p. 284–290, 2003. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.

CLARKE, Ruthbea Yesner. Smart cities and the internet of everything: The foundation for delivering next-generation citizen services. **Alexandria, VA, Tech. Rep**, 2013. Citado na página 20.

CLAUDEL, Matthew; BIROLO, Alice; RATTI, Carlo. Government's role in growing a smart city. In: **Smart Cities as Democratic Ecologies**. [S.l.]: Springer, 2015. p. 23–34. Citado na página 21.

CLEDOU, Guillermina; ESTEVEZ, Elsa; BARBOSA, Luis Soares. A taxonomy for planning and designing smart mobility services. **Government Information Quarterly**, Elsevier, v. 35, n. 1, p. 61–76, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 104.

CLIVILLÉ, Vincent; BERRAH, Lamia; MAURIS, Gilles. Quantitative expression and aggregation of performance measurements based on the macbeth multi-criteria method. **International Journal of Production Economics**, Elsevier, v. 105, n. 1, p. 171–189, 2007. Citado na página 31.

COHEN, Boyd. Smart city wheel. Retrieved from **SMART & SAFE CITY: <http://www.smartcircle.org/smartcity/blog/boyd-cohen-the-smart-city-wheel>**, 2013. Citado na página 105.

COMMISSION, Science for Environment Policy—European et al. Indicators for sustainable cities. **depth Report**, n. 12, 2015. Citado na página 16.

COOPER, David J; EZZAMEL, Mahmoud; QU, Sandy Q. Popularizing a management accounting idea: The case of the balanced scorecard. **Contemporary Accounting Research**, Wiley Online Library, v. 34, n. 2, p. 991–1025, 2017. Citado na página 16.

COSGRAVE, Ellie; ARBUTHNOT, Kate; TRYFONAS, Theo. Living labs, innovation districts and information marketplaces: A systems approach for smart cities. **Procedia Computer Science**, Elsevier, v. 16, p. 668–677, 2013. Citado na página 22.

COWLEY, Robert; JOSS, Simon; DAYOT, Youri. The smart city and its publics: insights from across six uk cities. **Urban Research & Practice**, Taylor & Francis, v. 11, n. 1, p. 53–77, 2018. Citado na página 57.

CRACOLICI, Maria Francesca; NIJKAMP, Peter. The attractiveness and competitiveness of tourist destinations: A study of southern italian regions. **Tourism management**, Elsevier, v. 30, n. 3, p. 336–344, 2009. Citado na página 31.

D'ALPAOS, Chiara; ANDREOLLI, Francesca. Urban quality in the city of the future: A bibliometric multicriteria assessment model. **Ecological Indicators**, Elsevier, v. 117, p. 106575, 2020. Citado na página 29.

DANTSIS, Theodoros et al. A methodological approach to assess and compare the sustainability level of agricultural plant production systems. **Ecological indicators**, Elsevier, v. 10, n. 2, p. 256–263, 2010. Citado na página 31.

DOBOS, Imre; VÖRÖSMARTY, Gyöngyi. Green supplier selection and evaluation using dea-type composite indicators. **International Journal of Production Economics**, Elsevier, v. 157, p. 273–278, 2014. Citado na página 31.

DOČEKALOVÁ, Marie Pavláková; KOČMANOVÁ, Alena. Composite indicator for measuring corporate sustainability. **Ecological Indicators**, Elsevier, v. 61, p. 612–623, 2016. Citado na página 29.

DUARTE, António AL; RODRIGUES, Gisela Maria da Costa; RAMOS, Rui AR. A global service quality index to evaluate the performance and sustainability in water supply utilities. **WSEAS Transactions on Environment and Development**, World

Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS), v. 5, n. 12, p. 759–769, 2009. Citado na página 26.

ECONOMIC, United Nations. Department of; DIVISION, Social Affairs. Population. **World urbanization prospects: the 2009 revision**. [S.l.]: UN, 2006. Citado na página 10.

EREMIA, Mircea; TOMA, Lucian; SANDULEAC, Mihai. The smart city concept in the 21st century. **Procedia Engineering**, Elsevier, v. 181, p. 12–19, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 22.

ESCRIG-OLMEDO, Elena et al. Integrating multiple esg investors' preferences into sustainable investment: A fuzzy multicriteria methodological approach. **Journal of cleaner production**, Elsevier, v. 162, p. 1334–1345, 2017. Citado na página 31.

ESTY, Daniel C et al. Environmental sustainability index: Benchmarking national environmental stewardship. **New Haven: Yale Center for Environmental Law & Policy**, Yale University-Center for International Earth Science Information Network . . . , p. 47–60, 2005. Citado na página 27.

FERNÁNDEZ-GÜELL, José-Miguel et al. Incorporating a systemic and foresight approach into smart city initiatives: the case of spanish cities. **Journal of Urban Technology**, Taylor & Francis, v. 23, n. 3, p. 43–67, 2016. Citado na página 11.

FIGUEIRA, José; GRECO, Salvatore; EHRGOTT, Matthias. **Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys**. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2005. v. 78. Citado na página 33.

FINNERTY, Noel et al. An energy management maturity model for multi-site industrial organisations with a global presence. **Journal of cleaner production**, Elsevier, v. 167, p. 1232–1250, 2017. Citado na página 23.

FIRMANSYAH, Hendra Sandhi et al. Identifying the components and interrelationships of smart cities in indonesia: Supporting policymaking via fuzzy cognitive systems. **IEEE Access**, IEEE, v. 7, p. 46136–46151, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 101 e 105.

FRANK, Alejandro Germán et al. An integrative environmental performance index for benchmarking in oil and gas industry. **Journal of cleaner production**, Elsevier, v. 133, p. 1190–1203, 2016. Citado na página 31.

FUSCO, Elisa. Enhancing non-compensatory composite indicators: A directional proposal. **European journal of operational research**, Elsevier, v. 242, n. 2, p. 620–630, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 30.

GALLEGO-AYALA, Jordi et al. Assessing the performance of urban water utilities in mozambique using a water utility performance index. **Water SA**, v. 40, n. 4, p. 665–676, 2014. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.

GAN, Xiaoyu et al. When to use what: Methods for weighting and aggregating sustainability indicators. **Ecological Indicators**, Elsevier, v. 81, p. 491–502, 2017. Citado 4 vezes nas páginas 27, 28, 29 e 30.

GARCIA, Solange et al. Corporate sustainability management: a proposed multi-criteria model to support balanced decision-making. **Journal of Cleaner Production**, Elsevier, v. 136, p. 181–196, 2016. Citado na página 31.

GATTO, Andrea; DRAGO, Carlo. Measuring and modeling energy resilience. **Ecological Economics**, Elsevier, v. 172, p. 106527, 2020. Citado na página 27.

GIANNETTI, BF et al. The reliability of experts' opinions in constructing a composite environmental index: The case of esi 2005. **Journal of Environmental Management**, Elsevier, v. 90, n. 8, p. 2448–2459, 2009. Citado na página 31.

GIBARI, Samira El; GÓMEZ, Trinidad; RUIZ, Francisco. Building composite indicators using multicriteria methods: a review. **Journal of Business Economics**, Springer, v. 89, n. 1, p. 1–24, 2019. Citado na página 31.

GIFFINGER, R et al. **Smart cities-Ranking of European medium-sized cities. Final Report, Vienna**. 2007. Citado 5 vezes nas páginas 16, 21, 42, 43 e 48.

GIL-GARCIA, J Ramon; PARDO, Theresa A; NAM, Taewoo. What makes a city smart? identifying core components and proposing an integrative and comprehensive conceptualization. **Information Polity**, IOS Press, v. 20, n. 1, p. 61–87, 2015. Citado na página 10.

GIL-GARCIA, J Ramon; ZHANG, Jing; PURON-CID, Gabriel. Conceptualizing smartness in government: An integrative and multi-dimensional view. **Government Information Quarterly**, Elsevier, v. 33, n. 3, p. 524–534, 2016. Citado na página 12.

GÓNGORA, Gina Paola Maestre; BERNAL, Wilson Nieto. Validation architecture for information technology management in smart cities. In: IEEE. **2016 11th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)**. [S.l.], 2016. p. 1–6. Citado na página 21.

GRAYMORE, Michelle LM; WALLIS, Anne M; RICHARDS, Anneke J. An index of regional sustainability: A gis-based multiple criteria analysis decision support system for progressing sustainability. **Ecological complexity**, Elsevier, v. 6, n. 4, p. 453–462, 2009. Citado na página 27.

GRECO, Salvatore et al. Stochastic multi-attribute acceptability analysis (smaa): an application to the ranking of italian regions. **Regional Studies**, Taylor & Francis, v. 52, n. 4, p. 585–600, 2018. Citado na página 29.

\_\_\_\_\_. On the methodological framework of composite indices: A review of the issues of weighting, aggregation, and robustness. **Social Indicators Research**, Springer, v. 141, n. 1, p. 61–94, 2019. Citado 3 vezes nas páginas 28, 29 e 30.

GRIGOROUDIS, Evangelos; ORFANOUDAKI, Eva; ZOPOUNIDIS, Constantin. Strategic performance measurement in a healthcare organisation: A multiple criteria approach based on balanced scorecard. **Omega**, Elsevier, v. 40, n. 1, p. 104–119, 2012. Citado na página 31.

GU, Dong-Xiao et al. A case-based knowledge system for safety evaluation decision making of thermal power plants. **Knowledge-Based Systems**, Elsevier, v. 26, p. 185–195, 2012. Citado na página 31.

GUDIPUDI, Ramana et al. Benchmarking urban eco-efficiency and urbanites' perception. **Cities**, Elsevier, v. 74, p. 109–118, 2018. Citado na página 33.

GUMUS, Serkan; KUCUKVAR, Murat; TATARI, Omer. Intuitionistic fuzzy multi-criteria decision making framework based on life cycle environmental, economic and social impacts: The case of us wind energy. **Sustainable Production and Consumption**, Elsevier, v. 8, p. 78–92, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.



GUO, Deru et al. A multi-channel aggregation selection mechanism based on topsis in electric power communication network. In: SPRINGER. **Proceedings of the 9th International Conference on Computer Engineering and Networks**. [S.l.]. p. 1051–1061. Citado na página 32.

HAASTER, Berthe van et al. Development of a methodological framework for social life-cycle assessment of novel technologies. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Springer, v. 22, n. 3, p. 423–440, 2017. Citado na página 27.

HAGERTY, Michael R; LAND, Kenneth C. Constructing summary indices of social well-being: A model for the effect of heterogeneous importance weights. In: **Revision of a paper presented at the annual meeting of the American Sociological Association, August 16–19**. [S.l.: s.n.], 2002. Citado na página 27.

HAIDER, Husnain; AL-SALAMAH, Ibrahim Saleh; GHUMMAN, Abdul Razzaq. Development of groundwater quality index using fuzzy-based multicriteria analysis for buraydah, qassim, saudi arabia. **Arabian Journal for Science and Engineering**, Springer, v. 42, n. 9, p. 4033–4051, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.

HAIDER, Husnain et al. Sustainability assessment framework for small-sized urban neighbourhoods: An application of fuzzy synthetic evaluation. **Sustainable cities and society**, Elsevier, v. 36, p. 21–32, 2018. Citado na página 31.

HAIKOWICZ, Stefan. Multi-attributed environmental index construction. **Ecological economics**, Elsevier, v. 57, n. 1, p. 122–139, 2006. Citado na página 31.

HATEFI, SM; TORABI, SA. A common weight mcda–dea approach to construct composite indicators. **Ecological Economics**, Elsevier, v. 70, n. 1, p. 114–120, 2010. Citado na página 31.

HATUKA, Tali et al. The political premises of contemporary urban concepts: The global city, the sustainable city, the resilient city, the creative city, and the smart city. **Planning Theory & Practice**, Taylor & Francis, v. 19, n. 2, p. 160–179, 2018. Citado na página 10.

HE, Wei et al. Iot nodes equipment selection based on madm: A case study of groundwater quality detection equipment. In: IEEE. **2019 IEEE Intl Conf on Dependable, Autonomous and Secure Computing, Intl Conf on Pervasive Intelligence and Computing, Intl Conf on Cloud and Big Data Computing, Intl Conf on Cyber**

**Science and Technology Congress (DASC/PiCom/CBDCom/CyberSciTech)**. [S.l.], 2019. p. 94–100. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.

HÉLY, Vincent; ANTONI, Jean-Philippe. Combining indicators for decision making in planning issues: A theoretical approach to perform sustainability assessment. **Sustainable Cities and Society**, Elsevier, v. 44, p. 844–854, 2019. Citado na página 29.

HERNANDEZ-PERDOMO, Elvis A; MUN, Johnathan et al. Active management in state-owned energy companies: Integrating a real options approach into multicriteria analysis to make companies sustainable. **Applied energy**, Elsevier, v. 195, p. 487–502, 2017. Citado na página 31.

HILLEGERSBERG, Jos van. The need for a maturity model for maturity modeling. In: **The Art of Structuring**. [S.l.]: Springer, 2019. p. 145–151. Citado na página 11.

HIREMATH, Rahul B et al. Indicator-based urban sustainability—a review. **Energy for sustainable development**, Elsevier, v. 17, n. 6, p. 555–563, 2013. Citado na página 12.

HOLLANDS, Robert G. Will the real smart city please stand up? intelligent, progressive or entrepreneurial? **City**, Taylor & Francis, v. 12, n. 3, p. 303–320, 2008. Citado na página 15.

\_\_\_\_\_. Critical interventions into the corporate smart city. **Cambridge Journal of Regions, Economy and Society**, Oxford University Press, v. 8, n. 1, p. 61–77, 2015. Citado na página 13.

HU, Yu-Jie; LI, Xiao-Yi; TANG, Bao-Jun. Assessing the operational performance and maturity of the carbon trading pilot program: The case study of beijing's carbon market. **Journal of cleaner production**, Elsevier, v. 161, p. 1263–1274, 2017. Citado na página 31.

HUOVILA, Aapo; BOSCH, Peter; AIRAKSINEN, Miimu. Comparative analysis of standardized indicators for smart sustainable cities: What indicators and standards to use and when? **Cities**, Elsevier, v. 89, p. 141–153, 2019. Citado na página 13.

INTRONA, Vito et al. Energy management maturity model: an organizational tool to foster the continuous reduction of energy consumption in companies. **Journal of cleaner production**, Elsevier, v. 83, p. 108–117, 2014. Citado na página 23.

ISO, International Organization for Standardization. **ISO/TC 268: Sustainable cities and communities**. [S.I.]: International Organization for Standardization, 2013. Citado na página 17.

\_\_\_\_\_. **Smart community infrastructures — Maturity model for assessment and improvement**. [S.I.]: International Organization for Standardization, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 41 e 43.

\_\_\_\_\_. **ISO 37120: Sustainable cities and communities — Indicators for city services and quality of life**. [S.I.]: International Organization for Standardization, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 17.

\_\_\_\_\_. **STRONGER CITIES FOR THE FUTURE: A NEW SET OF INTERNATIONAL STANDARDS JUST OUT**. [S.I.]: International Organization for Standardization, 2018. Citado na página 10.

ISRAILIDIS, John; ODUSANYA, Kayode; MAZHAR, Muhammad Usman. Exploring knowledge management perspectives in smart city research: A review and future research agenda. **International Journal of Information Management**, Elsevier, 2019. Citado na página 13.

JADIDI, Omid; CAVALIERI, Sergio; ZOLFAGHARI, S335091507142143. An improved multi-choice goal programming approach for supplier selection problems. **Applied Mathematical Modelling**, Elsevier, v. 39, n. 14, p. 4213–4222, 2015. Citado na página 31.

JOSS SIMON E SENGERS, Frans e Schraven Daan e Caprotti Federico e Dayot Youri. A cidade inteligente como discurso global: histórias e conjunturas críticas em 27 cidades. **Journal of Urban Technology**, v. 26. Citado na página 10.

JOZI, SA et al. Physical risk analysis of construction phase in khuzestan balarood dam in iran using multi-attribute decision making method. **JOURNAL OF ENVIRONMENTAL STUDIES**, 2011. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.

JUN, Kyung Soo et al. Development of spatial water resources vulnerability index considering climate change impacts. **Science of the total environment**, Elsevier, v. 409, n. 24, p. 5228–5242, 2011. Citado na página 31.

JUNIOR, Armando Gonçalves Madeira et al. Multicriteria and multivariate analysis for port performance evaluation. **International Journal of Production Economics**, Elsevier, v. 140, n. 1, p. 450–456, 2012. Citado na página 31.

KABAK, Özgür; RUAN, Da. Solving nuclear safeguards evaluation problem with fuzzy multiple attribute decision making methods. In: **Proceedings of the 11th International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services**. [S.l.: s.n.], 2009. p. 292–297. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.

\_\_\_\_\_. A comparison study of fuzzy madm methods in nuclear safeguards evaluation. **Journal of Global Optimization**, Springer, v. 51, n. 2, p. 209–226, 2011. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.

KAKLAUSKAS, Artūras et al. Quality of city life multiple criteria analysis. **Cities**, Elsevier, v. 72, p. 82–93, 2018. Citado na página 33.

KALBAR, Pradip P et al. Weighting and aggregation in life cycle assessment: do present aggregated single scores provide correct decision support? **Journal of Industrial Ecology**, Wiley Online Library, v. 21, n. 6, p. 1591–1600, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.

KAMALI, Mohammad; HEWAGE, Kasun; MILANI, Abbas S. Life cycle sustainability performance assessment framework for residential modular buildings: Aggregated sustainability indices. **Building and Environment**, Elsevier, v. 138, p. 21–41, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.

KAO, Chiang; HUNG, Hsi-Tai. Management performance: An empirical study of the manufacturing companies in taiwan. **Omega**, Elsevier, v. 35, n. 2, p. 152–160, 2007. Citado na página 31.

KAPLAN, Robert S; NORTON, David P. Strategic management: An emerging profession. **Balanced Scorecard Report**, v. 6, n. 3, p. 1–5, 2004. Citado na página 16.

KEENEY, Ralph L. Decision analysis: an overview. **Operations research**, INFORMS, v. 30, n. 5, p. 803–838, 1982. Citado na página 33.

KITCHIN, Rob. The real-time city? big data and smart urbanism. **GeoJournal**, Springer, v. 79, n. 1, p. 1–14, 2014. Citado na página 15.

\_\_\_\_\_. Making sense of smart cities: addressing present shortcomings. **Cambridge Journal of Regions, Economy and Society**, Oxford University Press, v. 8, n. 1, p. 131–136, 2015. Citado na página 15.

KOHLEGGER, Michael; MAIER, Ronald; THALMANN, Stefan. **Understanding maturity models. Results of a structured content analysis**. [S.l.]: na, 2009. Citado na página 23.

KOMNINOS, Nicos. The architecture of intelligent cities. In: IET. **Conference proceedings intelligent environments**. [S.l.], 2006. v. 6, p. 53–61. Citado na página 15.

KORONAKOS, Gregory et al. Assessment of oecd better life index by incorporating public opinion. **Socio-Economic Planning Sciences**, Elsevier, v. 70, p. 100699, 2020. Citado na página 29.

KOURTIT, Karima; NIJKAMP, Peter. Big data dashboards as smart decision support tools for i-cities—an experiment on stockholm. **Land use policy**, Elsevier, v. 71, p. 24–35, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 16.

KOURTIT, Karima; NIJKAMP, Peter; ARRIBAS, Daniel. Smart cities in perspective—a comparative european study by means of self-organizing maps. **Innovation: The European journal of social science research**, Taylor & Francis, v. 25, n. 2, p. 229–246, 2012. Citado na página 26.

KROPP, Walter W; LEIN, James K. Assessing the geographic expression of urban sustainability: A scenario based approach incorporating spatial multicriteria decision analysis. **Sustainability**, Molecular Diversity Preservation International, v. 4, n. 9, p. 2348–2365, 2012. Citado na página 31.

KUMAR, Harish et al. Moving towards smart cities: solutions that lead to the smart city transformation framework. **Technological forecasting and social change**, Elsevier, 2018. Citado na página 13.

KUMMITHA, Rama Krishna Reddy; CRUTZEN, Nathalie. How do we understand smart cities? an evolutionary perspective. **Cities**, Elsevier, v. 67, p. 43–52, 2017. Citado na página 10.

LAM, Patrick TI; MA, Ruiqu. Potential pitfalls in the development of smart cities and mitigation measures: An exploratory study. **Cities**, Elsevier, v. 91, p. 146–156, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 103 e 105.

LAN, Hua; PAN, Yun. Analysis and research on influencing factors of haze weather. In: IOP PUBLISHING. **Journal of Physics: Conference Series**. [S.l.], 2019. v. 1267, n. 1, p. 012031. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.

LANGHANS, Simone D; REICHERT, Peter; SCHUWIRTH, Nele. The method matters: a guide for indicator aggregation in ecological assessments. **Ecological indicators**, Elsevier, v. 45, p. 494–507, 2014. Citado na página 31.

LAVOIE, Roxane; DESLANDES, Julie; PROULX, François. Assessing the ecological value of wetlands using the macbeth approach in quebec city. **Journal for nature conservation**, Elsevier, v. 30, p. 67–75, 2016. Citado na página 31.

LEE, Pin-Chan et al. A multi-period comprehensive evaluation method of construction safety risk based on cloud model. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, IOS Press, v. 37, n. 4, p. 5203–5215, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.

LEONETI, Alexandre Bevilacqua; ZIOTTI, Vanessa Coimbra. Modeling the conflict within group decision making: A comparison between methods that require and do not require the use of preference aggregation techniques. In: SPRINGER. **International Conference on Group Decision and Negotiation**. [S.l.], 2019. p. 57–64. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.

LI, Feng et al. Measurement indicators and an evaluation approach for assessing urban sustainable development: A case study for china's jining city. **Landscape and urban planning**, Elsevier, v. 90, n. 3-4, p. 134–142, 2009. Citado na página 42.

LI, Mei; WU, Chong. Green supplier selection based on improved intuitionistic fuzzy topsis model. **Metallurgical & Mining Industry**, n. 6, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.

LI, Weiwei; YI, Pingtao. Assessment of city sustainability—coupling coordinated development among economy, society and environment. **Journal of Cleaner Production**, Elsevier, v. 256, p. 120453, 2020. Citado na página 29.

LIAO, Shiju et al. Comparative analysis of the indicator system for guiding smart city development. In: SPRINGER. **Proceedings of the 20th International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate**. [S.l.], 2017. p. 575–594. Citado na página 12.

LIBERATI, Alessandro et al. The prisma statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. **PLoS medicine**, Public Library of Science, v. 6, n. 7, p. e1000100, 2009. Citado na página 100.

LIERN, V; PÉREZ-GLADISH, B. Multiple criteria ranking method based on functional proximity index: un-weighted topsis. **Annals of Operations Research**, Springer, p. 1–23, 2020. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.

LIM, Chiehyeon; KIM, Kwang-Jae; MAGLIO, Paul P. Smart cities with big data: Reference models, challenges, and considerations. **Cities**, Elsevier, v. 82, p. 86–99, 2018. Citado na página 10.

LONDRES, Prefeitura de. **London Environment Strategy**. [S.l.]: Greater London Authority - City Hall, 2018. v. 1. Citado na página 62.

LUQUE-AYALA, Andrés; MARVIN, Simon. Developing a critical understanding of smart urbanism? **Urban Studies**, Sage Publications Sage UK: London, England, v. 52, n. 12, p. 2105–2116, 2015. Citado na página 10.

LYTRAS, Miltiadis; VISVIZI, Anna. Who uses smart city services and what to make of it: Toward interdisciplinary smart cities research. **Sustainability**, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 10, n. 6, p. 1998, 2018. Citado na página 13.

MA, Fei et al. Measuring and spatio-temporal evolution for the late-development advantage in china's provinces. **Sustainability**, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 10, n. 8, p. 2773, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.

MANI, D; BANERJEE, S. Smart city maturity model (scmm)-bsi. **Retrieved May**, v. 14, p. 2017, 2015. Citado na página 20.

MARE, Gianluigi De; GRANATA, Maria Fiorella; NESTICÒ, Antonio. Weak and strong compensation for the prioritization of public investments: multidimensional analysis for pools. **Sustainability**, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 7, n. 12, p. 16022–16038, 2015. Citado na página 31.

MARQUES, Guillaume; GOURC, Didier; LAURAS, Matthieu. Multi-criteria performance analysis for decision making in project management. **International Journal of Project Management**, Elsevier, v. 29, n. 8, p. 1057–1069, 2011. Citado na página 31.

MARTÍ, Luisa; MARTÍN, Juan Carlos; PUERTAS, Rosa. A dea-logistics performance index. **Journal of applied economics**, Elsevier, v. 20, n. 1, p. 169–192, 2017. Citado na página 31.

MATTONI, B; GUGLIERMETTI, F; BISEGNA, F. A multilevel method to assess and design the renovation and integration of smart cities. **Sustainable Cities and Society**, Elsevier, v. 15, p. 105–119, 2015. Citado na página 11.

MAYE, Damian. 'smart food city': Conceptual relations between smart city planning, urban food systems and innovation theory. **City, Culture and Society**, Elsevier, v. 16, p. 18–24, 2019. Citado na página 15.

MEIJER, Albert J; GIL-GARCIA, J Ramon; BOLÍVAR, Manuel Pedro Rodríguez. Smart city research: Contextual conditions, governance models, and public value assessment. **Social Science Computer Review**, SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, v. 34, n. 6, p. 647–656, 2016. Citado na página 15.

MI, Zhi-Fu et al. Regional efforts to mitigate climate change in china: a multi-criteria assessment approach. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, Springer, v. 22, n. 1, p. 45–66, 2017. Citado na página 31.



MIKULIĆ, Josip; KOŽIĆ, Ivan; KREŠIĆ, Damir. Weighting indicators of tourism sustainability: A critical note. **Ecological Indicators**, Elsevier, v. 48, p. 312–314, 2015. Citado na página 28.

MOLINOS-SENANTE, Maria et al. Assessing the sustainability of water companies: A synthetic indicator approach. **Ecological Indicators**, Elsevier, v. 61, p. 577–587, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 26 e 31.

MOONEN, Tim et al. The business of cities 2013: What do 150 city indexes and benchmarking studies tell us about the urban world in 2013. **Jones Lang LaSalle**, 2013. Citado na página 16.

MORTENSEN, Jonas et al. Danish smart cities: sustainable living in an urban world. an overview of danish smart city competencies. **Copenhagen Cleantech Cluster**, p. 14, 2012. Citado na página 15.

MUNDA, Giuseppe; NARDO, Michela. Noncompensatory/nonlinear composite indicators for ranking countries: a defensible setting. **Applied Economics**, Taylor & Francis, v. 41, n. 12, p. 1513–1523, 2009. Citado na página 29.

MUNIER, Nolberto. Methodology to select a set of urban sustainability indicators to measure the state of the city, and performance assessment. **Ecological Indicators**, Elsevier, v. 11, n. 5, p. 1020–1026, 2011. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 16.

MURIAS, Pilar; MIGUEL, José Carlos de; RODRÍGUEZ, David. A composite indicator for university quality assesment: The case of spanish higher education system. **Social Indicators Research**, Springer, v. 89, n. 1, p. 129–146, 2008. Citado na página 31.

MURUGAANANDAM, S; GANAPATHY, Velappa. Reliability-based cluster head selection methodology using fuzzy logic for performance improvement in wsns. **IEEE Access**, IEEE, v. 7, p. 87357–87368, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.

NAIM, Syibrah; HAGRAS, Hani. A type 2-hesitation fuzzy logic based multi-criteria group decision making system for intelligent shared environments. **Soft Computing**, Springer, v. 18, n. 7, p. 1305–1319, 2014. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.

NAM, Taewoo; PARDO, Theresa A. Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions. In: ACM. **Proceedings of the 12th annual**

**international digital government research conference: digital government innovation in challenging times.** [S.l.], 2011. p. 282–291. Citado na página 16.

NAPHADE, Milind et al. Smarter cities and their innovation challenges. **Computer, IEEE**, v. 44, n. 6, p. 32–39, 2011. Citado na página 11.

NARA, Elpidio Oscar Benitez et al. Expected impact of industry 4.0 technologies on sustainable development: A study in the context of brazil's plastic industry. **Sustainable Production and Consumption**, Elsevier, v. 25, p. 102–122, 2021. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.

NARDO, Michela et al. Tools for composite indicators building. **European Commission, Ispra**, Citeseer, v. 15, n. 1, p. 19–20, 2005. Citado na página 27.

NATIONS, United. Department of economic and social affairs, population division. **International migration report**, 2015. Citado na página 10.

NEELY, Andy; GREGORY, Mike; PLATTS, Ken. Performance measurement system design: A literature review and research agenda. **International journal of operations & production management**, Emerald Group Publishing Limited, v. 25, n. 12, p. 1228–1263, 2005. Citado na página 16.

NEIROTTI, Paolo et al. Current trends in smart city initiatives: Some stylised facts. **Cities**, Elsevier, v. 38, p. 25–36, 2014. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 15.

NIE, Ru-xin et al. Water security sustainability evaluation: Applying a multistage decision support framework in industrial region. **Journal of cleaner production**, Elsevier, v. 196, p. 1681–1704, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.

NILSSEN, Maja. To the smart city and beyond? developing a typology of smart urban innovation. **Technological Forecasting and Social Change**, Elsevier, v. 142, p. 98–104, 2019. Citado na página 15.

PAPAPOSTOLOU, Aikaterini et al. Exploring opportunities and risks for res-e deployment under cooperation mechanisms between eu and western balkans: A multi-criteria assessment. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Elsevier, v. 80, p. 519–530, 2017. Citado na página 31.

PAPATHOMA-KÖHLE, M et al. The importance of indicator weights for vulnerability indices and implications for decision making in disaster management. **International journal of disaster risk reduction**, Elsevier, v. 36, p. 101103, 2019. Citado na página 27.

PARUOLO, Paolo; SAISANA, Michaela; SALTELLI, Andrea. Ratings and rankings: voodoo or science? **Journal of the Royal Statistical Society: Series A (Statistics in Society)**, Wiley Online Library, v. 176, n. 3, p. 609–634, 2013. Citado na página 29.

PERMANYER, Iñaki. Assessing the robustness of composite indices rankings. **Review of Income and Wealth**, Wiley Online Library, v. 57, n. 2, p. 306–326, 2011. Citado na página 31.

PETROVIĆ, Marijana et al. An electre-based decision aid tool for stepwise benchmarking: An application over eu digital agenda targets. **Decision Support Systems**, Elsevier, v. 59, p. 230–241, 2014. Citado na página 31.

PETTIT, Christopher; LIESKE, Scott N; JAMAL, Murad. Citydash: visualising a changing city using open data. In: SPRINGER. **International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management**. [S.l.], 2017. p. 337–353. Citado na página 10.

PHILLIS, Yannis A; GRIGOROUDIS, Evangelos; KOUIKOGLU, Vassilis S. Sustainability ranking and improvement of countries. **Ecological Economics**, Elsevier, v. 70, n. 3, p. 542–553, 2011. Citado na página 29.

PICIOROAGĂ, Irina-Ioana; EREMIA, Mircea; SĂNDULEAC, Mihai. Smart city: Definition and evaluation of key performance indicators. In: IEEE. **2018 International Conference and Exposition on Electrical And Power Engineering (EPE)**. [S.l.], 2018. p. 217–222. Citado na página 18.

PILEHFOROOSHHA, Parastoo; KARIMI, Mohammad. An integrated framework for linear pattern extraction in the building group generalization process. **Geocarto International**, Taylor & Francis, v. 34, n. 9, p. 1000–1021, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.

PINNA, Francesco; MASALA, Francesca; GARAU, Chiara. Urban policies and mobility trends in italian smart cities. **Sustainability**, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 9, n. 4, p. 494, 2017. Citado na página 10.

PLAKAS, KV; GEORGIADIS, AA; KARABELAS, AJ. Sustainability assessment of tertiary wastewater treatment technologies: a multi-criteria analysis. **Water Science and Technology**, IWA Publishing, v. 73, n. 7, p. 1532–1540, 2016. Citado na página 31.

POLLESCH, N; DALE, Virginia H. Applications of aggregation theory to sustainability assessment. **Ecological Economics**, Elsevier, v. 114, p. 117–127, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 31.

POLLESCH, Nathan L; DALE, Virginia H. Normalization in sustainability assessment: Methods and implications. **Ecological Economics**, Elsevier, v. 130, p. 195–208, 2016. Citado na página 29.

PÖPPELBUSS, Jens; RÖGLINGER, Maximilian. What makes a useful maturity model? a framework of general design principles for maturity models and its demonstration in business process management. In: **Ecis**. [S.l.: s.n.], 2011. p. 28. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 26.

PORTO, Josiane Brietzke; MACADAR, Marie Anne. Em busca de boas práticas para uma metodologia em cidades inteligentes baseada em valor público. In: **CONF-IRM**. [S.l.: s.n.], 2017. p. 9. Citado na página 10.

PRAHARAJ, Sarbeswar; HAN, Hoon. Cutting through the clutter of smart city definitions: A reading into the smart city perceptions in india. **City, Culture and Society**, Elsevier, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 11.

PRAKASH, Sanjeev; PATEL, RB; JAIN, VK. A multi-attribute intuitionistic fuzzy group decision method for network selection in heterogeneous wireless networks using topsis. **TIIS**, v. 10, n. 11, p. 5229–5252, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.

PUYENBROECK, Tom Van; ROGGE, Nicky. Geometric mean quantity index numbers with benefit-of-the-doubt weights. **European Journal of Operational Research**, Elsevier, v. 256, n. 3, p. 1004–1014, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 31.

QU, Guohua et al. Some new shapley dual hesitant fuzzy choquet aggregation operators and their applications to multiple attribute group decision making-based topsis. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, IOS Press, v. 33, n. 4, p. 2463–2483, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.

RAMZAN, Naveed; DEGENKOLBE, Sven; WITT, Werner. Evaluating and improving environmental performance of hc's recovery system: A case study of distillation unit. **Chemical Engineering Journal**, Elsevier, v. 140, n. 1-3, p. 201–213, 2008. Citado na página 27.

RAO, RV. Evaluation of environmentally conscious manufacturing programs using multiple attribute decision-making methods. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture**, Sage Publications Sage UK: London, England, v. 222, n. 3, p. 441–451, 2008. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.

RODRIGUES, Teresa C et al. Modelling multicriteria value interactions with reasoning maps. **European Journal of Operational Research**, Elsevier, v. 258, n. 3, p. 1054–1071, 2017. Citado na página 31.

ROGGE, Nicky. On aggregating benefit of the doubt composite indicators. **European Journal of Operational Research**, Elsevier, v. 264, n. 1, p. 364–369, 2018. Citado na página 31.

RÖGLINGER, Maximilian; PÖPPELBUSS, Jens; BECKER, Jörg. Maturity models in business process management. **Business process management journal**, Emerald Group Publishing Limited, v. 18, n. 2, p. 328–346, 2012. Citado 7 vezes nas páginas 11, 23, 24, 25, 26, 38 e 104.

ROMERO, José Carlos; LINARES, Pedro. Exergy as a global energy sustainability indicator. a review of the state of the art. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Elsevier, v. 33, p. 427–442, 2014. Citado na página 27.

RÖSCH, Christine et al. Indicator system for the sustainability assessment of the german energy system and its transition. **Energy, Sustainability and Society**, Springer, v. 7, n. 1, p. 1, 2017. Citado na página 31.

ROSZKOWSKA, Ewa; FILIPOWICZ-CHOMKO, Marzena. Measuring sustainable development using an extended hellwig method: A case study of education. **Social Indicators Research**, Springer, p. 1–24, 2020. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.

ROWLEY, Hazel V et al. Aggregating sustainability indicators: beyond the weighted sum. **Journal of environmental management**, Elsevier, v. 111, p. 24–33, 2012. Citado na página 29.

ROY, Bernard. Decision-aid and decision-making. **European Journal of Operational Research**, Elsevier, v. 45, n. 2-3, p. 324–331, 1990. Citado na página 33.

ROY, Bernard; SŁOWIŃSKI, Roman. Questions guiding the choice of a multicriteria decision aiding method. **EURO Journal on Decision Processes**, Springer, v. 1, n. 1-2, p. 69–97, 2013. Citado na página 33.

SAIDANI, Michael et al. A taxonomy of circular economy indicators. **Journal of Cleaner Production**, Elsevier, v. 207, p. 542–559, 2019. Citado na página 29.

SAISANA, Michaela; TARANTOLA, Stefano. **State-of-the-art report on current methodologies and practices for composite indicator development**. [S.l.]: Citeseer, 2002. v. 214. Citado na página 27.

SANSEVERINO, Eleonora Riva. The role of technology in participative processes. In: **Smart Cities Atlas**. [S.l.]: Springer, 2017. p. 207–231. Citado na página 10.

SANTIS, Roberta De et al. Dealing with smartness at local level: experiments and lessons learned. **Roma: Fondazione Giacomo Brodolini**, 2015. Citado na página 11.

SERRANO, Mónica Domínguez et al. Una revisión crítica para la construcción de indicadores sintéticos. **Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa**, Sevilla: Universidad Pablo de Olavide, v. 11, p. 41–70, 2011. Citado 4 vezes nas páginas 26, 27, 29 e 30.

SETA, Fumihiko et al. From poverty, inequality to smart city. In: SPRINGER. **Proceedings of the National Conference on Sustainable Built Environment**. [S.l.], 2015. Citado na página 12.

SETH, Suman; MCGILLIVRAY, Mark. Composite indices, alternative weights, and comparison robustness. **Social Choice and Welfare**, Springer, v. 51, n. 4, p. 657–679, 2018. Citado na página 31.

SHAFIEE, Mohsen; SAFFARIAN, Shabnam; ZAREDAR, Narges. Risk assessment of human activities on protected areas: A case study. **Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal**, Taylor & Francis, v. 21, n. 6, p. 1462–1478, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.

SHAKER, Richard Ross. A mega-index for the americas and its underlying sustainable development correlations. **Ecological indicators**, Elsevier, v. 89, p. 466–479, 2018. Citado na página 27.

SHAKER, Richard R; ZUBALSKY, Sara L. Examining patterns of sustainability across europe: a multivariate and spatial assessment of 25 composite indices. **International Journal of Sustainable Development & World Ecology**, Taylor & Francis, v. 22, n. 1, p. 1–13, 2015. Citado na página 26.

SHARIFI, Ayyoob. A critical review of selected smart city assessment tools and indicator sets. **Journal of Cleaner Production**, Elsevier, 2019. Citado 3 vezes nas páginas 11, 104 e 105.

SHIH, Hsu-Shih. Incremental analysis for mcdm with an application to group topsis. **European Journal of Operational Research**, Elsevier, v. 186, n. 2, p. 720–734, 2008. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.

SILVA, Bhagya Nathali; KHAN, Murad; HAN, Kijun. Towards sustainable smart cities: A review of trends, architectures, components, and open challenges in smart cities. **Sustainable Cities and Society**, Elsevier, v. 38, p. 697–713, 2018. Citado na página 12.

SINGARAJU, Sreeram et al. Prioritizing groundwater monitoring in data sparse regions using atanassov intuitionistic fuzzy sets (a-ifs). **Water resources management**, Springer, v. 32, n. 4, p. 1483–1499, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.

SOMARRIBA, Noelia; PENA, Bernardo. Synthetic indicators of quality of life in europe. **Social Indicators Research**, Springer, v. 94, n. 1, p. 115–133, 2009. Citado na página 29.

SOYATA, Tolga et al. Smart city in crisis: Technology and policy concerns. **Sustainable Cities and Society**, Elsevier, 2019. Citado na página 10.

STRATIGEA, Anastasia; LEKA, Akrivi; PANAGIOTOPOULOU, Maria. In search of indicators for assessing smart and sustainable cities and communities' performance. In: **Smart Cities and Smart Spaces: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications**. [S.l.]: IGI Global, 2019. p. 265–295. Citado na página 12.

TANG, Juan et al. Urban sustainability evaluation under the modified topsis based on grey relational analysis. **International journal of environmental research and public health**, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 16, n. 2, p. 256, 2019. Citado na página 29.

TAYLOR, Zack. **'Lies, Damned Lies, and Statistics': A Critical Examination of City Ranking Studies**. [S.l.]: Intergovernmental Committee for Economic and Labour Force Development, 2014. Citado na página 11.

THUONG, Nguyen Thi Hoai et al. Multi-criteria evaluation of financial statement quality based on hesitant fuzzy judgments with assessing attitude. **International Journal of Management Science and Engineering Management**, Taylor & Francis, v. 13, n. 4, p. 254–264, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.

TOKODY, Daniel; SCHUSTER, György. Driving forces behind smart city implementations-the next smart revolution. **Journal of Emerging research and solutions in ICT, FICT**, v. 1, n. 2, p. 1–16, 2016. Citado na página 13.

TORRINHA, Pedro; MACHADO, Ricardo J. Assessment of maturity models for smart cities supported by maturity model design principles. In: IEEE. **2017 IEEE International Conference on Smart Grid and Smart Cities (ICSGSC)**. [S.l.], 2017. p. 252–256. Citado 4 vezes nas páginas 13, 21, 104 e 105.

TRENADO, Manuel et al. Corporate social responsibility in portfolio selection: A “goal games” against nature approach. **Computers & Industrial Engineering**, Elsevier, v. 75, p. 260–265, 2014. Citado na página 31.

TRENCHER GREGORY E KARVONEN, Andrew. Alongamento “inteligente”: promovendo a saúde e o bem-estar através da agenda das cidades inteligentes. **Ambiente Local**, v. 24, n. 7, p. 610–627, 2019. Citado na página 10.

TZENG, Gwo-Hshiung; HUANG, Jih-Jeng. **Multiple attribute decision making: methods and applications**. [S.l.]: CRC press, 2011. Citado na página 34.

UNION, International Telecommunication. **Key performance indicators related to the sustainability impacts of information and communication technology in smart sustainable cities**. [S.l.], 2016. Citado na página 19.



UNITED NATIONS. **The 2030 agenda for sustainable development**. 2015. Disponível em: <<https://sustainabledevelopment.un.org/?menu=1300>>. Acesso em: 27 jan. 2020. Citado na página 19.

VALENCIA, Sandra C et al. Adapting the sustainable development goals and the new urban agenda to the city level: Initial reflections from a comparative research project. **International Journal of Urban Sustainable Development**, Taylor & Francis, v. 11, n. 1, p. 4–23, 2019. Citado na página 12.

VAVREK, Roman; CHOVANCOVÁ, Jana. Assessment of economic and environmental energy performance of eu countries using cv-topsis technique. **Ecological Indicators**, Elsevier, v. 106, p. 105519, 2019. Citado na página 38.

VELASQUEZ, Mark; HESTER, Patrick T. An analysis of multi-criteria decision making methods. **International Journal of Operations Research**, v. 10, n. 2, p. 56–66, 2013. Citado na página 33.

VERBUNT, Pim; ROGGE, Nicky. Geometric composite indicators with compromise benefit-of-the-doubt weights. **European Journal of Operational Research**, Elsevier, v. 264, n. 1, p. 388–401, 2018. Citado na página 31.

VIDIASOVA, Lyudmila; KACHURINA, Polina; CRONEMBERGER, Felipe. Smart cities prospects from the results of the world practice expert benchmarking. **Procedia computer science**, Elsevier, v. 119, p. 269–277, 2017. Citado 3 vezes nas páginas 13, 102 e 105.

VIDOLI, Francesco; FUSCO, Elisa; MAZZIOTTA, Claudio. Non-compensability in composite indicators: A robust directional frontier method. **Social indicators research**, Springer, v. 122, n. 3, p. 635–652, 2015. Citado na página 29.

VINCKE, Philippe. **Multicriteria decision-aid**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 1992. Citado na página 33.

VOCES, Roberto; DIAZ-BALTEIRO, Luis; ROMERO, Carlos. Characterization and explanation of the sustainability of the european wood manufacturing industries: a quantitative approach. **Expert Systems with Applications**, Elsevier, v. 39, n. 7, p. 6618–6627, 2012. Citado na página 31.

WALRAVENS, Nils; BALLON, Pieter. Platform business models for smart cities: from control and value to governance and public value. **IEEE Communications Magazine**, IEEE, v. 51, n. 6, p. 72–79, 2013. Citado na página 15.

WANG, Delu; WAN, Kaidi; SONG, Xuefeng. Coal miners' livelihood vulnerability to economic shock: Multi-criteria assessment and policy implications. **Energy Policy**, Elsevier, v. 114, p. 301–314, 2018. Citado na página 31.

WANG, Jixin et al. Optimization of the number of components in the mixed model using multi-criteria decision-making. **Applied Mathematical Modelling**, Elsevier, v. 36, n. 9, p. 4227–4240, 2012. Citado na página 31.

WANG, Qingyong; DAI, Hong-Ning; WANG, Hao. A smart mcdm framework to evaluate the impact of air pollution on city sustainability: a case study from china. **Sustainability**, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 9, n. 6, p. 911, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 33.

WANG, RS; XU, HX. A comprehensive approach for yangzhou eco-city development. **China Science and Technology Press, Beijing**, p. 3–20, 2005. Citado na página 42.

WANG, Yetian; FOX, Mark S. Consistency analysis of city indicator data. In: SPRINGER. **International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management**. [S.l.], 2017. p. 355–369. Citado na página 13.

WANG, Ying-Ming; LUO, Ying. Integration of correlations with standard deviations for determining attribute weights in multiple attribute decision making. **Mathematical and Computer Modelling**, Elsevier, v. 51, n. 1-2, p. 1–12, 2010. Citado na página 31.

WANG, Zhoufeng et al. Evaluation of geological and ecological bearing capacity and spatial pattern along du-wen road based on the analytic hierarchy process (ahp) and the technique for order of preference by similarity to an ideal solution (topsis) method. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 9, n. 4, p. 237, 2020. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.

WARNECKE, Danielle; WITTSTOCK, Rikka; TEUTEBERG, Frank. Benchmarking of european smart cities—a maturity model and web-based self-assessment tool. **Sustainability Accounting, Management and Policy Journal**, Emerald Publishing Limited, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 102 e 105.

WCCD, Word Council on City Data. City data for the united nations sustainable development goals (2018). **Word Council on City Data - WCCD**, 2019. Citado na página 18.

WENDLER, Roy. The maturity of maturity model research: A systematic mapping study. **Information and software technology**, Elsevier, v. 54, n. 12, p. 1317–1339, 2012. Citado na página 23.

WIELKI, Janusz; JURCZYK-BUNKOWSKA, Magdalena; MADERA, Dariusz. Application of topsis method for evaluation of it application in the hospital. In: ACADEMIC CONFERENCES INTERNATIONAL LIMITED. **European Conference on Knowledge Management**. [S.l.], 2019. p. 1096–XXVIII. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.

WU, Yunna et al. Study of decision framework of offshore wind power station site selection based on electre-iii under intuitionistic fuzzy environment: A case of china. **Energy Conversion and Management**, Elsevier, v. 113, p. 66–81, 2016. Citado na página 31.

WÜRTEMBERGER, Laura; KOELLNER, Thomas; BINDER, Claudia R. Virtual land use and agricultural trade: Estimating environmental and socio-economic impacts. **Ecological Economics**, Elsevier, v. 57, n. 4, p. 679–697, 2006. Citado na página 31.

XU, Xuanhua et al. A multi-attribute large group emergency decision making method based on group preference consistency of generalized interval-valued trapezoidal fuzzy numbers. **Journal of Systems Science and Systems Engineering**, Springer, v. 24, n. 2, p. 211–228, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.

YANG, Fu Chiang et al. A common weight approach to construct composite indicators. 2017. Citado na página 29.

YANG, Wenguang; WU, Yunjie. A novel topsis method based on improved grey relational analysis for multiattribute decision-making problem. **Mathematical Problems in Engineering**, Hindawi, v. 2019, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.

YIGITCANLAR, Tan et al. Can cities become smart without being sustainable? a systematic review of the literature. **Sustainable cities and society**, Elsevier, 2018. Citado na página 12.

ZHANG, Hongrun et al. Internet financial investment product selection with pythagorean fuzzy dnma method. **Engineering Economics**, v. 31, n. 1, p. 61–71, 2020. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.

ZHANG, Xiaoling; WU, Yuzhe; SHEN, Liyin. An evaluation framework for the sustainability of urban land use: A study of capital cities and municipalities in china. **Habitat International**, Elsevier, v. 35, n. 1, p. 141–149, 2011. Citado na página 27.

ZHOU, Peng; ANG, BW; POH, KL. Comparing aggregating methods for constructing the composite environmental index: An objective measure. **Ecological Economics**, Elsevier, v. 59, n. 3, p. 305–311, 2006. Citado na página 31.

\_\_\_\_\_. A mathematical programming approach to constructing composite indicators. **Ecological economics**, Elsevier, v. 62, n. 2, p. 291–297, 2007. Citado na página 31.

ZHOU, Xiongyong; XU, Zhiduan. An integrated sustainable supplier selection approach based on hybrid information aggregation. **Sustainability**, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 10, n. 7, p. 2543, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.

ZHU, Shiyao; LI, Dezhi; FENG, Haibo. Is smart city resilient? evidence from china. **Sustainable Cities and Society**, Elsevier, v. 50, p. 101636, 2019. Citado 3 vezes nas páginas 10, 32 e 33.

ZOLFANI, Sarfaraz Hashemkhani et al. Evaluating construction projects of hotels based on environmental sustainability with mcdm framework. **Alexandria engineering journal**, Elsevier, v. 57, n. 1, p. 357–365, 2018. Citado na página 33.

ZVOLSKA, Lucie et al. Urban sharing in smart cities: the cases of berlin and london. **Local Environment**, Taylor & Francis, v. 24, n. 7, p. 628–645, 2019. Citado na página 61.

## **APÊNDICES**

## APÊNDICE A – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA

Para a aplicação da Revisão Bibliográfica Sistemática foi utilizada as diretrizes do método Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis (PRISMA). Esse método utiliza uma abordagem sistemática e explícita para identificar, selecionar e avaliar, criticamente, os dados de pesquisa que irão compor revisão (LIBERATI et al., 2009).

As questões da pesquisa serviram para nortear todo o processo de revisão sistemática da literatura, identificando os estudos envolvidos, os dados necessários a serem extraídos de cada publicação.

A identificação dos registros de pesquisa foi realizada por meio de três mecanismos de pesquisa: *Scopus Database*, *Science Direct* e *Web of Science*, em outubro de 2019. A pesquisa foi realizada de acordo com uma combinação de palavras-chave e utilizou o operador "AND" para os campos de resumo, título e palavras-chave. Foram consideradas como palavras chaves: *Smart City\**, *Maturity Model*, *Index\** e *Decision Making*. Dessa forma, foi necessário se realizar a combinação dos termos, formando as *strings* de busca:

- "Smart City\*"AND "Decision Making"AND "Maturity Model"
- "Smart City\*"AND "Maturity Model"
- "Smart City\*"AND "Maturity Model"AND "Index\*"

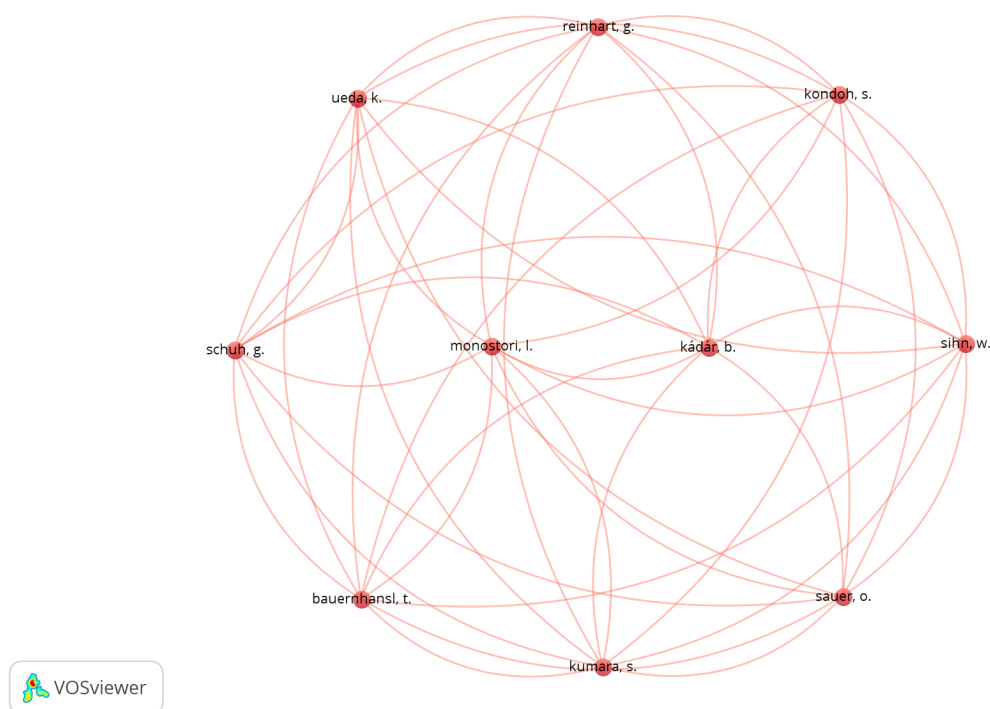
Foram consideradas apenas as publicações em inglês e publicadas em periódicos, os resultados da busca são apresentados no Figura 25.

A busca não possui restrição de tempo em nenhuma das bases de dados acessadas, após a extração dos materiais das bases de dados, fez-se necessário eliminar os estudos duplicados, resultando em um total de 40 artigos para análise. Esses estudos foram submetidos a uma análise bibliométrica a fim de se identificar temas centrais de pesquisa, principais autores e principais palavras chaves e termos encontrados no portfólio analisado, como mostra a Figura 26.

**Figura 25 – string de busca e resultado da coleta de dados.**

String	Scopus	Science Direct	Web of Science
"Cidade inteligente *"AND "Tomada de decisão" AND "Modelo de maturidade"	3	30	1
"Smart City*"AND "Maturity Model"	28	45	10
"Cidade inteligente *"AND "Modelo de maturidade" AND "Índice *"	2	13	1
<b>Total de artigos</b>	133		

**Figura 26 – Autores do portfólio**



**Fonte: Autoria Própria.**

De 137 autores do portfólio apenas 10 possuem relações entre si, ou seja, formam o mesmo *cluster*, todos os autores apresentam links entre si, mas estão distantes, mostrando que suas relações não são tão próximas.

A segunda análise apresentou as palavras chaves presentes no portfólio em formato de rede, como mostra a Figura 27.

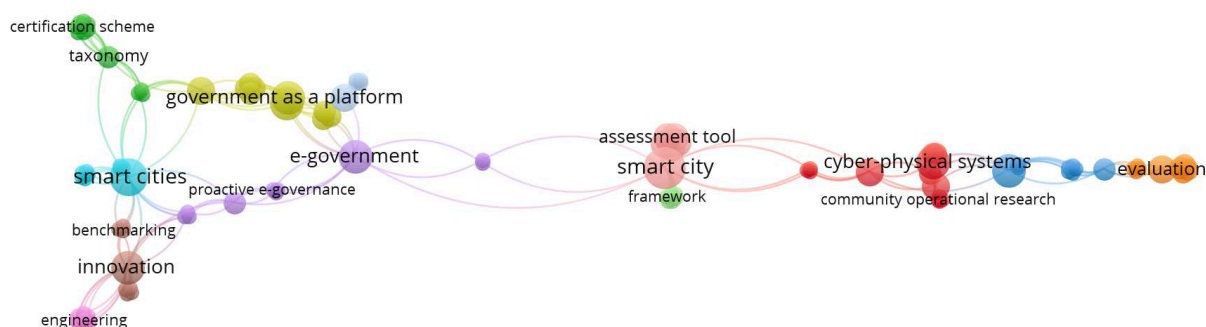
A rede mostra que as ferramentas de monitoramento *Smart Cities* estão distantes dos conceitos entorno do tema. Logo, o trabalho proposto apresenta sua relevância, uma vez que tem como foco utilizar um modelo de maturidade para analisar o desempenho de uma *smart cities*, no contexto de suas dimensões e indicadores.

Após a análise sistemática do portfólio foi iniciado, um processo de triagem, assim, foi definido para identificar as publicações relevantes, bem como para responder as questões de pesquisa. Num primeiro momento foi eliminado os estudos que não contribuíam com nenhuma questão de pesquisa em seus resumos, restando apenas sete estudos para análise de seu texto completo. As etapas desse estudo são sintetizadas na Figura 28.

A Figura 29 apresenta o percentual de itens analisados do portfólio.

A análise completa foi realizada com 3% dos estudos encontrados, ou seja, dos 93 artigos coletados, 13 contemplarão a análise bibliométrica e apenas 7 estudos

**Figura 27 – Palavras chaves do portfólio**



**Fonte: Autoria Própria.**

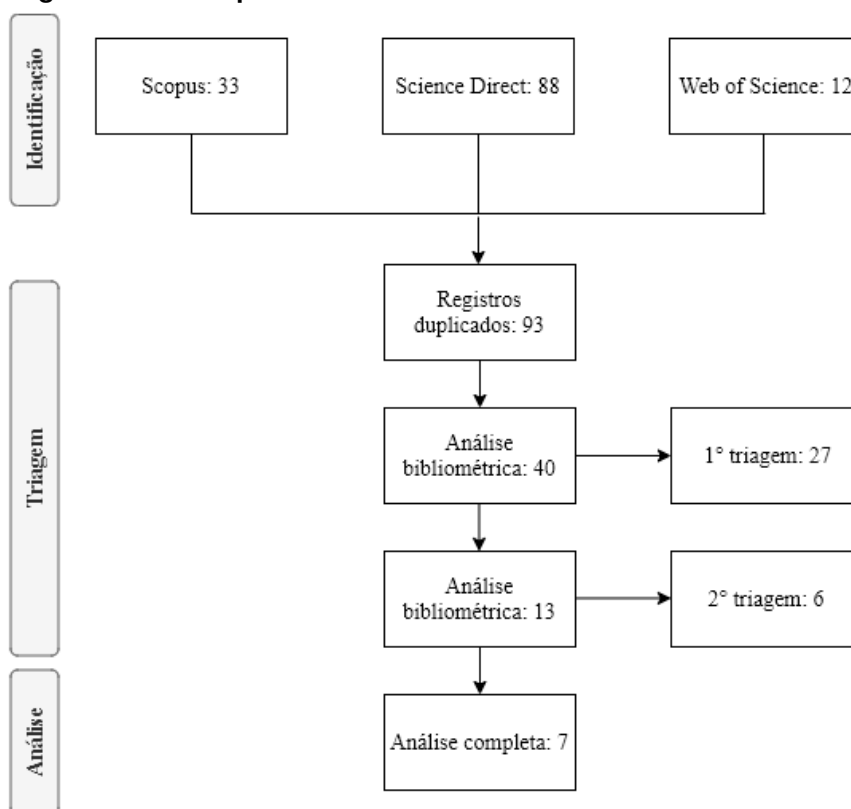
se enquadram no portfólio de análise a fim de responder os questionamentos realizados no início da pesquisa.

Firmansyah et al. (2019) abordam, em seu estudo, três deficiências do contexto cidades inteligentes. Foi utilizado uma abordagem de modelagem participativa para se criar mapas de inter-relacionamento com 52 fatores (ou conceitos) conectados por 98 links extraídos de uma revisão sistemática executada pelos autores. Posteriormente, os mapas foram estendidos em um Mapa Cognitivo Difuso e foi solicitado aos especialistas que caracterizassem cada elo causal, transformando caracterizações intuitivas em números por meio da Lógica difusa.

Já Warnecke, Wittstock e Teuteberg (2019) forneceu uma ferramenta para a avaliação do desempenho de cidades inteligentes como: foco na mobilidade urbana, acompanhar o progresso do desenvolvimento e determinar sua posição competitiva por meio de *benchmarking*. Como objeto de estudo foi elaborado um aplicativo que fornece às cidades orientações práticas sobre como melhorar sua posição com base nos resultados da avaliação. A pesquisa desenvolvida representa um questionário avaliado para mobilidade inteligente e fornece várias análises gráficas na forma de níveis de maturidade, benchmarks e tendências individuais da cidade para o usuário. Nossa ferramenta *on-line* é um exemplo de transferência de conhecimento da ciência para as



Figura 28 – Fluxograma Prisma aplicado no estudo



Fonte: Autoria Própria.

Figura 29 – Portfólio de Avaliação



Fonte: Autoria Própria.

partes interessadas práticas.

Vidasova, Kachurina e Cronemberger (2017) avalia em seu estudo os resultados do *benchmarking* de práticas mundiais para vinte cidades inteligentes e procura determinar os casos mais bem-sucedidos que possam ser de interesse para um melhor desenvolvimento urbano. O sistema *Smart City Wheel* de B. Cohen foi usado como sistema de indicadores, além de avaliação de especialistas, e aplicação de métodos estatísticos que foram utilizados na pesquisa.

O estudo de Lam e Ma (2019) relatam que *Smart Cities* devem ser capazes

de enfrentar vários desafios colocados pelas urbanizações e melhorar a qualidade de vida das pessoas, no entanto o conceito mal aplicado traz armadilhas com impactos negativos. Através de uma extensa revisão da literatura, este estudo identifica quatro áreas de armadilha geral, incluindo insegurança de informações do sistema, vazamento de privacidade pessoal, ilhas de informações e divisão digital, juntamente com suas possíveis causas, efeitos adversos e possíveis medidas de mitigação. Foi identificado que problemas técnicos e não técnicos podem causar essas armadilhas, para tanto os esforços de diferentes atores são necessários para mitigar essas possíveis armadilhas, preparando uma política de segurança bem definida e minimizando erros humanos é uma das primeiras atividades de um plano de ação que foca em minimizar as possíveis falhas que podem ocorrer.

Cledou, Estevez e Barbosa (2018) propuseram uma taxonomia sobre serviços de mobilidade inteligente, a mesma compreende oito dimensões: tipo de serviços, nível de maturidade, tipo de usuários, tecnologias aplicadas, canais de entrega, benefícios, beneficiários e funcionalidade comum. A contribuição deste trabalho é dupla, primeiro, apresenta um amplo mapeamento de serviços de mobilidade que podem ser implantados no contexto de iniciativas de cidades inteligentes. Segundo, introduz uma taxonomia que define e classifica conceitos relevantes para formuladores de políticas. Sendo assim, os formuladores de políticas podem se beneficiar da taxonomia ao definir estratégias de mobilidade inteligente, pois permitem identificar as partes interessadas para as quais os serviços precisam ser definidos.

Sharifi (2019) em seu estudo analisou trinta e quatro ferramentas voltadas a medir o desempenho de uma *Smart Cities*, a fim de identificar seus pontos fortes e fracos em termos de conteúdo, estrutura e procedimentos. Os resultados dessas avaliações podem ser usados para diferentes propósitos. Por exemplo, desenvolvedores ou autoridades da cidade podem aplicar a estrutura de análise para escolher as ferramentas que melhor atendem às suas necessidades. Além disso, pesquisadores e desenvolvedores de ferramentas podem usar a estrutura para examinar a validade de conteúdo e estrutura das ferramentas e fazer ajustes, se necessário. Em geral, ressalta-se que em muitas partes do mundo, as cidades ainda estão nos estágios iniciais de desenvolvimento e operacionalização na busca de ser considerada uma cidade inteligente, mais importante ainda, as práticas de avaliação ainda não estão integradas ao planejamento urbano oficial e mecanismos e estratégias de gestão. No entanto, cada vez mais as cidades são obrigadas a relatar seu desempenho em diferentes conjuntos de indicadores de desempenho, portanto, vale a pena desenvolver métodos para integrar os critérios de inteligência nas ferramentas de avaliação existentes.

Torrinha e Machado (2017) em seu estudo identifica modelos de maturidade de cidades inteligentes e os avalia, levando em consideração uma abordagem base-

ada na estrutura de princípios de design proposta por (RÖGLINGER; PÖPPELBUSS; BECKER, 2012). O principal objetivo deste artigo é inferir sobre a relevância dos modelos atuais de maturidade para cidades inteligentes, levando em consideração sua finalidade. Além disso, visa conscientizar sobre a necessidade de integridade ao desenvolver um modelo de maturidade. Isso mostra que os modelos de maturidade podem ser ferramentas importantes para apoiar o desenvolvimento de uma cidade em direção a uma cidade inteligente. Os modelos existentes, embora atendam à necessidade de avaliar o estado atual de uma cidade, não permitem orientações para a progressão ao longo dos níveis de maturidade. Portanto, trabalhos adicionais podem ser dedicados à combinação e aprimoramento dos modelos analisados, adicionando princípios relacionados a uma finalidade prescritiva de uso. Os modelos avaliados foram: IDC *Smart City Maturity Model*; Br-SCMM e *Sustainability Outlook* (SO SCMM).

Em relação ao primeiro questionamento: a análise de desempenho da maturidade de uma *Smart Cities* contempla um processo de tomada de decisão?. Os autores Warnecke, Wittstock e Teuteberg (2019) e Torrinha e Machado (2017), mencionam que modelos de maturidade são estruturas desenvolvidas que auxiliam o processo de tomada de decisão de um dado objeto.

Já em relação a questão: Como as *Smart Cities* são avaliadas atualmente?. Sharifi (2019) comentam que a dispersão de técnicas de avaliação é imensa, tornando o processo de avaliação de desempenho da *smartness* de uma cidade complexo e dispendioso. Firmansyah et al. (2019) utiliza em seu estudo a Lógica Fuzzy para tratar os dados levantados. Vídiasova, Kachurina e Cronemberger (2017) propõem um modelo de maturidade voltado a cidade inteligente estruturado em um aplicativo, os métodos de cálculo para se identificar os níveis de maturidade não são apresentados. Lam e Ma (2019) utiliza a metodologia proposta por Cohen (2013) para avaliar uma cidade em seu aspecto *smart*. Observa-se que, atualmente, há diversas ferramentas de monitoramento da *smartness* de uma cidade, mas muitas vezes as mesmas não são claras em seus aspectos de cálculo, outras vezes não apresentam indicadores confiáveis.

Por fim, os resultados da RS mostra que o estudo de mensuração de desempenho para *Smart Cities* vem crescendo substancialmente, mas os modelos de avaliação existentes atualmente ainda são falhos nos aspectos de cálculos e seleção dos indicadores. Dessa forma, este trabalho se justifica, por apresentar um estrutura de modelo de maturidade voltado a *Smart Cities* que segue o padrão ISO 37153:2017 e ISO 37120:2018, além de apresentar uma estrutura de cálculo robusta baseada em técnicas multicritérios e estatísticas.