

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**USO DE TÉCNICAS *FUZZY* PARA DETERMINAÇÃO DO GRAU DE  
INTELIGÊNCIA DE CIDADES**

**PAULA CID ORNELAS**

**ORIENTADOR: FRANCISCO EVANGELISTA JÚNIOR**

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL II EM ENGENHARIA CIVIL**

**BRASÍLIA/DF: MAIO/2022**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**USO DE TÉCNICAS *FUZZY* PARA DETERMINAÇÃO DO GRAU DE  
INTELIGÊNCIA DE CIDADES**

**PAULA CID ORNELAS**

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.

**APROVADA POR:**

---

**Francisco Evangelista Júnior, PhD (ENC – UnB)**  
(Orientador)

---

**Michelle Andrade, DSc. (ENC – UnB)**  
(Examinadora Interna)

---

**Raquel Naves Blumenschein, DSc. (FAU – UnB)**  
(Examinadora Externa)

DATA: BRASÍLIA/DF, 9 DE MAIO DE 2022.

## FICHA CATALOGRÁFICA

ORNELAS, PAULA CID

Uso de Técnicas *Fuzzy* para Determinação do Grau de Inteligência de Cidades.

xii, 60p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Civil, 2022)

Trabalho de Projeto Final - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Sustentabilidade

2. Lógica *Fuzzy*

3. Cidades Inteligentes

4. Indicadores

I. ENC/FT/UnB

II. Título (Bacharel)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ORNELAS, P.C. (2022). Uso de Técnicas *Fuzzy* para Determinação do Grau de Inteligência de Cidades. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 60p.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Paula Cid Ornelas

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Uso de Técnicas *Fuzzy* para Determinação do Grau de Inteligência de Cidades.

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Civil / 2022

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Paula Cid Ornelas

[cidornelaspaula@gmail.com](mailto:cidornelaspaula@gmail.com)

## **AGRADECIMENTOS**

À Faculdade de Tecnologia da UnB, por proporcionar um ambiente de estudo agradável e repleto de oportunidades. A todos os professores que me acompanharam ao longo do curso e contribuíram para minha formação. Em especial, ao professor Francisco Evangelista, pela orientação, apoio e confiança.

Com muito carinho, agradeço aos meus pais, Joaquim e Ana Beatriz, e meus irmãos, Gustavo e Luiza, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Aos meus amigos e companheiros de curso, que tornaram essa jornada mais leve e prazerosa. Obrigada por todo apoio e cumplicidade, os últimos 5 anos não seriam os mesmos sem vocês. Em especial, Maria Júlia, Gabriela Vilaro, Victor Tanabe, Leonardo Martinho, Leonardo Pappas, Ruan Alencar e Marcus Toloza.

## RESUMO

Nos últimos anos, muito tem se discutido sobre questões que envolvem o futuro dos ambientes urbanos. Neste contexto, surge a necessidade de se desenvolver técnicas para avaliar o desempenho das cidades em quesitos como serviços urbanos, qualidade de vida e inteligência. Determinar o grau de inteligência de uma cidade é uma tarefa complexa, que envolve a análise de aspectos socioeconômicos, tecnológicos e de sustentabilidade. O objetivo deste trabalho é desenvolver e testar uma ferramenta utilizando um sistema *fuzzy* para avaliar o grau de aderência das cidades aos indicadores propostos pela ISO 37122 – Indicadores de Cidades Inteligentes e pela ISO 37120 – Indicadores para Serviços de Cidades e Qualidade de Vida.

Primeiramente, para testar a validade da metodologia proposta, utilizou-se uma base de dados com valores fictícios. Então, foram coletados dados reais de 21 cidades e aplicou-se a metodologia. Foram testados 6 cenários diferentes, variando o grau de importância que foi dado para determinados indicadores. A partir dos resultados obtidos, concluiu-se que a ferramenta é útil para classificar cidades e possibilita o estudo da variação do desempenho das dependendo da importância que é dada a diferentes aspectos de uma cidade. Entretanto, observa-se a necessidade de trabalhos futuros para o aperfeiçoamento da técnica e aprofundamento do tema.

**Palavras-chave:** Cidades Inteligentes; Lógica *Fuzzy*; Sustentabilidade; Indicadores.

## **ABSTRACT**

In recent years, much has been discussed about issues involving the future of urban environments. In this context, there is a need to develop techniques to evaluate the performance of cities in terms of urban services, quality of life, and intelligence. Determining how smart a city is is a complex task that involves analyzing socioeconomic, technological, and sustainability aspects. This work aimed to develop and test a tool using fuzzy techniques to assess the degree of adherence of cities to the indicators proposed by ISO 37122 – Smart Cities Indicators and ISO 37120 – Indicators for City Services and Quality of Life.

First, to assess the validity of the methodology, the technique was used on a database with fictitious values. Then, the study applies the tool to real-world data from twenty-one cities, distributed in six different scenarios varying the degree of importance assigned to specific indicators. Based on the results obtained, the approach is functional in classifying cities. It also facilitates studying the variation of their performance depending on the importance given to different aspects of a city. However, there is a need for future work to improve the technique and deepen the theme.

**Keywords:** Smart Cities; Fuzzy Logic; Sustainability; Indicators.

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA .....	1
1.2. OBJETIVOS.....	2
1.3. ESTRUTURA DO PROJETO .....	3
<b>2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....</b>	<b>4</b>
2.1. SISTEMA DE INFERÊNCIAS <i>FUZZY</i> .....	4
2.1.1. Fundamentos da Teoria dos Conjuntos Fuzzy .....	4
2.1.2. Arquiteturas de Sistema de Inferência Fuzzy .....	6
2.2. INDICADORES PARA CIDADES INTELIGENTES .....	10
2.2.1. ISO 37120: <i>Sustainable Development of Communities – Indicators for City Services and Quality of Life (2014)</i> .....	12
2.2.2. ISO 3122: <i>Sustainable Cities and Communities – Indicators for Smart Cities (2019)</i> .....	14
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>15</b>
3.1. APRESENTAÇÃO GERAL .....	15
3.2. CONSTRUÇÃO DO SISTEMA <i>FUZZY</i> .....	16
3.3. ESTRUTURAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DO SISTEMA .....	19
3.4. DESENVOLVIMENTO DA INTERFACE DO USUÁRIO .....	21
3.5. APLICAÇÃO EM DADOS FICTÍCIOS .....	23
3.6. ELABORAÇÃO DA BASE DE DADOS .....	26
3.7. APLICAÇÃO EM DADOS REAIS .....	29
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>30</b>
4.1. BASE DE DADOS FICTÍCIOS .....	30
4.2. BASE DE DADOS REAIS.....	38
4.2.1. Cenário I: todos os indicadores com o mesmo peso .....	38
4.2.2. Cenário II: telecomunicação e inovação é muito mais importante .....	42
4.2.3. Cenário III: resíduos sólidos e esgoto são muito mais importantes .....	44
4.2.4. Cenário IV: todos os indicadores com o mesmo peso (apenas transportes) .....	46
4.2.5. Cenário V: ciclovias são mais importantes (apenas transportes) .....	50
4.2.6. Cenário VI: transporte público é mais importante (apenas transportes) .....	51
<b>5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>55</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>57</b>
<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>59</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Comparação entre o FIS Mamdani e o FIS Takagi (adaptado de Mathworks, 2021) .....	6
Tabela 2.2 - Temas abordados pela NBR ISO 37120 .....	13
Tabela 2.3 - Temas abordados pela NBR ISO 37122 .....	14
Tabela 3.1 – Conjunto de Regras a Ser Utilizada para Cada Situação.....	18
Tabela 3.2 - Indicadores Selecionados Para o Teste com o Modelo Proposto.....	23
Tabela 3.3 - Indicadores Simulados .....	24
Tabela 3.4 - Ordem dos Dados de Entrada em Cada um dos Cenários.....	25
Tabela 3.5 - Pesos no Cenário IX.....	25
Tabela 3.6 - Cidades Selecionadas .....	26
Tabela 3.7 - Indicadores Selecionados .....	27
Tabela 3.8 - Pesos em Cada um dos Cenários.....	29
Tabela 4.1 - Resultados Obtidos no Cenário I.....	30
Tabela 4.2 - Ranking das Cidades .....	33
Tabela 4.3 - Média e Desvio Padrão dos Resultados .....	34
Tabela 4.4 - Comparação entre Cenário I e Cenário IX.....	36
Tabela 4.5 - Pesos no Cenário I.....	38
Tabela 4.6 - Resultados Cenário I .....	39
Tabela 4.7 - Pesos no Cenário II .....	42
Tabela 4.8 - Resultados Cenário II.....	43
Tabela 4.9 - Pesos no Cenário III.....	45
Tabela 4.10 - Resultados Cenário III.....	45
Tabela 4.11 - Pesos no Cenário IV.....	46
Tabela 4.12 - Resultados Cenário IV .....	47
Tabela 4.13 - Pesos no Cenário V .....	50
Tabela 4.14 - Resultados Cenário V.....	51
Tabela 4.15 - Pesos no Cenário VI.....	52
Tabela 4.16 - Resultados Cenário VI .....	52
Tabela A.1 – Base de Dados Coletada (antes do tratamento de dados) .....	59
Tabela A.2 – Base de Dados Coletada (depois do tratamento de dados) .....	59



## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Número <i>fuzzy</i> triangular (Zimmermann, 1991, <i>apud</i> Lima Junior, 2016).....	5
Figura 2.2 - Número <i>fuzzy</i> trapezoidal (Zimmermann, 1991, <i>apud</i> Lima Junior, 2016) .....	5
Figura 2.3 - Número <i>fuzzy</i> com morfologia gaussiana (Zimmermann, 1991, <i>apud</i> Lima Junior, 2016).....	6
Figura 2.4 - Estrutura do sistema de inferência proposto Mamdani e Assilian (1975) (Zimmermann, 1991, <i>apud</i> Lima Junior, 2016) .....	7
Figura 2.5 - Exemplo de regra de inferência (Lima Junior, 2016).....	7
Figura 2.6 - Defuzificação pelo Método do Centro de Gravidade (adaptado de Sgambi e Bontempi, 2005).....	9
Figura 2.7 - Resumo FIS para um sistema com 2 entradas, 3 regras e 1 saída (adaptado de Mathworks, 2021) .....	10
Figura 2.8 - Categorias das Cidades Inteligentes (Adaptado de Giffinger <i>et al.</i> , 2007) .....	11
Figura 2.9 - Relação entre a família de normas de indicadores urbanos (Adaptado de ISO, 2021) .....	12
Figura 3.1 - Apresentação da Metodologia .....	15
Figura 3.2 - Representação do Sistema Criado no Matlab .....	16
Figura 3.3 - Funções de Pertinência no Matlab .....	17
Figura 3.4 - Base de Regras.....	18
Figura 3.5 - Superfície 1: A mais importante que B .....	18
Figura 3.6 - Superfície 2: A menos importante que B.....	19
Figura 3.7 - Superfície 3: A e B com igual importância .....	19
Figura 3.8 - Esquema da Metodologia .....	20
Figura 3.9 - Esquema da Metodologia para Computação dos Pesos.....	20
Figura 3.10 - Interface do Programa ACI.....	22
Figura 3.11 - Interface para Seleção dos Arquivos .....	22
Figura 3.12 - Exemplo de Dados da Cidade.....	22
Figura 3.13 - Exemplo de Pesos .....	23
Figura 3.14 - Exemplo de Indicadores .....	23
Figura 3.15 - Esquema da Metodologia para Dados Fictícios .....	24
Figura 3.16 - Mapa com Cidades Escolhidas .....	28
Figura 4.1 - Gráfico do Indicador de Economia.....	31
Figura 4.2 - Gráfico do Indicador de Governança.....	31

Figura 4.3 - Gráfico do Indicador de Transportes .....	32
Figura 4.4 - Gráfico do Indicador de Energia .....	32
Figura 4.5 - Gráfico do $\lambda$ .....	33
Figura 4.6 - <i>Boxplot</i> dos Resultados.....	34
Figura 4.7 - <i>Boxplot</i> dos Resultados - Grupo 1 .....	35
Figura 4.8 - <i>Boxplot</i> dos Resultados - Grupo 2 .....	35
Figura 4.9 - <i>Boxplot</i> dos Resultados - Grupo 3 .....	36
Figura 4.10 - Distribuição de $\lambda$ em Função do Ind. 5.1 .....	37
Figura 4.11 - Distribuição de $\lambda$ em Função do Ind. 5.2.....	37
Figura 4.12 - Distribuição de $\lambda$ em Função do Ind. 10.1 .....	38
Figura 4.13 - Ranking Cenário I.....	39
Figura 4.14 - Mapa de Calor da Matriz de Correlação - Cenário I .....	40
Figura 4.15 - Distribuição do $\lambda$ em Função do Ind. 11.1 - Cenário I .....	41
Figura 4.16- Distribuição do $\lambda$ em Função do Ind. 12.1 - Cenário I .....	41
Figura 4.17- Distribuição do $\lambda$ em Função do Ind. 16.1 - Cenário I .....	42
Figura 4.18 - Ranking Cenário II .....	43
Figura 4.19 - Distribuição do $\lambda$ em Função do Ind. 17.1 - Cenário I .....	44
Figura 4.20 - Distribuição do $\lambda$ em Função do Ind. 17.1 - Cenário II.....	44
Figura 4.21 - Ranking Cenário III .....	46
Figura 4.22 - Distribuição do $\lambda$ em Função do Ind. 16.1 - Cenário III.....	46
Figura 4.23 - Ranking Cenário IV .....	48
Figura 4.24 - Mapa de Calor da Matriz de Correlação - Cenário IV .....	48
Figura 4.25- Distribuição do $\lambda$ em Função do Ind. 18.1 - Cenário IV .....	49
Figura 4.26- Distribuição do $\lambda$ em Função do Ind. 18.2 - Cenário IV .....	49
Figura 4.27- Distribuição do $\lambda$ em Função do Ind. 18.7 - Cenário IV .....	50
Figura 4.28 - Ranking Cenário V .....	51
Figura 4.29 - Ranking Cenário VI.....	53
Figura 4.30- Distribuição do $\lambda$ em Função do Ind. 18.1 - Cenário VI .....	53
Figura 4.31- Distribuição do $\lambda$ em Função do Ind. 18.2 - Cenário VI .....	54
Figura 4.32- Distribuição do $\lambda$ em Função do Ind. 18.7 - Cenário VI .....	54

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 2.1 .....	4
Equação 2.2 .....	5
Equação 2.3 .....	5
Equação 2.4 .....	6
Equação 2.5 .....	8
Equação 2.6 .....	8
Equação 2.7 .....	8
Equação 2.8 .....	8
Equação 2.9 .....	9
Equação 3.1 .....	28
Equação 3.2 .....	29

## LISTA DE ABREVIACÕES, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Codeplan	Companhia de Planejamento do Distrito Federal
DESA	Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais
GDF	Governo do Distrito Federal
FIS	Sistema de Inferência <i>Fuzzy</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISO	Organização Internacional de Padronização
NBR	Norma Brasileira
ONU	Organização das Nações Unidas
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
PNCI	Plano Nacional de Cidades Inteligentes
TIC	Tecnologias de Informação e Comunicação
UN-HABITAT	Programa das Nações Unidas para Assentamentos Urbanos

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

Em outubro de 2019, no Dia Mundial das Cidades, Jonas Rabiovitch, arquiteto da ONU, declarou que a urbanização é um fenômeno mundial irreversível. De acordo com o Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais (DESA), em 2018, 55% da população, ou seja 4,2 bilhões de pessoas, viviam em centros urbanos. A previsão é que até 2050, mais 2,5 bilhões de cidadãos tenham optado por viver nas cidades (ONU, 2019). Com o crescimento das cidades e o crescimento populacional, fazer uma gestão eficiente dos recursos disponíveis e fornecer serviços de qualidade para os cidadãos se torna um desafio a ser vencido.

Assim, discutir as cidades passou a ser um tema crítico e as tecnologias da informação e comunicação (TIC) assumiram o papel de facilitadoras para a análise das cidades (WEISS *et al.*, 2017). Nos últimos anos, expressões como “cidades globais”, “cidades digitais” e “cidades inteligentes” surgiram como reflexo de recorrentes debates sobre questões que envolvem o futuro dos ambientes urbanos.

O termo “cidade inteligente” é usado para descrever cidades que fazem uso de tecnologias projetadas para aumentar a eficiência, transparência na demonstração da gestão e outros aspectos da performance da infraestrutura e de serviços urbanos (Frick *et al.*, 2021). Neste contexto, as cidades inteligentes podem ser vistas como uma alternativa para contribuir com a gestão efetiva das cidades através do uso de tecnologias para gerenciar os serviços e a infraestrutura das cidades (JUNIOR *et al.*, 2021). Destaca-se, portanto, que não há um conceito exato para cidades inteligentes, havendo muita discussão sobre o grau de importância que se deve dar a aspectos socioeconômicos, tecnológicos e de sustentabilidade.

Buscando padronizar a classificação da performance de uma cidade, a Organização Internacional de Padronização (ISO), criou duas normas, em 2014 e 2019, com indicadores para serviços urbanos e qualidade de vida (ISO 37120) e com indicadores para cidades inteligentes (ISO 37122). Com o uso de indicadores padronizados, passou a ser possível comparar cidades entre si e uma mesma cidade ao longo do tempo (ISO, 2014).

Nos últimos 30 anos, *rankings* de cidades se tornaram um instrumento para avaliar a atratividade de regiões urbanas (GIFFINGER *et al.*, 2007). Nestes estudos comparativos, as

idades são avaliadas e ordenadas a respeito de características econômicas, sociais e geográficas (GIFFINGER *et al.*, 2007). Os resultados são usados pelas próprias cidades para aumentarem sua reputação e para orientar suas metas futuras.

O contexto brasileiro segue a mesma tendência internacional. De acordo com os dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) feita pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2015, 84,72% da população brasileira vive em áreas urbanas. Weiss *et al.* (2017) afirmam que o cenário brasileiro apresenta desafios ainda mais intensos devido às condições atuais de tecnologia e infraestrutura.

Existem diversas iniciativas para implantação das cidades inteligentes no Brasil. O Projeto de Lei 976/21 estabelece uma política para estimular o desenvolvimento das cidades inteligentes (Brasil, 2021). Os princípios gerais e objetivos foram determinados pela Política Nacional de Cidades Inteligentes (PNCI) (Brasil, 2021). Segundo os autores do projeto, o objetivo final é tornar os serviços públicos mais eficientes e melhorar a qualidade de vida dos cidadãos. Dessa forma, percebe-se não só a importância como a relevância do tema de cidades inteligentes na atualidade.

O presente estudo propõe a criação de uma ferramenta que, a partir de um banco de dados de indicadores padronizados, possibilita a avaliação de cidades tanto em categorias específicas, como economia ou transportes, quanto de forma geral. Com os resultados dessas avaliações será possível ordenar as cidades e compará-las entre si ou ao longo do tempo.

## **1.2. OBJETIVOS**

O objetivo deste trabalho é desenvolver e testar uma ferramenta utilizando técnicas *fuzzy* para avaliar o grau de aderência das cidades aos indicadores de cidade inteligentes propostos pela ISO 37122 – Indicadores de Cidades Inteligentes e pela ISO 37120 – Indicadores para Serviços de Cidades e Qualidade de Vida. A partir desta avaliação, será possível criar um *ranking* das cidades de acordo com seu nível de inteligência. Como objetivos específicos, tem-se:

- Criar uma base de dados de cidades reais e seus indicadores com base nas ISO 37122 e/ou ISO 37120;
- Demonstrar a validade da ferramenta tanto com dados genéricos quanto com dados reais;

- Desenvolver uma interface agradável aos usuários para o uso da ferramenta.

### **1.3. ESTRUTURA DO PROJETO**

No capítulo 1, constam-se as informações introdutórias do projeto. No capítulo 2, são abordados os fundamentos teóricos, destacando-se os conceitos de inferência *fuzzy* e os indicadores de cidades inteligentes. No capítulo 3, a metodologia do trabalho é apresentada. No capítulo 4, são mostrados os resultados. Por fim, no capítulo 5, são apresentadas as conclusões do trabalho e recomendações futuras.

## 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

O objetivo deste capítulo é apresentar os fundamentos teóricos deste trabalho. Primeiro, são mostrados o conceito e os principais elementos de um sistema de inferência *fuzzy*. Depois, são abordados indicadores de cidades inteligentes, dando-se ênfase aos indicadores da norma ISO 37120 e ISO 37122.

### 2.1. SISTEMA DE INFERÊNCIAS FUZZY

O sistema de inferência *fuzzy*, também conhecido como sistema de inferência difusa (FIS), procura se aproximar da forma de raciocínio dos seres humanos por meio de um mecanismo de inferência baseado nas relações de causa e efeito entre variáveis e pela consideração da incerteza associada a esses valores (TANSCHKEIT, 2004).

#### 2.1.1. Fundamentos da Teoria dos Conjuntos Fuzzy

Em 1965, Zadeh propôs a teoria dos conjuntos *fuzzy*. Em contraste com a teoria clássica de conjuntos, em que os conjuntos podem pertencer ou não pertencer ao mesmo, na teoria dos conjuntos *fuzzy*, existe um grau de pertinência de cada elemento a um determinado conjunto (ABAR, 2004). Ou seja, elementos podem pertencer parcialmente a conjuntos. Assim, um conjunto *fuzzy*  $A$  pode ser representado por uma coleção de pares, conforme a Equação 2.1, onde  $\mu(x)$  é a função de pertinência do elemento  $x$ .

$$A = \{(x, \mu(x))\} \quad \text{Equação 2.1}$$

A morfologia de um número *fuzzy* é definida pelo comportamento de  $\mu(x)$  (LIMA JUNIOR, 2016). As funções de pertinência podem ser definidas a partir da experiência e da perspectiva do usuário, mas é mais comum utilizar-se funções de pertinência padrões, como a triangular, a trapezoidal e a gaussiana (TANSCHKEIT, 2004). A Figura 2.1, a Figura 2.2 e a Figura 2.3 ilustram as funções de pertinência triangular, trapezoidal e gaussiana, respectivamente. A Equação 2.2, a Equação 2.3 e a Equação 2.4 ilustram as funções de pertinência, triangular, trapezoidal e gaussiana.





Figura 2.1 - Número *fuzzy* triangular (Zimmermann, 1991, *apud* Lima Junior, 2016)

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & \text{se } x \leq l \\ \frac{x-l}{m-l}, & \text{se } x \in [l, m] \\ \frac{u-x}{u-m}, & \text{se } x \in [m, u] \\ 0, & \text{se } x \geq u \end{cases} \quad \text{Equação 2.2}$$

Em que:  $l$ ,  $m$  e  $u$  estão indicados na Figura 2.1.

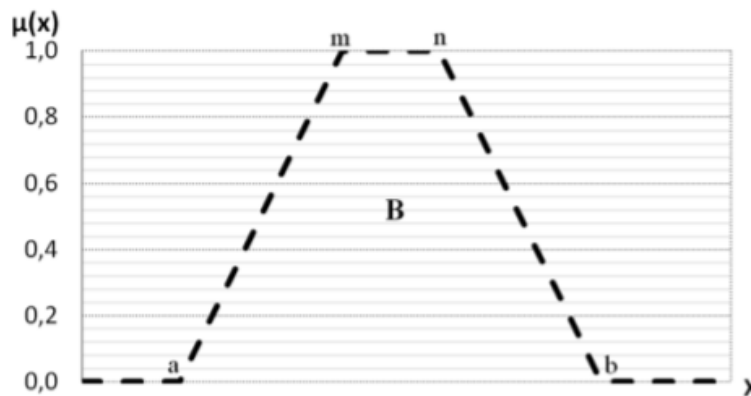


Figura 2.2 - Número *fuzzy* trapezoidal (Zimmermann, 1991, *apud* Lima Junior, 2016)

$$\mu_B(x) = \begin{cases} 0, & \text{se } x \leq a \\ \frac{x-a}{m-a}, & \text{se } x \in [a, m] \\ 1, & \text{se } x \in [m, n] \\ \frac{b-x}{b-n}, & \text{se } x \in [n, b] \\ 0, & \text{se } x \geq b \end{cases} \quad \text{Equação 2.3}$$

Em que:  $a$ ,  $b$ ,  $m$  e  $n$  estão indicados na Figura 2.2.

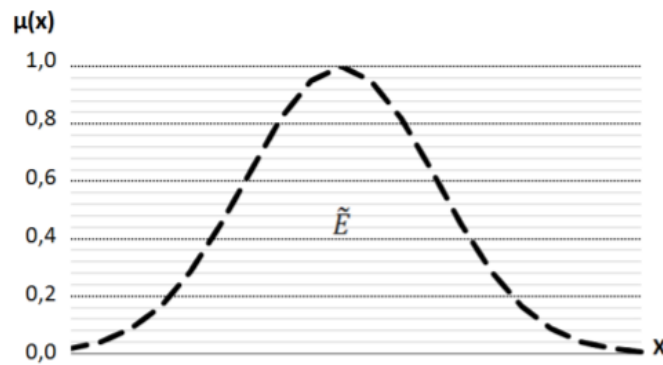


Figura 2.3 - Número *fuzzy* com morfologia gaussiana (Zimmermann, 1991, *apud* Lima Junior, 2016)

$$\mu(x)_{\tilde{E}} = a e^{-\frac{(x-b)^2}{2c^2}} \quad \text{Equação 2.4}$$

Em que: *a* corresponde ao pico da curva, *b* é a posição central e *c* controla a largura.

### 2.1.2. Arquiteturas de Sistema de Inferência *Fuzzy*

O sistema de inferência *fuzzy* é, basicamente, a combinação de alguns recursos da teoria dos conjuntos *fuzzy* em uma estrutura lógica (LIMA JUNIOR, 2016). Em 1975, o primeiro sistema de inferência *fuzzy* foi proposto por Mamdani e Assilian. Em 1985, uma adaptação foi criada por Takagi e Sugeno. A Tabela 2.1 mostra as vantagens de cada um desses dois sistemas.

Tabela 2.1 - Comparação entre o FIS Mamdani e o FIS Takagi (adaptado de Mathworks, 2021)

SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY	VANTAGENS
Mamdani e Assilian	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intuitivo;</li> <li>- Adequado para entrada de <i>inputs</i> humanos;</li> <li>- Base de regra mais apresentável;</li> <li>- Ampla aceitação.</li> </ul>
Takagi e Sugeno	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Computacionalmente eficiente;</li> <li>- Funciona bem com técnicas lineares;</li> <li>- Funciona bem com técnicas adaptativas e de otimização;</li> <li>- Garante a continuidade da superfície de saída;</li> <li>- Adequado para análise matemática.</li> </ul>

Na metodologia deste trabalho, devido à sua estrutura intuitiva, optou-se pelo uso do sistema de inferência Mamdani, que será aprofundado a seguir. A Figura 2.4 ilustra a estrutura do sistema de inferência proposto por Mamdani e Assilian (1975). Esta é constituída por cinco

elementos principais: interface de fuzificação, base de regras, mecanismo de inferência, base de dados e interface de defuzificação.

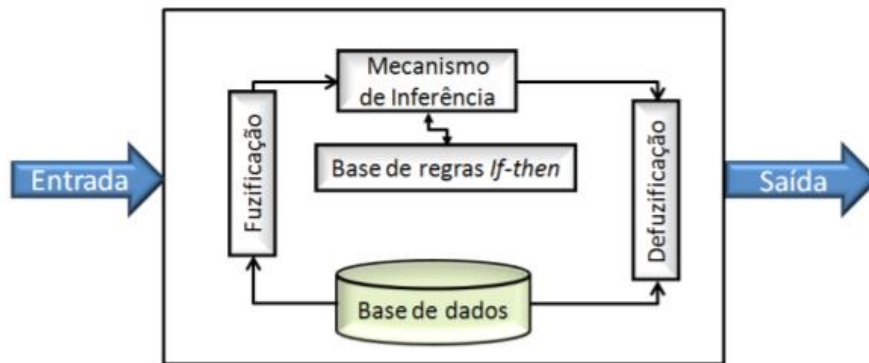


Figura 2.4 - Estrutura do sistema de inferência proposto Mamdani e Assilian (1975) (Zimmermann, 1991, *apud* Lima Junior, 2016)

#### 2.1.2.1. Fuzificação

O processo de fuzificação tem a função de determinar o grau em que as entradas pertencem a cada um dos conjuntos *fuzzy* apropriados por meio das funções de pertinência. A entrada é um valor discreto, dentro de intervalo estabelecido, e a saída é de grau difuso.

#### 2.1.2.2. Base de Regras

A base de regras contém uma série de regras difusas “se-então”, que estabelecem relações de causa e efeito entre as variáveis de entrada e de saída. Essas regras armazenam informações sobre o problema modelado. Na arquitetura de Mamdani e Assilian (1975), os consequentes das regras são representados por termos linguísticos, que são definidos durante a modelagem do sistema com base em um conjunto de julgamentos feitos por especialistas que tenham domínio do problema (LIMA JUNIOR, 2016). A Figura 2.5 mostra um exemplo de inferência.

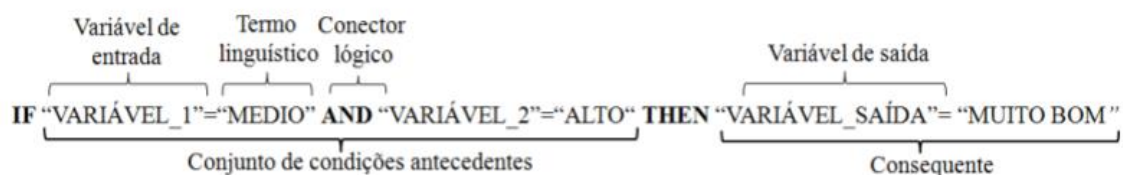


Figura 2.5 - Exemplo de regra de inferência (Lima Junior, 2016)

Para criar uma regra *fuzzy*, faz-se uso dos conectores lógicos “e” e “ou”, eles também são conhecidos como t-normas. O conector “e” pode ser representado conforme a Equação 2.5, em que  $\mu_A$  é a função de pertinência da classe A e  $\mu_B$  é a função de pertinência da classe B.

$$\mu_{A \cap B} = T(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad \text{Equação 2.5}$$

Existem várias formas de computar este conector. A mais comum, proposta por Zadeh (1975) é adotar o valor mínimo entre as funções de pertinência, conforme escrito na Equação 2.6.

$$\mu_{A \cap B} = T(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad \text{Equação 2.6}$$

Analogamente, o conector “ou” pode ser representado conforme a Equação 2.7, em que  $\mu_A$  é a função de pertinência da classe A e  $\mu_B$  é a função de pertinência da classe B.

$$\mu_{A \cup B} = T(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad \text{Equação 2.7}$$

A técnica para computar este conector, proposta por Zadeh (1975), está escrita na Equação 2.8 e consiste em adotar o valor máximo entre as funções de pertinência.

$$\mu_{A \cup B} = T(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad \text{Equação 2.8}$$

### 2.1.2.3. Mecanismos de Inferência

Uma vez que as entradas são fuzificadas, elas são aplicadas ao conjunto de regras de inferências descritos no tópico 2.1.2.2. As regras de inferência que melhor representa os valores de entradas são ativadas, fazendo com que seja determinado um conjunto de hipóteses sobre o problema modelado (LIMA JUNIOR, 2016).

### 2.1.2.4. Base de Dados

A base de dados define as funções de pertinência dos conjuntos difusos usados nas regras difusas. (WILHELM, [s.d.]

### 2.1.2.5. Interface de Defuzificação

A defuzificação é utilizada quando se deseja obter uma única saída de um FIS. Segundo Wilhelm ([s.d.]), os métodos mais comuns de defuzificação são: centro de gravidade, bissetriz, meio do máximo, método do máximo e mínimo do máximo. Neste trabalho, foi utilizado o método de gravidade (o método padrão definido pelo Matlab), que consiste em encontrar um ponto que representa o centro de gravidade do conjunto agregado difuso. A Equação 2.9 e a Figura 2.6 ilustram este método.

$$y^* = \frac{\int y\mu(y) dy}{\int \mu(y) dy} \quad \text{Equação 2.9}$$

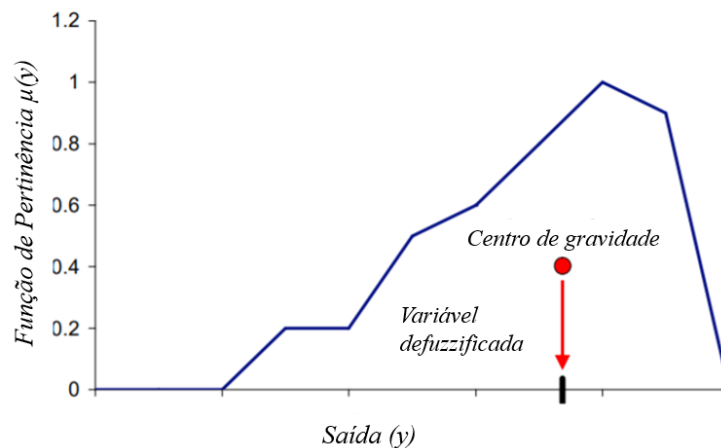


Figura 2.6 - Defuzificação pelo Método do Centro de Gravidade (adaptado de Sgambi e Bontempi, 2005)

Dessa forma, assume-se que o sistema de inferência *fuzzy* possui os seguintes passos, conforme ilustrado na Figura 2.7:

- 1 – Fuzificação das variáveis de entrada;
- 2 – Aplicação dos operadores (E ou OU) no antecedente;
- 3 – Implicação;
- 4 – Agregação;
- 5 – Defuzificação.

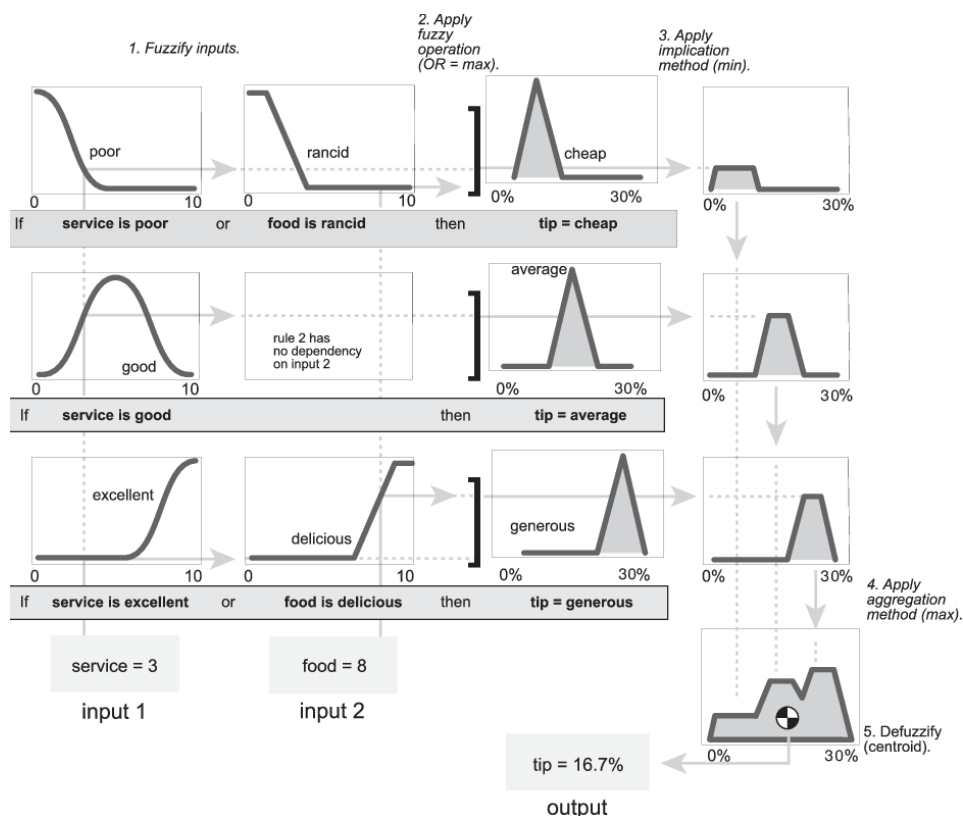


Figura 2.7 - Resumo FIS para um sistema com 2 entradas, 3 regras e 1 saída (adaptado de Mathworks, 2021)

## 2.2. INDICADORES PARA CIDADES INTELIGENTES

Em 1987, a relatório Brundtland definiu o desenvolvimento sustentável como sendo “o desenvolvimento que atende as necessidades atuais sem comprometer a habilidade das futuras gerações de atender suas próprias necessidades”. Desde sua difusão no início da década de 1990, o desenvolvimento sustentável tem influenciado positivamente o planejamento e desenvolvimentos das cidades (BIBRI e KROGSTIE, 2019). Entretanto, a criação de cidades sustentáveis possui uma série de desafios, que envolvem principalmente a questão de como elas devem ser monitoradas, analisadas e planejadas para avançar ou manter sua contribuição para a sustentabilidade (BIBRI e KROGSTIE, 2019).

De acordo com Hall *et al.* (2000), cidades inteligentes são seguras e eficientes, sendo projetadas, construídas e mantidas usando materiais avançados e integrados, sensores e equipamentos eletrônicos, que permitem a gestão eficiente da infraestrutura, o planejamento de manutenção preventiva, o monitoramento da segurança e a maior acessibilidade de serviços públicos. Neste contexto, surge o conceito de cidades sustentáveis e inteligentes, que combinam as ideias de

sustentabilidade e inteligência urbana, evidenciando a importância destas duas dimensões serem consideradas simultaneamente (HUOVILA *et al.*, 2019).

Segundo Giffinger *et al.* (2007), cidades inteligentes podem ser analisadas considerando as seguintes categorias: economia inteligente (*Smart Economy*), pessoas inteligentes (*Smart People*), governança inteligente (*Smart Governance*), mobilidade inteligente (*Smart Mobility*), ambiente inteligente (*Smart Environment*) e vida inteligente (*Smart Living*). Dentro dessas categorias surgem diversos indicadores, que permitem a avaliação do desempenho de uma cidade como cidade inteligente. A Figura 2.8 detalha essas 6 categorias, com os fatores que Giffinger *et al.* (2007) atribuíram a cada uma delas.

<p><b>ECONOMIA INTELIGENTE</b> (competitividade)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Espírito inovador</li> <li>- Empreendedorismo</li> <li>- Imagem econômica e marcas registradas</li> <li>- Produtividade</li> <li>- Flexibilidade do mercado de trabalho</li> <li>- Imersão Internacional</li> <li>- Capacidade de se transformar</li> </ul>	<p><b>PESSOAS INTELIGENTES</b> (capital social e humano)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nível de qualificação</li> <li>- Afinidade com aprendizado ao longo da vida</li> <li>- Pluralidade social e étnica</li> <li>- Flexibilidade</li> <li>- Criatividade</li> <li>- Cosmopolitismo/Mente aberta</li> <li>- Participação na vida pública</li> </ul>
<p><b>GOVERNANÇA INTELIGENTE</b> (participação)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Participação nas tomadas de decisão</li> <li>- Serviços públicos e sociais</li> <li>- Governança transparente</li> <li>- Estratégias e perspectivas políticas</li> </ul>	<p><b>MOBILIDADE INTELIGENTE</b> (transportes e TIC)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Acessibilidade local</li> <li>- Acessibilidade nacional e internacional</li> <li>- Disponibilidade de infraestrutura TIC</li> <li>- Sistemas de transportes sustentáveis, inovadores e seguros</li> </ul>
<p><b>AMBIENTE INTELIGENTE</b> (recursos naturais)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Atratividade das condições naturais</li> <li>- Poluição</li> <li>- Proteção ambiental</li> <li>- Gestão sustentável dos recursos</li> </ul>	<p><b>VIDA INTELIGENTE</b> (qualidade de vida)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Instalações culturais</li> <li>- Condições de saúde</li> <li>- Segurança individual</li> <li>- Qualidade habitacional</li> <li>- Instalações educacionais</li> <li>- Atratividade turística</li> <li>- Coesão social</li> </ul>

Figura 2.8 - Categorias das Cidades Inteligentes (Adaptado de Giffinger *et al.*, 2007)

“Economia inteligente” inclui fatores em torno da competitividade econômica, como inovação, empreendedorismo, produtividade e flexibilidade do mercado. A categoria “pessoas inteligentes” foi descrita não só pelo nível de qualificação e educação dos cidadãos, mas também pela qualidade das interações sociais em relação à integração. A “governança inteligente” compreende aspectos de participação política e serviços para cidadãos.

“Mobilidade inteligente” incluiu aspectos como acessibilidade local e internacional, além da disponibilidade de tecnologias de informação e comunicação (TIC) em sistemas de transporte sustentáveis. O “ambiente inteligente” foi descrito por condições naturais atrativas (climas, espaço verde etc.), poluição, gestão de recursos e esforços para proteção ambiental. Por fim, a categoria “vida inteligente” compreende vários aspectos da qualidade de vida como cultura, saúde, segurança, habitação, turismo etc.

Os indicadores de uma cidade são ferramentas importantes para gestores municipais, políticos, pesquisadores, líderes de negócios, planejadores e outros profissionais para garantir que as políticas que estão sendo colocadas em prática promovam cidades habitáveis, inclusivas, sustentáveis, economicamente atrativas e prósperas globalmente (ISO, 2014). Entretanto, muitos dos indicadores usados são qualitativos e de difícil mensuração. Buscando uma abordagem uniforme de avaliação, surgiram as normas da Organização Internacional de Padronização (ISO), que estabelecem definições e metodologias padrões para medir a performance das cidades. A Figura 2.9 representa a relação entre a família de normas de indicadores urbanos. Destacam-se as normas ISO 37120 e ISO 37120, que serão aprofundadas nesta revisão bibliográfica.

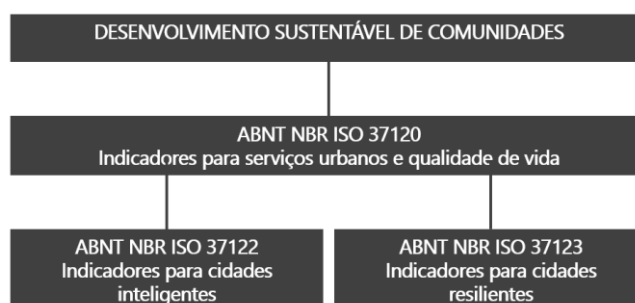


Figura 2.9 - Relação entre a família de normas de indicadores urbanos (Adaptado de ISO, 2021)

### **2.2.1. ISO 37120: *Sustainable Development of Communities – Indicators for City Services and Quality of Life* (2014)**

A ISO 37120 – *Sustainable Development of Communities – Indicators for City Services and Quality of Life* foi a primeira norma internacional publicada pela ISO, em 2014. Ela foi traduzida e adaptada no Brasil, sendo chamada de ABNT NBR ISO 37120 – Cidades e comunidades sustentáveis – Indicadores para serviços urbanos e qualidade de vida.



Esta norma define um conjunto de indicadores, com o intuito de medir o desempenho de serviços urbanos e qualidade de vida. São abordados indicadores de performance que abrangem 19 temas (ISO, 2014). De acordo com a ISO (2014), esses indicadores são aplicáveis a qualquer cidade, municipalidade ou governo local que queira medir seu desempenho de forma comparável e verificável, independentemente do tamanho e da localização. Na Tabela 2.2, encontram-se os 19 temas desta norma e o respectivo número de indicadores de cada uma.

Alguns dos benefícios da ISO 37120 mencionados na sua nota informativa (2014) são: governança e prestação de serviços mais eficazes; referências e metas internacionais; tomada de decisão informada para formuladores de políticas e gestores de cidades; aprendizagem entre cidades; estrutura para planejamento de sustentabilidade; transparência e dados abertos para atratividade de investimentos e criação de uma base de dados confiável e padronizada globalmente.

Tabela 2.2 - Temas abordados pela NBR ISO 37120

<b>Tema</b>	<b>Número de Indicadores</b>
Economia	9
Educação	6
Energia	8
Meio Ambiente e Mudanças Climáticas	9
Finanças	5
Governança	4
Saúde	6
Habitação	5
População e Condições Sociais	4
Recreação	2
Segurança	10
Resíduos Sólidos	10
Esporte e Cultura	3
Telecomunicação	2
Transporte	8
Agricultura Local/Urbana e Segurança Familiar	4
Planejamento Urbano	5
Esgotos	4
Água	7
<b>Total</b>	<b>111</b>

## 2.2.2. ISO 3122: *Sustainable Cities and Communities – Indicators for Smart Cities (2019)*

Os indicadores da ISO 37120 rapidamente se tornaram ponto de referência internacional para cidades sustentáveis. Neste contexto, a *ISO 37122 – Sustainable Cities and Communities – Indicators for Smart Cities* surgiu para complementar a ISO 37120. No Brasil, ela foi traduzida e adaptada, sendo chamada de ABNT NBR ISO 37122 – Cidades e comunidades sustentáveis – Indicadores para cidades inteligentes.

Segundo a ISO (2021), esta norma estabelece indicadores com definições e metodologias para medir e considerar aspectos e práticas que aumentem o ritmo em que as cidades melhoram seus resultados de sustentabilidade social, econômica e ambiental. Quando usado em conjunto com a ABNT NBR ISO 37120, este documento auxilia as cidades a identificarem indicadores para a aplicação de sistemas de gestão urbana e a implementarem programas, políticas e projetos de cidades inteligentes que: respondam a desafios como mudanças climáticas e instabilidades políticas e econômicas; proporcionem um melhor ambiente de vida; alcancem os seus objetivos ambientais e de sustentabilidade de forma inovadora; construam uma economia dinâmica e inovadora, pronta para os desafios do futuro; entre outros (ISO, 2021). Na Tabela 2.3, encontram-se os 19 temas desta norma e o respectivo número de indicadores de cada uma.

Tabela 2.3 - Temas abordados pela NBR ISO 37122

<b>Tema</b>	<b>Número de Indicadores</b>
Economia	4
Educação	3
Energia	10
Meio Ambiente e Mudanças Climáticas	3
Finanças	2
Governança	4
Saúde	3
Habitação	3
População e Condições Sociais	4
Recreação	1
Segurança	2
Resíduos Sólidos	6
Esporte e Cultura	4
Telecomunicação	3
Transporte	14
Agricultura Local/Úrbana e Segurança Familiar	3
Planejamento Urbano	4
Esgotos	5
Água	4
<b>Total</b>	<b>84</b>

### 3. METODOLOGIA

O objetivo deste capítulo é explicar a metodologia deste estudo. Primeiro, será feita uma apresentação geral, mostrando as principais etapas realizadas. Depois, cada uma das etapas principais será detalhada.

#### 3.1. APRESENTAÇÃO GERAL

A metodologia deste estudo consiste em utilizar a lógica *fuzzy* para construir uma ferramenta que avalia o grau de aderência das cidades aos indicadores de cidade inteligentes propostos pela ISO 37122 – Indicadores de Cidades Inteligentes e pela ISO 37120 – Indicadores para Serviços de Cidades e Qualidade de Vida. Os procedimentos realizados podem ser divididos em 6 etapas, conforme representado na Figura 3.1.



Figura 3.1 - Apresentação da Metodologia

O primeiro passo foi construir um sistema *fuzzy* no Matlab, utilizando o *Fuzzy Logic Designer*. O sistema foi formado por 2 parâmetros de entrada e 1 de saída. Assim, ao inserir 2 indicadores de uma cidade, o sistema tem como saída um indicador final, que é a representação em termos numéricos da combinação dos indicadores de entrada. Mais detalhes sobre este passo encontram-se no item 3.2.

O segundo passo foi estruturar o funcionamento do sistema para mais de 2 parâmetros. Dado um número qualquer de indicadores inserido na entrada, estes serão analisados 2 a 2, gerando indicadores intermediários até a obtenção do indicador final, que foi chamado de Grau de Inteligência da Cidades ( $\lambda$ ). Mais detalhes sobre este passo encontram-se no item 3.3.

O terceiro passo foi desenvolver uma interface para o usuário. Esta foi desenvolvida em *Python*. Mais detalhes sobre este passo encontram-se no item 3.4.

O quarto passo foi aplicar a ferramenta em dados fictícios. Foi utilizada uma base de dados elaborada por Da Paixão (2021). Esta é formada por 12 cidades, com 10 indicadores cada. Os

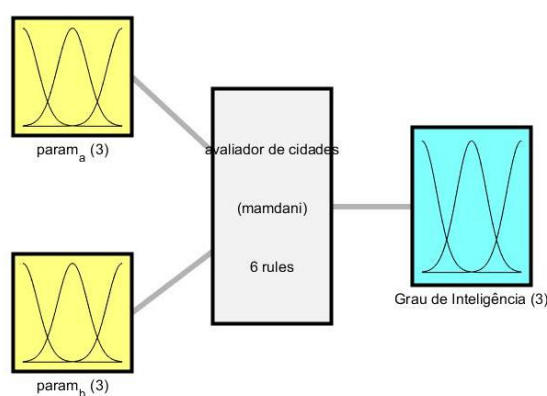
indicadores têm como base a ISO 37122 e se enquadram nas seguintes subcategorias: economia, governança, energia e transportes. Mais detalhes sobre este passo encontram-se no item 3.5.

O quinto passo foi coletar valores de indicadores de cidades reais para elaborar uma base de dados. A base de dados criada consistiu em 19 cidades e 21 indicadores da ISO 37120. Todos os dados foram retirados do portal Brasília/DF em Dados, desenvolvido pela Companhia de Planejamento do Distrito Federal (Codeplan). Mais detalhes sobre este passo encontram-se no item 3.6.

O sexto e último passo foi aplicar a ferramenta em dados reais. Mais detalhes sobre este passo encontram-se no item 3.7.

### 3.2. CONSTRUÇÃO DO SISTEMA FUZZY

O sistema *fuzzy* foi construído no Matlab, utilizando o *Fuzzy Logic Designer*. O sistema é formado por 2 parâmetros de entrada e 1 de saída. Assim, ao inserir 2 indicadores de uma cidade, o sistema tem como saída um indicador final, que é a representação em termos numéricos da combinação dos indicadores de entrada. Todas as funções de pertinência foram do tipo gaussiana, com desvio igual a 15 e médias iguais a 0, 50 e 100 para os graus baixo, médio e alto, respectivamente. A Figura 3.2 resume o sistema criado. A Figura 3.3 são gráficos das funções de pertinência.



System avaliador de cidades: 2 inputs, 1 outputs, 6 rules

Figura 3.2 - Representação do Sistema Criado no Matlab

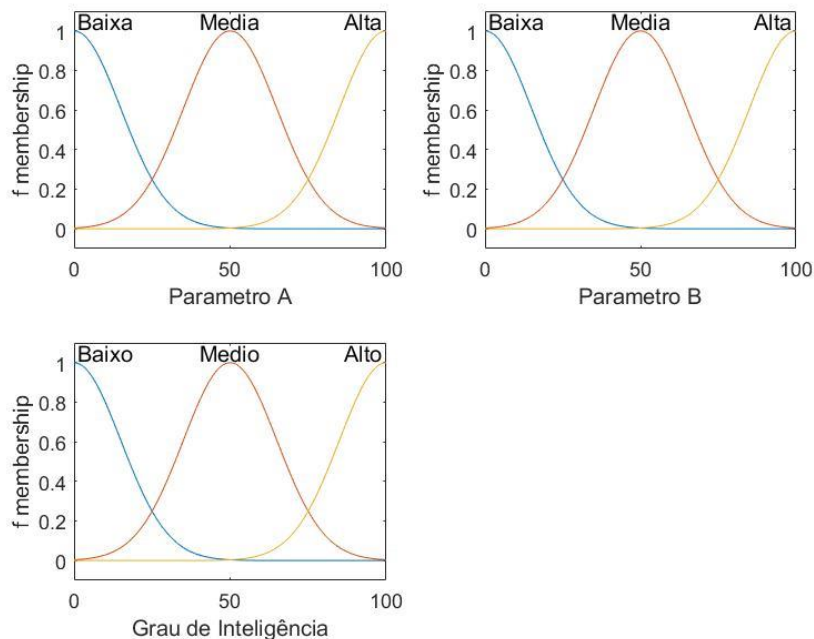


Figura 3.3 - Funções de Pertinência no Matlab

As regras foram criadas para que, quanto maior o valor dos parâmetros, maior o grau de inteligência final ( $\lambda$ ). Nesta etapa do projeto, levou-se em consideração a possibilidade dos indicadores possuírem maior ou menor relevância dentro da determinação do grau de inteligência de uma cidade. Para isso, além dos valores dos indicadores, o usuário deve inserir o peso daquele indicador.

O peso do indicador será usado para avaliar qual é a relação de importância entre eles e ativar o conjunto de regras adequado. As seguintes situações são possíveis: o parâmetro  $a$  ser mais importante que o parâmetro  $b$ , o parâmetro  $a$  ser menos importante que o parâmetro  $b$ , os parâmetros  $a$  e  $b$  terem igual importância.

A Figura 3.4 contém a base de regras. As variáveis  $r_a$ ,  $r_b$ ,  $r_c$  e  $r_d$  dependem da situação, seus valores estão indicados na Figura 3.4. A Figura 3.5, a Figura 3.6 e a Figura 3.7 mostram as três superfícies que mapeiam a relação entre os parâmetros de entrada e o parâmetro de saída para cada um dos casos.

```

ruleList = [1 1 1 1 1;
            3 3 3 1 1;
            1 3 3 r_a 1;
            2 3 3 r_b 1;
            3 1 3 r_c 1;
            3 2 3 r_d 1]

```

Figura 3.4 - Base de Regras

Tabela 3.1 – Conjunto de Regras a Ser Utilizada para Cada Situação

Situação	Relação a ser utilizada	Valor das variáveis na base de regras
Parâmetro A mais importante que Parâmetro B	Representada pela superfície 1	$r_a = r_b = 0$ $r_c = r_d = 1$
Parâmetro A menos importante que Parâmetro B	Representada pela superfície 2	$r_a = r_b = 1$ $r_c = r_d = 0$
Parâmetro A e Parâmetro B com igual importância	Representada pela superfície 3	$r_a = r_b = 0$ $r_c = r_d = 0$

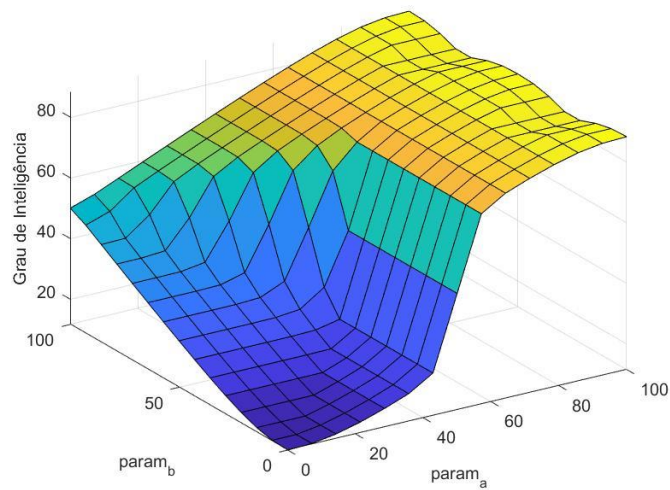


Figura 3.5 - Superfície 1: A mais importante que B

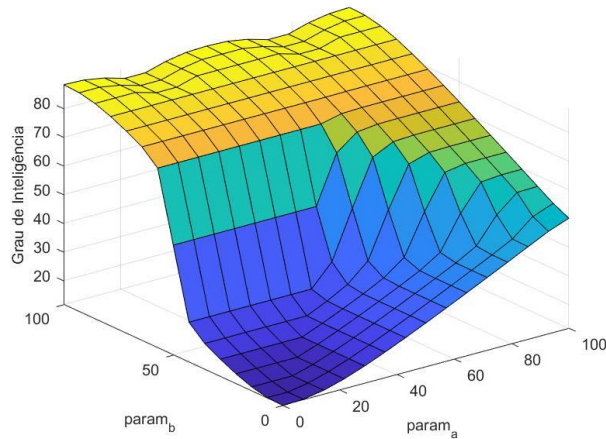


Figura 3.6 - Superfície 2: A menos importante que B

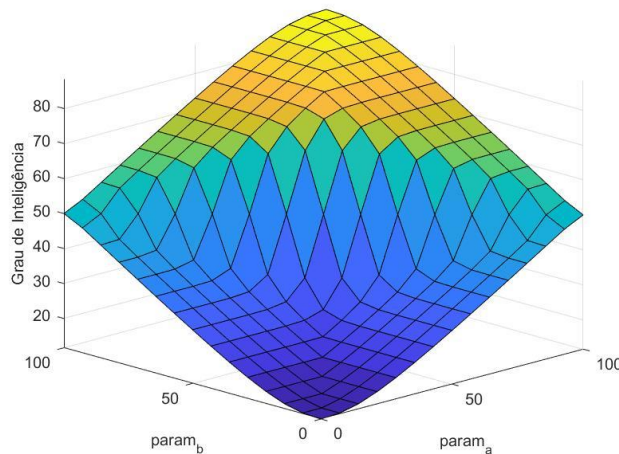


Figura 3.7 - Superfície 3: A e B com igual importância

### 3.3. ESTRUTURAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

O segundo passo foi estruturar o funcionamento do sistema para mais de 2 parâmetros. Dado um número qualquer de indicadores inserido na entrada, estes serão analisados 2 a 2, gerando indicadores intermediários até a obtenção do indicador final, que foi chamado de Grau de Inteligência da Cidades ( $\lambda$ ), conforme representado na Figura 3.8. Considerando que o objetivo deste estudo é o desenvolvimento e teste de uma ferramenta que auxilie na avaliação das cidades, o grau de inteligência das cidades foi definido como sendo o grau de aderência aos indicadores da ISO 37120 e ISO 37122 selecionados.

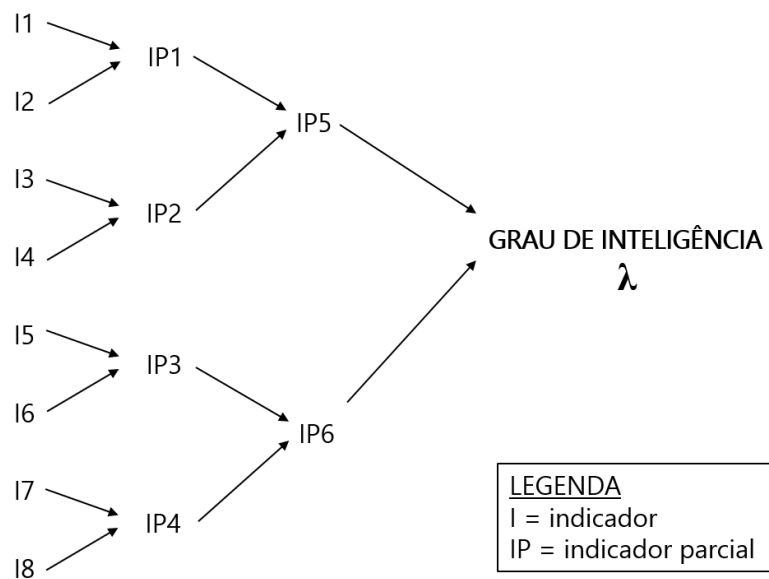


Figura 3.8 - Esquema da Metodologia

Dessa forma, como entrada, deve-se inserir os valores dos indicadores de cada cidade a serem considerados e os pesos de cada indicador, que são a representação numérica da importância deles. Os indicadores parciais gerado a partir desta análise possuirão peso igual à média aritmética entre os dois indicadores analisados. Para a melhor visualização do funcionamento do programa, elaborou-se a Figura 3.9, com valores hipotéticos de peso indicados em vermelho.

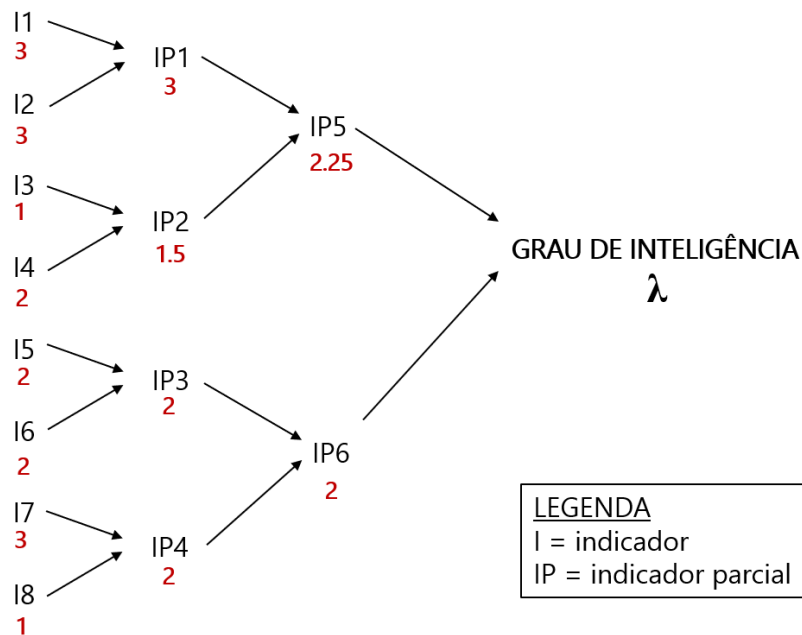


Figura 3.9 - Esquema da Metodologia para Computação dos Pesos



### 3.4. DESENVOLVIMENTO DA INTERFACE DO USUÁRIO

Para facilitar o uso do programa, chamado de Avaliador de Cidades Inteligentes (ACI), criou-se uma interface para o usuário. A interface foi elaborada em *Python*.

Como *input*, é preciso inserir um arquivo com os dados das cidades a serem analisadas, um arquivo com os pesos de cada indicador e escrever o *path* de onde se deseja armazenar o arquivo com os resultados. O arquivo com a base de dados pode ter qualquer tamanho, sendo composto por  $(n + 1)$  colunas, sendo que a primeira coluna possui o nome das cidades e as demais possuem os indicadores, e  $(m + 1)$  linhas, sendo que a primeira possui o nome dos indicadores e as demais possuem as cidades. Os pesos são definidos pelos usuários, dependendo da importância que ele quer dar para cada indicador. O arquivo com os pesos possui apenas uma linha, com  $n$  colunas, uma para cada indicador. Também é possível escolher até três indicadores para o programa gerar gráficos comparativos. O arquivo com os indicadores selecionados possui 2 colunas e 3 linhas. Na primeira coluna, insere-se o nome do indicador exatamente como está escrito na base de dados. Na segunda coluna, insere-se como deseja-se que o nome do indicador apareça nos gráficos. São 3 linhas, uma para cada indicador.

Como *output*, obtém-se um arquivo com o grau de inteligência das cidades ( $\lambda$ ), um mapa de calor da matriz de correlação de Pearson dos indicadores, um gráfico de barras comparando o valor de  $\lambda$  com o valor dos indicadores escolhidos, um gráfico do  $\lambda$  em função da classificação da cidade e gráficos de dispersão das cidades para cada um dos indicadores selecionados. Os arquivos de *output* do programa serão abordados no capítulo 4 deste trabalho.

A Figura 3.10 ilustra a interface do programa. A Figura 3.11 ilustra a interface para a seleção dos arquivos, que aparece ao apertar um dos botões.

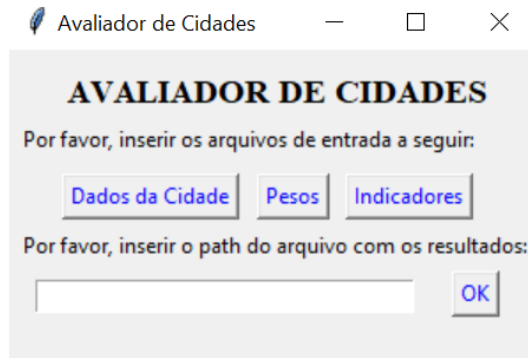


Figura 3.10 - Interface do Programa ACI

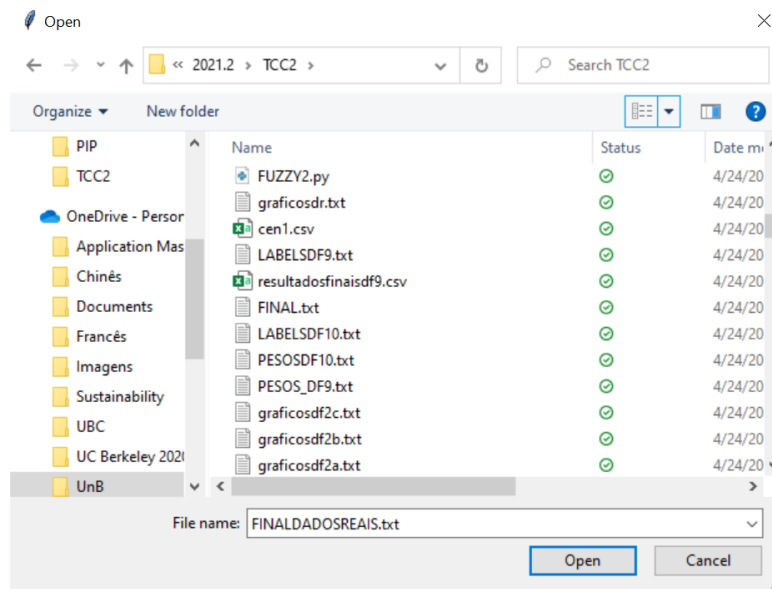


Figura 3.11 - Interface para Seleção dos Arquivos

A Figura 3.12, a Figura 3.13 e a Figura 3.14 são exemplos de arquivos de entrada na formatação correta para dados da cidade, pesos e indicadores, respectivamente.

\*FINALDADOSREAIS.txt - Notepad

Cidades	5.3	6.2	6.3	6.6	7.2	11.1	11.2	12.1	12.2	16.1
CAPE TOWN	73.32	66.67	57.16	71.66	68.98	63.67	35.87	0.00	13.25	100
MAKATI	95.39	78.85	88.54	98.76	99.59	68.07	27.78	45.31	8.09	100
MAKKAH	78.61	95.84	82.23	78.61	92.36	17.76	0	51.72	4.57	64.61
TAIPEI	98.29	99.24	99.25	99.94	97.16	70.46	31.15	95.47	100.00	100
AMSTERDAM	88.19	100	87.1	98	99.9	50.3	39	81.46	40.26	100
CAMBRIDGE	94.3	100	91	100	100	30.01	33	90.16	4.30	100
EINDHOVEN	89.1	100	93	94	99.31	44.5	26.67	88.33	26.39	100
HEERLEN	85.5	100	89.06	99.97	84	46.39	18.92	78.26	78.83	100
LEON	50.01	98.48	96.33	80.99	57	62.1	40	59.04	10.13	98
LONDON	74.23	100	100	97.73	100	38.65	30.77	89.47	20.42	100
OSLO	90.7	94.4	65.2	76.9	100	62.8	37.3	87.87	21.07	100
VALENCIA	73.8	100	72.4	98.2	100	72.21	39.39	92.40	51.53	100
BRASILIA	96.7	76.85	50.37	85.01	98.83	81.08	27.5	74.83	14.44	94.58
BUENOS AIRES	79	89.79	64.6	79.18	91.95	73.7	29	67.28	16.00	87.7
GUADALAJARA	63.74	96.79	85.86	92.9	99.59	50	41.98	59.50	0.00	99.01
LOS ANGELES	78.8	83	77.3	94.87	100	10.73	11.11	89.70	12.73	100
MISSTISSAUGA	88.68	100	91.03	100	100	36.57	50	100.00	9.18	100
PORTLAND	85.6	100	90	92.28	93.46	59.4	50	76.43	30.94	100

Figura 3.12 - Exemplo de Dados da Cidade



Figura 3.13 - Exemplo de Pesos

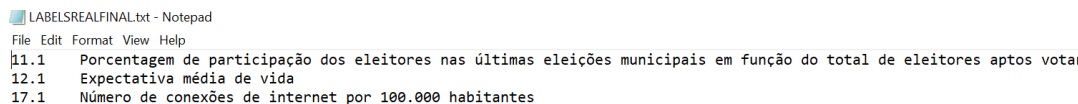


Figura 3.14 - Exemplo de Indicadores

### 3.5. APLICAÇÃO EM DADOS FICTÍCIOS

Na primeira etapa do projeto, visando exemplificar a proposta em pequena escala, utilizou-se uma base de dados com valores fictícios, elaborada por Da Paixão (2021). Foram criadas 12 cidades (A, B, C, ..., L), com 10 indicadores cada. Os indicadores têm como base a ISO 37122 e se enquadram nas seguintes subcategorias: economia, governança, energia e transportes. A Tabela 3.2 explicita os títulos de cada um dos indicadores. Na Tabela 3. encontram-se os dados utilizados para a simulação. Todos os valores gerados estão na forma de porcentagem, variando entre 0 e 100.

Tabela 3.2 - Indicadores Selecionados Para o Teste com o Modelo Proposto

<b>Categoria</b>	<b>Número do Indicador</b>	<b>Descrição</b>
<b>Economia</b>	<b>5.1</b>	Porcentagem dos contratos de serviços de cidades que contém política de dados abertos
	<b>5.2</b>	Taxa de sobrevivência de novos negócios por 100.000 habitantes
	<b>5.3</b>	Porcentagem da força de trabalho em ocupações na área de tecnologia de comunicação e informação
<b>Governança</b>	<b>10.1</b>	Número anual de visitas online ao portal municipal de dados abertos
	<b>10.2</b>	Porcentagem dos serviços da cidade acessíveis e que podem ser pedidos online
	<b>21.1</b>	Número anual de cidadãos partícipes no processo de planejamento por 100.000 habitantes
<b>Energia</b>	<b>7.6</b>	Porcentagem da iluminação pública controlada por sistema de performance
	<b>7.9</b>	Porcentagem dos edifícios com medidores de energia inteligentes

<b>Categoria</b>	<b>Número do Indicador</b>	<b>Descrição</b>
<b>Transportes</b>	<b>19.4</b>	Número de bicicletas disponíveis por serviço disponibilizado pela municipalidade por 100.000 habitantes
	<b>19.5</b>	Porcentagem de linhas de transporte público equipada com sistema de tempo real acessível publicamente

Tabela 3.3 - Indicadores Simulados

	<b>Ind. 5.1</b>	<b>Ind. 5.2</b>	<b>Ind. 5.3</b>	<b>Ind. 10.1</b>	<b>Ind. 10.2</b>	<b>Ind. 21.1</b>	<b>Ind. 7.6</b>	<b>Ind. 7.9</b>	<b>Ind. 19.4</b>	<b>Ind. 19.5</b>
<b>A</b>	82.4	63.0	67.2	68.3	75.1	77.1	71.1	84.7	71.1	78.6
<b>B</b>	71.5	72.8	73.6	78.6	84.3	86.9	67.8	79.5	87.0	63.8
<b>C</b>	55.4	56.8	61.0	10.0	62.3	3.5	66.8	59.1	12.4	12.8
<b>D</b>	71.2	65.1	21.8	38.5	41.1	25.9	84.8	15.8	11.9	12.0
<b>E</b>	82.9	72.9	79.3	63.2	86.5	73.9	68.8	71.0	84.4	82.1
<b>F</b>	70.3	75.0	46.0	10.7	10.4	64.0	52.8	93.9	8.8	9.4
<b>G</b>	22.3	34.9	14.4	74.5	88.7	40.8	17.5	16.2	0.7	13.5
<b>H</b>	22.0	6.2	23.5	8.7	5.6	13.6	6.4	7.7	12.7	5.0
<b>I</b>	29.1	2.6	3.0	18.1	8.0	18.3	2.3	11.9	19.7	5.9
<b>J</b>	26.0	23.2	8.8	28.9	23.9	1.8	27.4	2.2	21.7	9.5
<b>K</b>	26.0	23.2	8.8	28.9	23.9	18.3	2.3	11.9	19.7	5.9
<b>L</b>	13	12.2	4.8	14.9	12.9	0.8	13.4	1.2	4.5	13.4

Optou-se por, primeiramente, obter um indicador parcial para cada subcategoria. Em seguida, esses resultados foram comparados entre si para encontrar o  $\lambda$ , conforme ilustrado na Figura 3.15. Definiu-se o peso de todos os indicadores como 1.

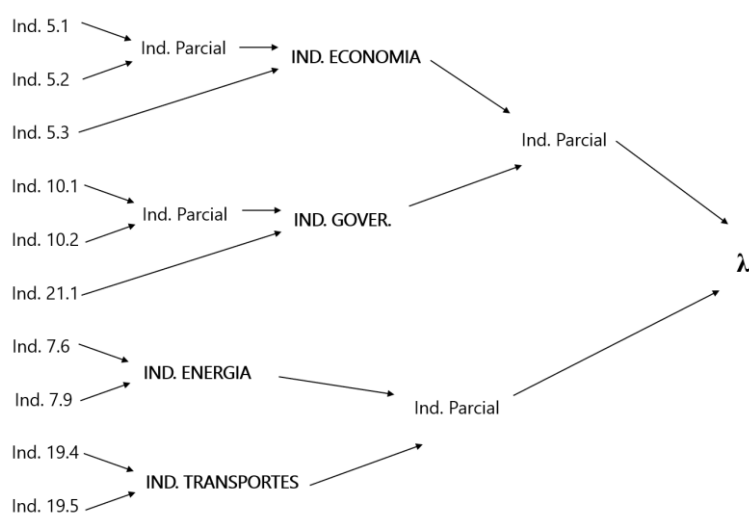


Figura 3.15 - Esquema da Metodologia para Dados Fictícios

Para verificar a consistência dos resultados, foram criados 8 cenários diferentes, variando a ordem de entrada dos indicadores, conforme indicado na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Ordem dos Dados de Entrada em Cada um dos Cenários

<b>CENÁRIO I</b>									
Ind. 5.1	Ind. 5.2	Ind. 5.3	Ind. 10.1	Ind. 10.2	Ind. 21.1	Ind. 19.4	Ind. 19.5	Ind. 7.6	Ind. 7.9
<b>CENÁRIO II</b>									
Ind. 5.2	Ind. 5.3	Ind. 5.1	Ind. 10.2	Ind. 10.1	Ind. 21.1	Ind. 19.4	Ind. 19.5	Ind. 7.9	Ind. 7.6
<b>CENÁRIO III</b>									
Ind. 21.1	Ind. 10.2	Ind. 10.1	Ind. 19.5	Ind. 19.4	Ind. 7.6	Ind. 7.9	Ind. 5.2	Ind. 5.1	Ind. 5.3
<b>CENÁRIO IV</b>									
Ind. 7.9	Ind. 7.6	Ind. 5.3	Ind. 5.2	Ind. 5.1	Ind. 10.2	Ind. 21.1	Ind. 10.1	Ind. 19.5	Ind. 19.4
<b>CENÁRIO V</b>									
Ind. 5.1	Ind. 5.3	Ind. 5.2	Ind. 19.4	Ind. 19.5	Ind. 7.6	Ind. 7.9	Ind. 10.1	Ind. 21.1	Ind. 10.2
<b>CENÁRIO VI</b>									
Ind. 19.5	Ind. 19.4	Ind. 5.3	Ind. 5.1	Ind. 5.2	Ind. 7.6	Ind. 7.9	Ind. 21.1	Ind. 10.1	Ind. 10.2
<b>CENÁRIO VII</b>									
Ind. 19.5	Ind. 19.4	Ind. 7.6	Ind. 7.9	Ind. 5.1	Ind. 5.2	Ind. 5.3	Ind. 21.1	Ind. 21.1	Ind. 10.1
<b>CENÁRIO VIII</b>									
Ind. 7.9	Ind. 7.6	Ind. 19.4	Ind. 19.5	Ind. 10.1	Ind. 21.1	Ind. 21.1	Ind. 5.2	Ind. 5.3	Ind. 5.1

Por fim, buscou-se avaliar o papel dos pesos dos indicadores no resultado de  $\lambda$ . Para isso, foi criado um cenário IX, em que os indicadores de economia seriam mais importantes que os demais, conforme indicado na Tabela 3.5. Esses resultados foram comparados com o cenário I, em que todos os indicadores tinham a mesma importância.

Tabela 3.5 - Pesos no Cenário IX

<b>CENÁRIO IX</b>									
Economia é mais importante.									
<b>5.1</b>	<b>5.2</b>	<b>5.3</b>	<b>10.1</b>	<b>10.2</b>	<b>21.1</b>	<b>7.6</b>	<b>7.9</b>	<b>19.4</b>	<b>19.5</b>
5	5	5	1	1	1	1	1	1	1

### 3.6. ELABORAÇÃO DA BASE DE DADOS

Após a demonstração da metodologia em dados fictícios, buscou-se aplicar o programa em dados reais. A principal fonte de dados foi o portal Brasília/DF em Dados, desenvolvido pela Companhia de Planejamento do Distrito Federal (Codeplan). O objetivo deste portal é organizar de forma sistêmica os dados estatísticos gerados nos órgãos do Governo do Distrito Federal (GDF) (INFO DF, 2021). O portal dispõe de uma ferramenta que compara os valores dos indicadores da ISO 37120 obtidos por Brasília com aqueles de outras cidades do mundo.

Ao fazer a seleção das cidades e indicadores, notou-se que várias cidades tinham dados incompletos. Os dados de entrada devem estar completos para a utilização do programa ACI. Ou seja, os indicadores usados e as cidades selecionadas deveriam conter todos os dados, sem lacunas. Dessa forma, seguiu-se os seguintes critérios para a escolha das cidades e dos indicadores:

- Preservar o maior número de cidades e indicadores;
- Buscar variedade de indicadores, de áreas diversas da norma;
- Buscar variedade de cidades, de países diferentes (preferencialmente pelo menos uma cidade de cada continente);
- Limitar um número máximo de 8 cidades por continente (como o propósito do trabalho é testar a ferramenta em cidades distribuídas ao redor do mundo, evitou-se criar uma base de dados com um número exagerado de cidades de um mesmo continente).

Assim, foram escolhidos 21 cidades e 19 indicadores para compor a base de dados a ser testada, conforme mostrado na Tabela 3.6 e na Tabela 3.7. A Figura 3.16 é um mapa marcando as cidades escolhidas.

Tabela 3.6 - Cidades Selecionadas

<b>Continente</b>	<b>Cidades</b>
<b>África</b>	Cape Town (RSA)
<b>América</b>	Brasília (BRA), Boston (EUA), Buenos Aires (ARG), Guadalajara (MEX), Los Angeles (EUA), Mississauga (CAN), Portland (EUA), Toronto (CAN).
<b>Ásia</b>	Makati (PHI), Makkah (KSA), Taipei (TWN)
<b>Europa</b>	Amsterdam (HOL), Cambridge (UK), Eindhoven (HOL), Heerlen (HOL), Leon (ESP), London (UK), Oslo (NOR), Valencia (ESP)
<b>Oceania</b>	Brisbane (AUS)

Tabela 3.7 - Indicadores Seleccionados

<b>Categoria</b>	<b>Número do Indicador</b>	<b>Descrição</b>
<b>Economia</b>	<b>5.3</b>	Porcentagem da população abaixo da linha da pobreza
<b>Educação</b>	<b>6.2</b>	Porcentagem de estudantes com o ensino primário completo
	<b>6.3</b>	Porcentagem de estudantes com ensino secundário completo
	<b>6.6</b>	Porcentagem de população em idade escolar matriculada em escolas
<b>Energia</b>	<b>7.2</b>	Porcentagem de habitantes da cidade com fornecimento regular de energia elétrica
<b>Governança</b>	<b>11.1</b>	Porcentagem de participação dos eleitores nas últimas eleições municipais em função do total de eleitores aptos votar
	<b>11.2</b>	Porcentagem de mulheres eleitas em função do número total de eleitos na gestão da cidade
<b>Saúde</b>	<b>12.1</b>	Expectativa média de vida
	<b>12.2</b>	Número de leitos hospitalares por 100.000 habitantes
<b>Resíduos Sólidos</b>	<b>16.1</b>	Porcentagem da população urbana com coleta regular de lixo domiciliar
	<b>16.3</b>	Porcentagem de resíduos sólidos urbanos que são reciclados
<b>Telecomunicações e Inovação</b>	<b>17.1</b>	Número de conexões de internet por 100.000 habitantes
<b>Transporte</b>	<b>18.1</b>	Quilômetros de sistema de transporte público de alta capacidade por 100.000 habitantes
	<b>18.2</b>	Quilômetros de sistema de transporte público de média capacidade por 100.000 habitantes
	<b>18.7</b>	Quilômetros de ciclovias e ciclofaixas por 100.000 habitantes
<b>Planejamento Urbano</b>	<b>19.1</b>	Áreas verdes (hectares) por 100.000 habitantes
<b>Esgotos</b>	<b>20.1</b>	Porcentagem da população da cidade atendida por sistemas de coleta e afastamento de esgoto
<b>Água e Saneamento</b>	<b>21.1</b>	Porcentagem da população da cidade com serviço de abastecimento de água potável
	<b>21.2</b>	Porcentagem da população da cidade com acesso sustentável a uma fonte de água adequada para consumo



Figura 3.16 - Mapa com Cidades Escolhidas

Após a construção da base de dados, foi feito um tratamento da base de dados antes de aplicar o sistema *fuzzy*. Primeiro, verificou-se se todos os indicadores eram diretamente proporcionais com o grau de inteligência. Conforme mencionado no item 3.2, as regras foram criadas de forma que, quanto maior o valor dos parâmetros, maior o  $\lambda$ . O único indicador selecionado que não atende esse critério é o indicador 5.1 (porcentagem da população abaixo da linha da pobreza). Para solucionar este problema, fez-se o artifício indicado na Equação 3.1, em que  $I^*$  é o valor do indicador modificado e  $I$  é o valor do indicador original. Assim, obteve-se o que seria equivalente à porcentagem da população acima da linha da pobreza, que é diretamente proporcional a  $\lambda$ .

$$I^* = 100 - I \quad \text{Equação 3.1}$$

Depois, observou-se se todos os dados dos indicadores variavam de 0 a 100. Os indicadores 12.1 (expectativa de vida), 12.2 (número de leitos hospitalares por 100.000 habitantes), 17.1 (número de conexões de internet por 100.000 habitantes), 18.1 (quilômetros de sistema de transporte público de alta capacidade por 100.000 habitantes), 18.2 (quilômetros de sistema de transporte público de média capacidade por 100.000 habitantes), 18.7 (quilômetros de ciclovias e ciclofaixas por 100.000 habitantes) e 19.1 (áreas verdes por 100.000 habitantes) não estão de acordo. Os valores destes indicadores foram normalizados e multiplicados por 100, conforme demonstrado na Equação 3.2, em que  $I^*$  é o valor do indicador modificado,  $I$  é o valor do





## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O objetivo deste capítulo é apresentar e discutir os resultados obtidos. Primeiro, são abordados os resultados dos testes na base de dados fictícios. Depois, são explorados os resultados dos testes na base de dados reais.

### 4.1. BASE DE DADOS FICTÍCIOS

A Tabela 4.1 detalha os resultados obtidos no cenário I. Os valores parciais para as subcategorias de economia, gestão, transporte e energia e os valores dos indicadores finais estão indicados para cada cidade.

Tabela 4.1 - Resultados Obtidos no Cenário I

	<b>ECONOMIA</b>	<b>GOVERNANÇA</b>	<b>TRANSPORTES</b>	<b>ENERGIA</b>	<b>FINAIS</b>
<b>A</b>	80.54	84.31	82.10	82.10	86.79
<b>B</b>	83.06	86.64	80.79	79.13	86.68
<b>C</b>	77.92	19.41	77.02	12.81	25.35
<b>D</b>	53.73	16.76	51.40	12.65	17.82
<b>E</b>	85.04	83.16	81.19	85.90	86.84
<b>F</b>	71.17	33.51	74.30	12.21	48.34
<b>G</b>	14.84	68.75	13.98	12.97	20.70
<b>H</b>	15.90	12.99	11.99	12.79	12.98
<b>I</b>	14.12	14.21	12.63	14.64	12.91
<b>J</b>	13.79	14.10	17.32	15.28	13.06
<b>K</b>	13.79	14.21	12.63	14.64	12.91
<b>L</b>	12.83	12.92	12.94	12.94	12.82

A Figura 4.1, a Figura 4.2, a Figura 4.3, a Figura 4.4 e a Figura 4.5 são gráficos gerados a partir da Tabela 4.1 para os indicadores de economia, gestão, transportes, energia e para os indicadores finais. No eixo  $x$ , encontram-se as cidades de A a L. No eixo  $y$ , encontram-se os respectivos valores para o indicador, para cada uma das cidades.

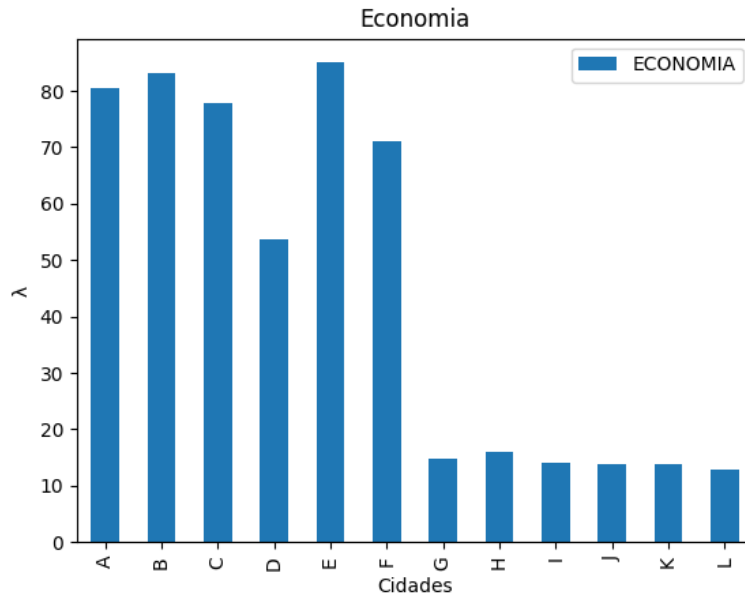


Figura 4.1 - Gráfico do Indicador de Economia

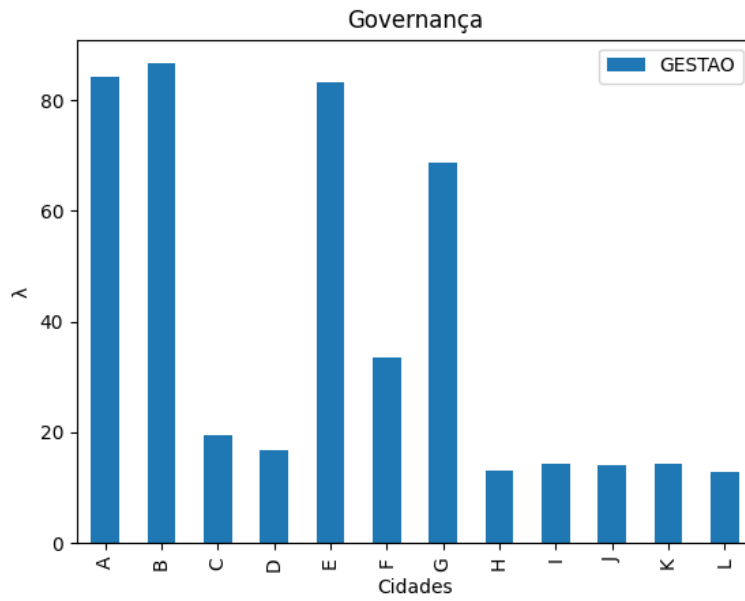


Figura 4.2 - Gráfico do Indicador de Governança

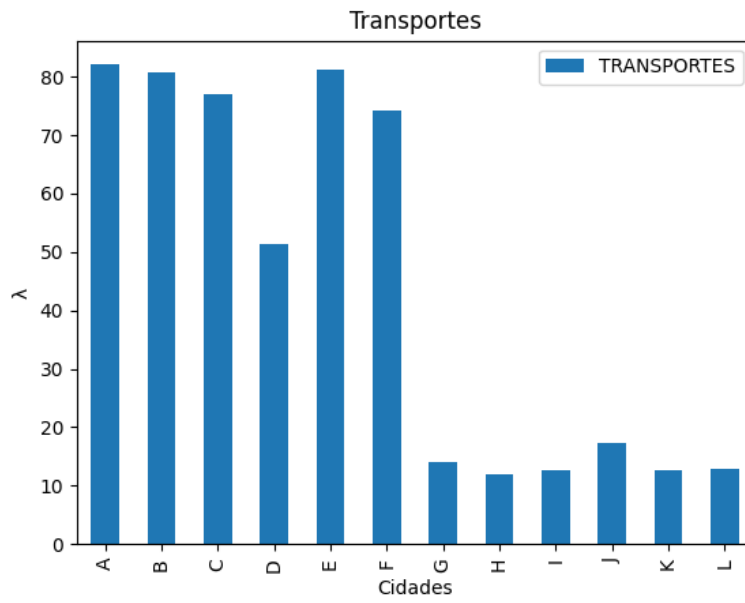


Figura 4.3 - Gráfico do Indicador de Transportes

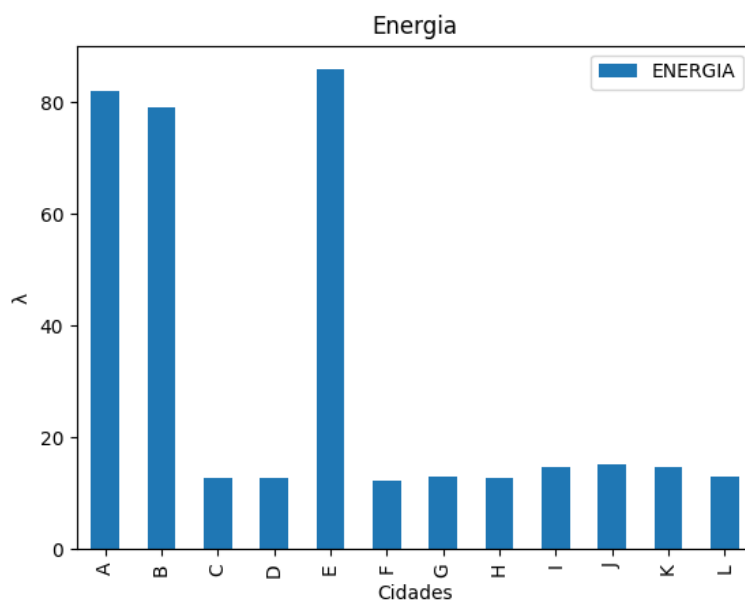


Figura 4.4 - Gráfico do Indicador de Energia

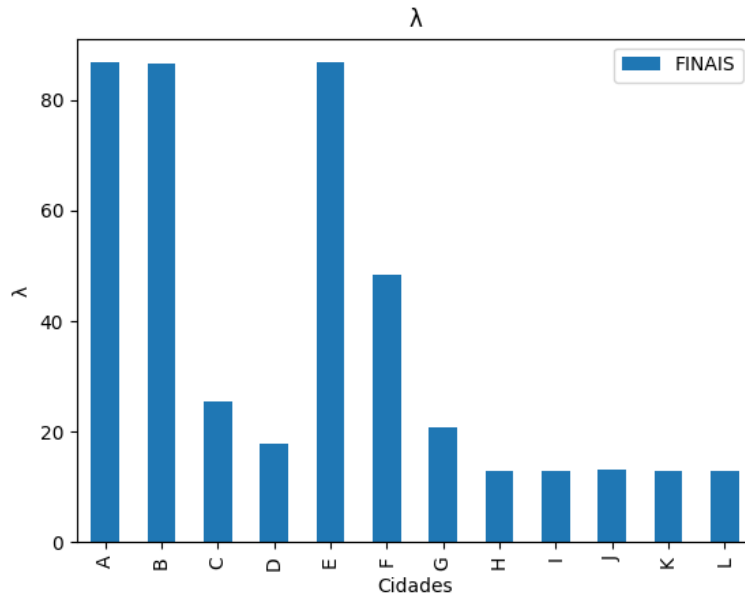


Figura 4.5 - Gráfico do  $\lambda$

A Tabela 4.2 possui a posição no *ranking* das cidades em cada um dos 8 cenários testados. Nota-se que as posições são consistentes. As cidades A, B e E estão nas primeiras posições. As cidades H, I, J, K, e L sempre se encontram nas últimas posições. As cidades C, D, F, G encontram-se sempre em posições intermediárias.

Tabela 4.2 - Ranking das Cidades

	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>	<b>V</b>	<b>VI</b>	<b>VII</b>	<b>VIII</b>
<b>A</b>	2	1	1	1	3	3	1	1
<b>B</b>	3	3	2	2	2	2	2	3
<b>C</b>	5	5	4	5	4	4	4	4
<b>D</b>	7	7	7	7	7	6	7	7
<b>E</b>	1	2	3	3	1	1	3	2
<b>F</b>	4	4	6	4	5	5	6	5
<b>G</b>	6	6	5	6	6	7	5	6
<b>H</b>	9	11	10	11	11	11	10	11
<b>I</b>	11	8	11	8	10	10	11	8
<b>J</b>	8	9	8	9	8	8	8	9
<b>K</b>	10	10	9	10	9	9	9	10
<b>L</b>	12	12	12	12	12	12	12	12

A Tabela 4.3 possui a média e o desvio padrão dos indicadores finais obtidos a partir dos cenários estudados. O desvio padrão dos resultados foram pequenos, com exceção das cidades C, D e F. Essas eram as cidades com maiores variações entre os indicadores.

Tabela 4.3 - Média e Desvio Padrão dos Resultados

	<b>MÉDIA</b>	<b>DESVIO</b>
<b>A</b>	86.79	0.09
<b>B</b>	86.68	0.00
<b>C</b>	37.41	17.66
<b>D</b>	20.93	6.48
<b>E</b>	86.77	0.09
<b>F</b>	35.12	14.48
<b>G</b>	23.07	1.48
<b>H</b>	12.93	0.05
<b>I</b>	12.98	0.10
<b>J</b>	13.08	0.02
<b>K</b>	13.03	0.07
<b>L</b>	12.83	0.01

Para melhor analisar estes resultados, foram feitos *boxplots* para cada uma das cidades, conforme indicado na Figura 4.6. Um *boxplot*, ou diagrama de caixa, é uma ferramenta gráfica construída a partir dos valores mínimos e máximos, primeiro e terceiro quartil, mediana e *outliers* de uma base de dados. Assim, é possível entender a variabilidade dos resultados obtidos. Novamente, fica claro que a maior parte das cidades apresenta pouca variação no índice final, independente da ordem de entrada dos indicadores. Para melhor visualização dos *boxplots*, fez-se uma divisão informal entre as cidades, conforme representado na Figura 4.7, na Figura 4.8 e na Figura 4.9.

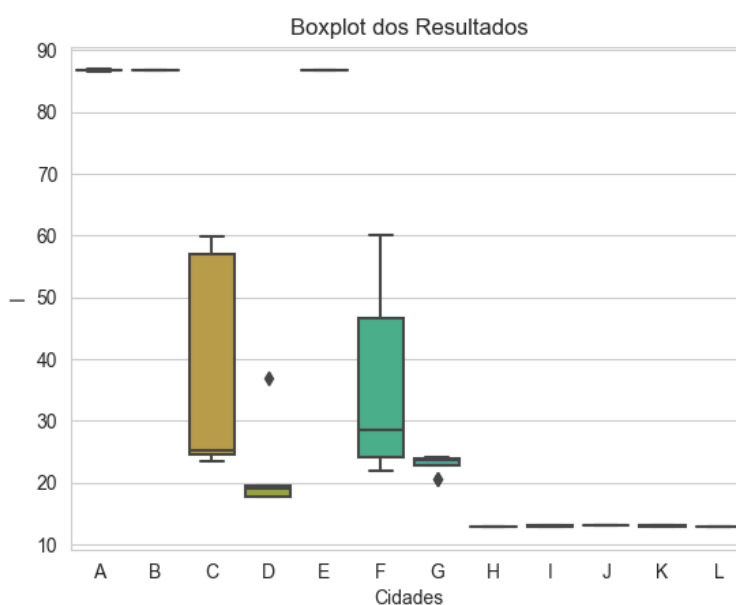


Figura 4.6 - *Boxplot* dos Resultados

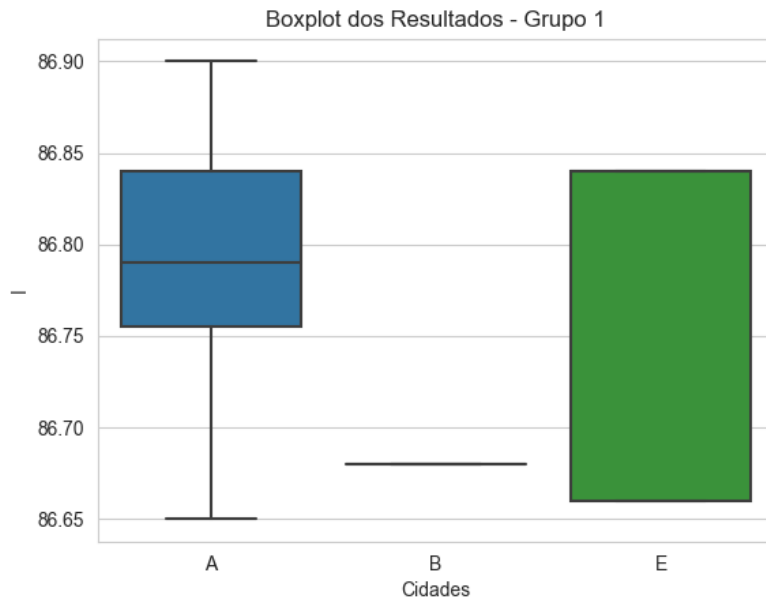


Figura 4.7 - *Boxplot* dos Resultados - Grupo 1

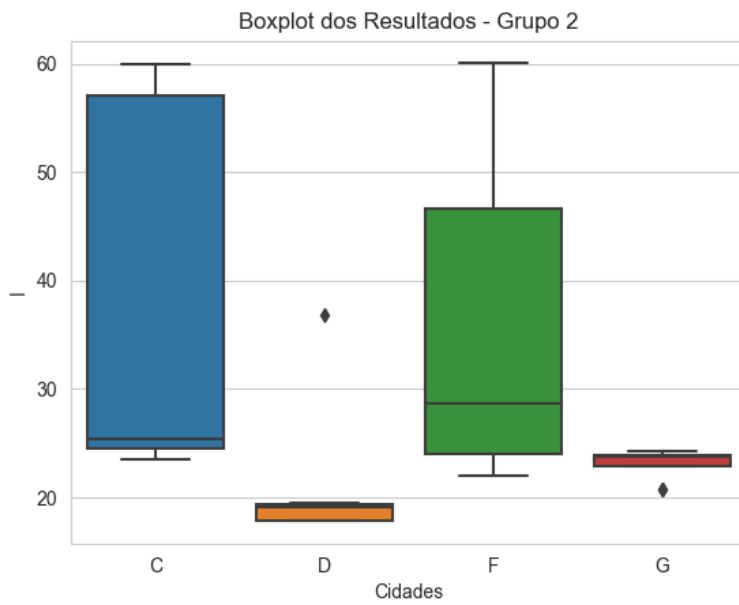


Figura 4.8 - *Boxplot* dos Resultados - Grupo 2

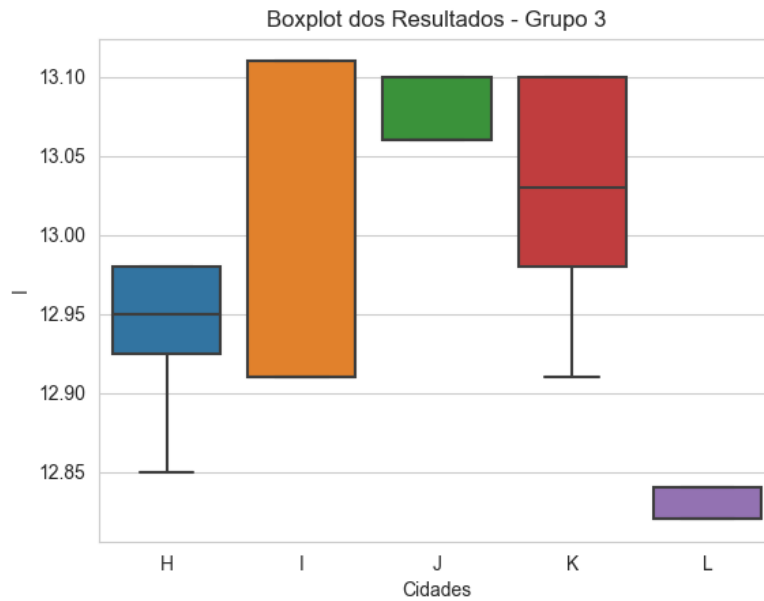


Figura 4.9 - *Boxplot* dos Resultados - Grupo 3

A Tabela 4.4 compara os resultados obtidos no cenário I, em que o peso de todos os indicadores era igual a 1, e no cenário IX, em que os indicadores da área de economia tinham peso 5 e os demais permaneceram com peso 1. Nota-se que as cidades C, D e F tiveram um grande salto no valor de  $\lambda$ . Isso deve-se ao fato de elas terem indicadores de economia altos, mas indicadores de outras categorias baixos. Quando a economia passou a ter mais peso, o resultado dessas cidades melhorou.

Tabela 4.4 - Comparação entre Cenário I e Cenário IX

	I	IX
<b>A</b>	86.79	86.90
<b>B</b>	86.68	86.68
<b>C</b>	25.35	86.87
<b>D</b>	17.82	84.49
<b>E</b>	86.84	86.84
<b>F</b>	48.34	86.96
<b>G</b>	20.70	20.70
<b>H</b>	12.98	12.85
<b>I</b>	12.91	12.91
<b>J</b>	13.06	13.06
<b>K</b>	12.91	12.98
<b>L</b>	12.82	12.82

Ainda para melhor visualizar o efeito de dar maior importância para os indicadores de economia, elaborou-se os gráficos da Figura 4.10, da Figura 4.11 e da Figura 4.12. No eixo x,



encontram-se os indicadores 5.1, 5.2 e 10.1, respectivamente. No eixo y, encontra-se o grau de inteligência da cidade ( $\lambda$ ). Percebe-se uma correlação forte nos dois primeiros gráficos, de indicadores de economia, em que cidades com esses indicadores baixos possuem  $\lambda$  baixos e vice-versa. No último gráfico, de um indicador da área de governança, a correlação é menos evidente.

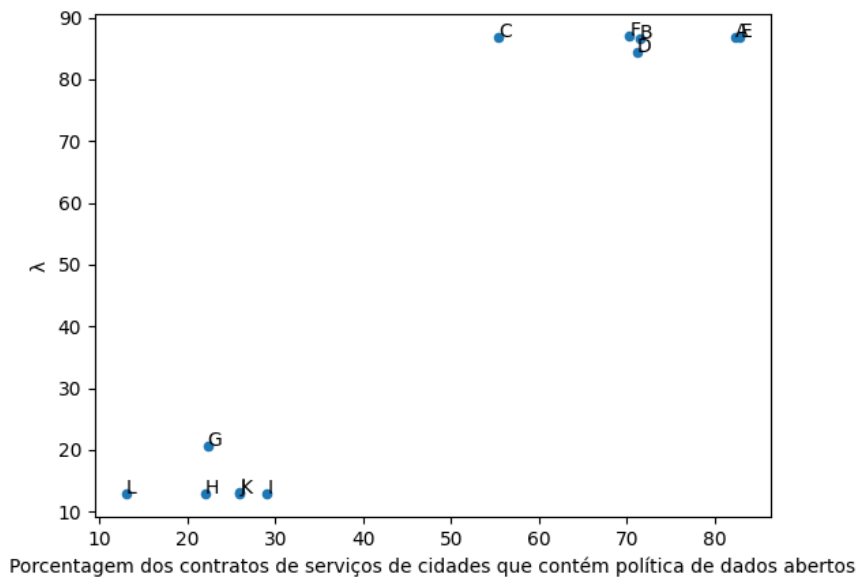


Figura 4.10 - Distribuição de  $\lambda$  em Função do Ind. 5.1

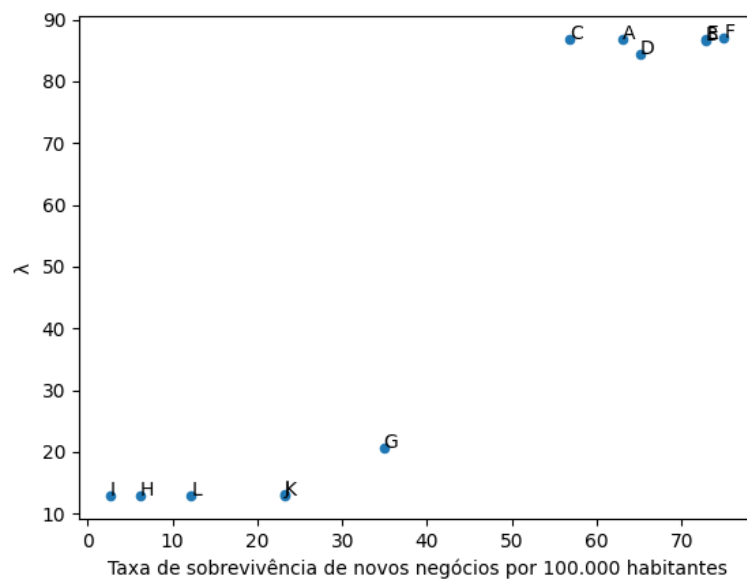


Figura 4.11 - Distribuição de  $\lambda$  em Função do Ind. 5.2

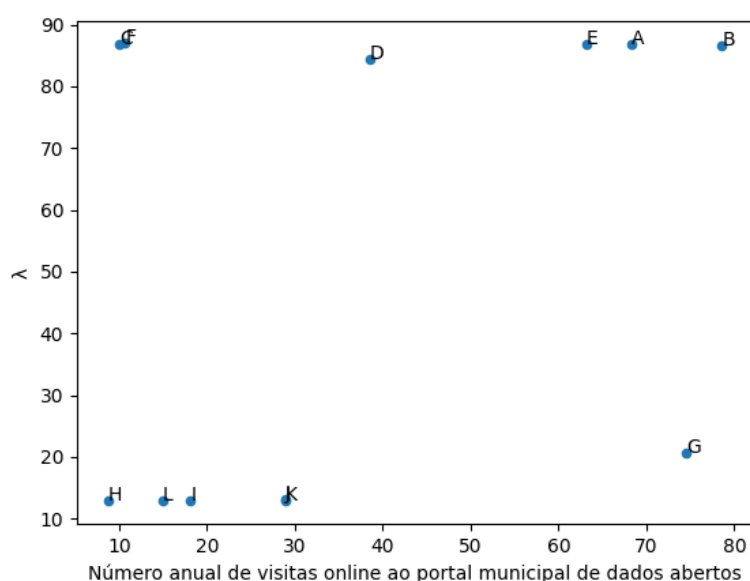


Figura 4.12 - Distribuição de  $\lambda$  em Função do Ind. 10.1

## 4.2. BASE DE DADOS REAIS

Testou-se a base de dados reais criada em diferentes situações, conforme indicado na Tabela 3.8. Os resultados de cada cenário serão apresentados e discutidos a seguir.

### 4.2.1. Cenário I: todos os indicadores com o mesmo peso

No primeiro cenário testado, determinou-se que todos os indicadores possuiriam o mesmo grau de importância, conforme indicado na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Pesos no Cenário I

CENÁRIO I																		
Todos os indicadores com mesmo peso.																		
5.3	6.2	6.3	6.6	7.2	11.1	11.2	12.1	12.2	16.1	16.3	17.1	18.1	18.2	18.7	19.1	20.1	21.1	21.2
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

A Tabela 4.6 e a Figura 4.13 detalham os resultados obtidos. As cidades de Cambridge (Reino Unido), Mississauga (Canadá) e Taipei (Taiwan) lideram o ranking. As três situam-se em países desenvolvidos, que são conhecidos por proporcionar boa qualidade de vida aos seus habitantes. Em último, encontram-se as cidades de Cape Town (África do Sul), Makkah (Arabia Saudita) e Makati (Filipinas).

Tabela 4.6 - Resultados Cenário I

	$\lambda$
<b>Cambridge</b>	84.73
<b>Mississauga</b>	83.23
<b>Taipei</b>	82.31
<b>Toronto</b>	81.35
<b>Heerlen</b>	80.75
<b>Eindhoven</b>	80.42
<b>Portland</b>	80.22
<b>Brisbane</b>	78.96
<b>Los Angeles</b>	75.22
<b>Valencia</b>	69.95
<b>Amsterdam</b>	69.60
<b>Boston</b>	69.08
<b>Oslo</b>	68.53
<b>London</b>	68.15
<b>Brasília</b>	66.74
<b>Guadalajara</b>	62.05
<b>Leon</b>	54.22
<b>Buenos Aires</b>	48.61
<b>Cape Town</b>	41.23
<b>Makkah</b>	35.86
<b>Makati</b>	34.74

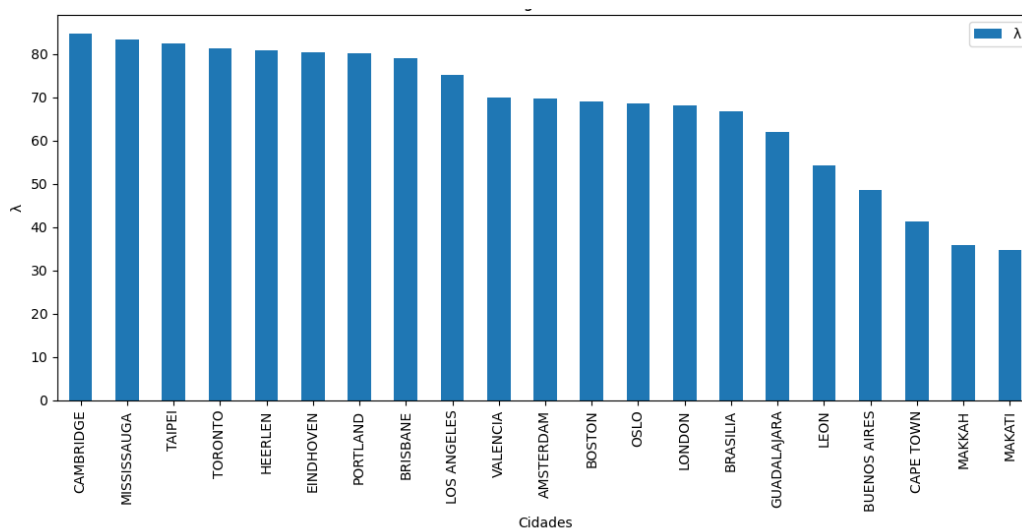


Figura 4.13 - Ranking Cenário I

Para explorar mais os resultados, elaborou-se um mapa de calor da matriz de correlação de Pearson dos indicadores, conforme indicado na Figura 4.14. O coeficiente de correlação de Pearson varia de -1 a +1 e mede o quão dependente uma da outra são duas variáveis. Um valor

próximo de 1 indica que há uma correlação forte entre as variáveis. Uma correlação positiva indica que as variáveis se movem na mesma direção. Uma correlação negativa indica que as variáveis se movem na direção oposta, ou seja, se uma aumenta, a outra diminui. O mapa de calor é uma maneira de representar os valores graficamente, com tons diferentes dependendo da intensidade da correlação.

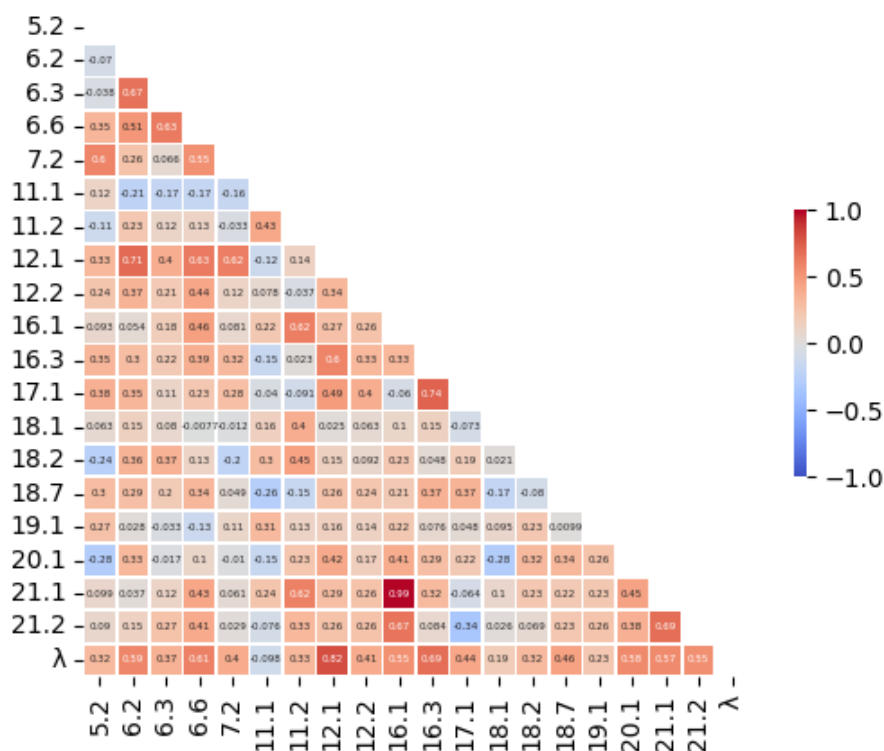
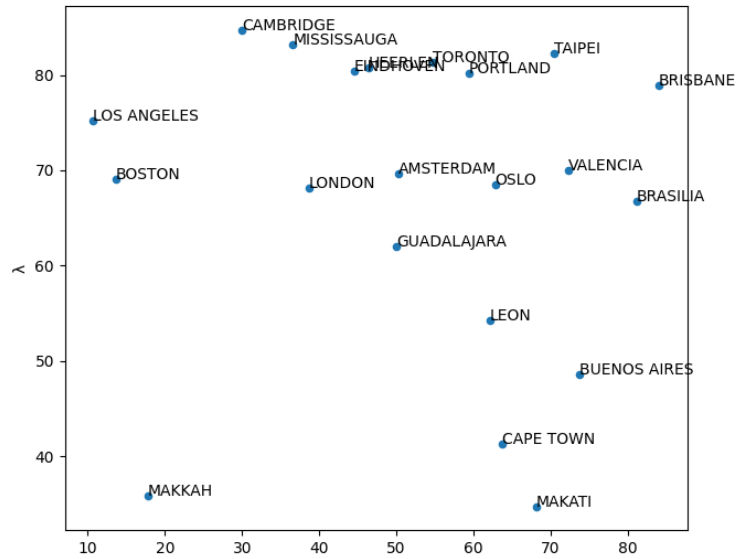


Figura 4.14 - Mapa de Calor da Matriz de Correlação - Cenário I

Observando a última linha da matriz, nota-se que os indicadores que possuíram maior correlação com o valor de  $\lambda$  foram o 12.1 (expectativa média de vida) e o 16.3 (total de coleta de resíduos sólidos municipais *per capita*). O indicador com correlação mais fraca com  $\lambda$  foi o 11.1 (porcentagem de participação dos eleitores nas últimas eleições municipais em função do total de eleitores aptos votar).

A Figura 4.15, a Figura 4.16 e a Figura 4.17 são gráficos que ilustram a relação dos indicadores 11.1, 12.1 e 16.3 com o  $\lambda$ , respectivamente. No eixo x, encontram-se os indicadores em questão. No eixo y, encontra-se  $\lambda$ . Na Figura 4.15, nota-se que não há muita relação entre a porcentagem de participação dos eleitores nas últimas eleições e o grau de inteligência da cidade. Em contraste, na Figura 4.16 e na Figura 4.17, fica evidente que quanto maior a expectativa de vida ou o valor de total de coleta de resíduos sólidos, maior o grau de inteligência da cidade.



Porcentagem de participação dos eleitores nas últimas eleições municipais em função do total de eleitores aptos votar

Figura 4.15 - Distribuição do  $\lambda$  em Função do Ind. 11.1 - Cenário I

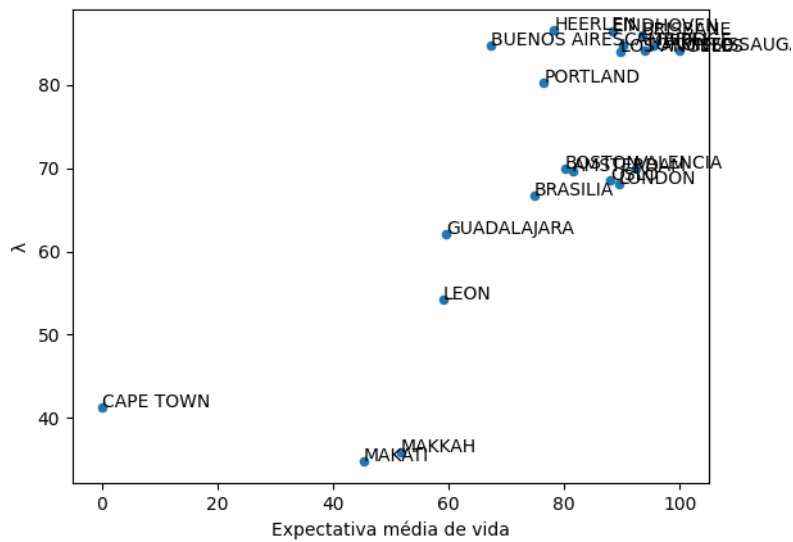


Figura 4.16- Distribuição do  $\lambda$  em Função do Ind. 12.1 - Cenário I

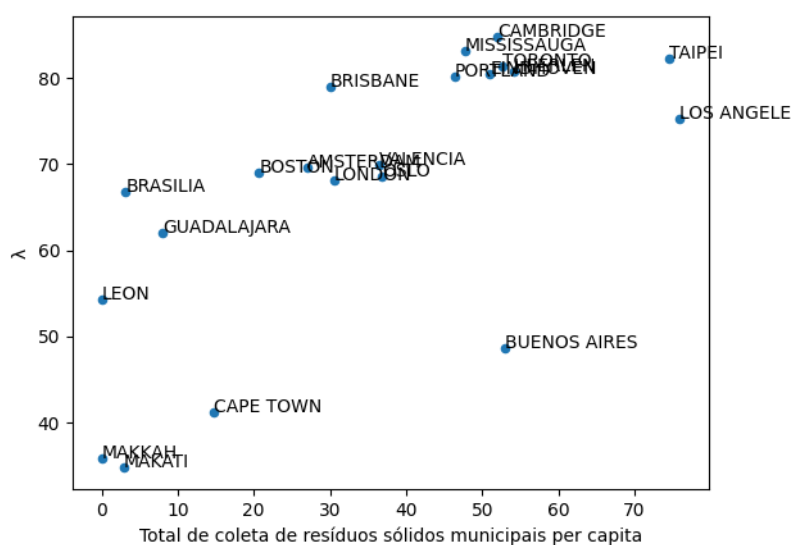


Figura 4.17- Distribuição do  $\lambda$  em Função do Ind. 16.1 - Cenário I

#### 4.2.2. Cenário II: telecomunicação e inovação é muito mais importante

No segundo cenário testado, determinou-se que os indicadores da área de telecomunicações e inovação possuiriam um grau de importância maior em relação aos demais, conforme indicado na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 - Pesos no Cenário II

CENÁRIO II																		
Telecomunicação e inovação é muito mais importante.																		
5.3	6.2	6.3	6.6	7.2	11.1	11.2	12.1	12.2	16.1	16.3	17.1	18.1	18.2	18.7	19.1	20.1	21.1	21.2
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	20	1	1	1	1	1	1	1

A Tabela 4.8 contém a classificação considerando a nova distribuição dos pesos. A Figura 4.18 é um gráfico de barras com os valores de  $\lambda$  e dos indicadores 12.1, 16.3 e 17.1. As cidades de Heerlen (Países Baixos), Eindhoven (Países Baixos) e Brisbane (Austrália) passam a liderar a classificação. Buenos Aires (Argentina) foi a cidade que mais subiu no ranking, saindo do 18º lugar para o 6º. A partir do gráfico de barras, observa-se que Buenos Aires possui o maior valor do indicador 17.1, mas, por possuir valores baixos em outras categorias, foi classificada em sexto lugar.

Tabela 4.8 - Resultados Cenário II

	$\lambda$
<b>Heerlen</b>	86.53
<b>Eindhoven</b>	86.48
<b>Brisbane</b>	86.05
<b>Taipei</b>	84.74
<b>Cambridge</b>	84.73
<b>Buenos Aires</b>	84.72
<b>Mississauga</b>	84.15
<b>Toronto</b>	84.08
<b>Los Angeles</b>	84.04
<b>Portland</b>	80.22
<b>Valencia</b>	69.97
<b>Boston</b>	69.88
<b>Amsterdam</b>	69.60
<b>Oslo</b>	68.53
<b>London</b>	68.15
<b>Brasília</b>	66.74
<b>Guadalajara</b>	62.05
<b>Leon</b>	54.22
<b>Cape Town</b>	41.23
<b>Makkah</b>	35.86
<b>Makati</b>	34.74

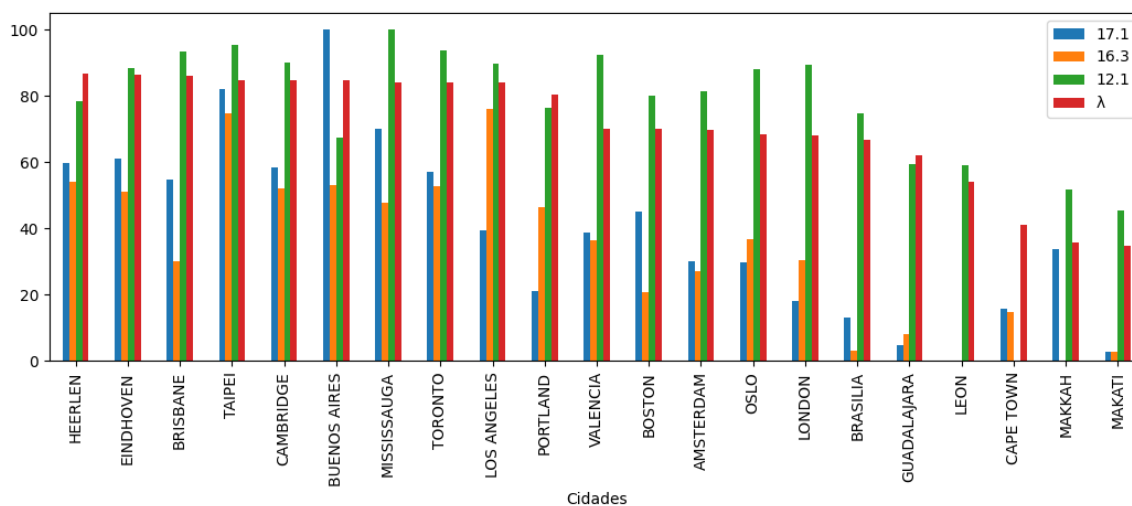


Figura 4.18 - Ranking Cenário II

Em seguida, plotou-se o gráfico da distribuição dos valores de  $\lambda$  em função do indicador 17.1 para os cenários I e II, conforme indicado na Figura 4.19 e na Figura 4.20, respectivamente. Ao comparar os dois cenários, a mudança da colocação de Buenos Aires fica evidente.

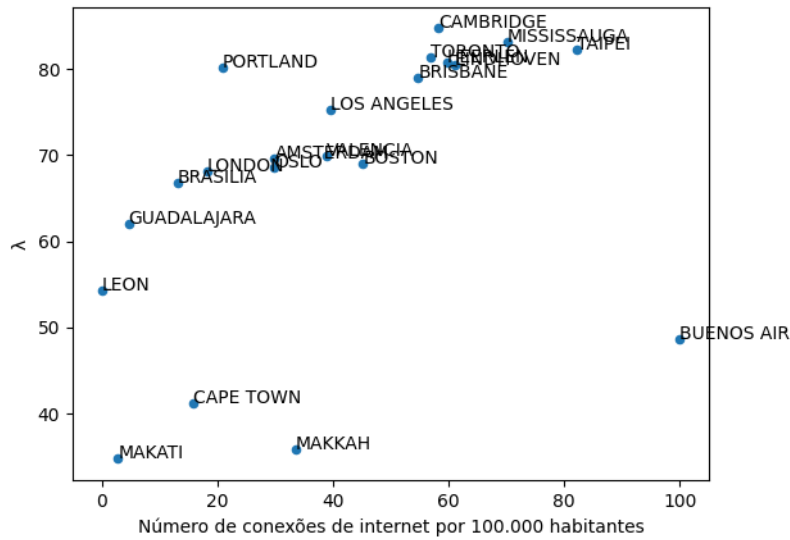


Figura 4.19 - Distribuição do  $\lambda$  em Função do Ind. 17.1 - Cenário I

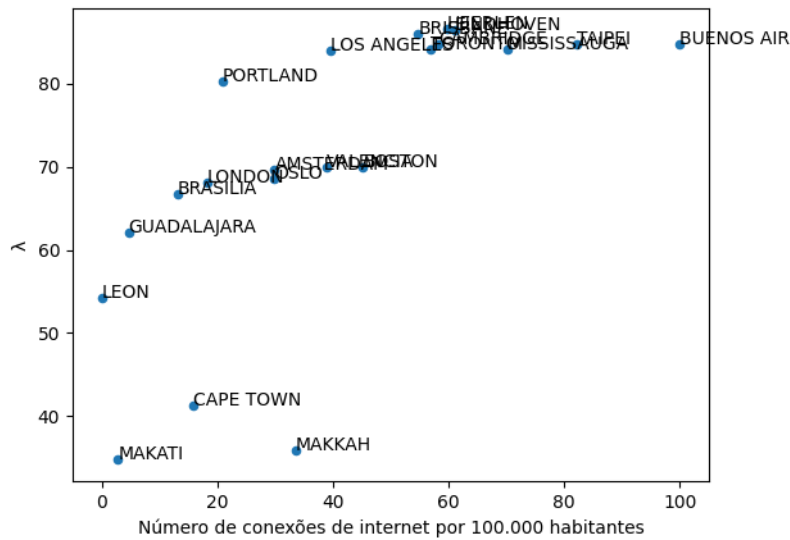


Figura 4.20 - Distribuição do  $\lambda$  em Função do Ind. 17.1 - Cenário II

#### 4.2.3. Cenário III: resíduos sólidos e esgoto são muito mais importantes

No terceiro cenário testado, determinou-se que os indicadores das áreas de resíduos sólidos e esgoto possuiriam um grau de importância maior em relação aos demais, conforme indicado na Tabela 4.9.



Tabela 4.9 - Pesos no Cenário III

<b>CENÁRIO III</b>																		
Resíduos sólidos e esgoto são muito mais importantes.																		
5.3	6.2	6.3	6.6	7.2	11.1	11.2	12.1	12.2	16.1	16.3	17.1	18.1	18.2	18.7	19.1	20.1	21.1	21.2
1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	10	1	1	1	1	1	10	1	1

Os resultados do cenário III encontram-se na Tabela 4.10. A Figura 4.21 é um gráfico de barras com valores de  $\lambda$  e dos indicadores 16.1, 16.3 e 20.1. Observa-se um aumento geral no valor de  $\lambda$ , com o menor sendo 70. Isso deve-se ao fato de todas as cidades possuírem indicadores 16.1 (porcentagem da população urbana com coleta regular de lixo domiciliar) e 20.1 (porcentagem da população da cidade atendida por sistemas de coleta e afastamento de esgoto) altos. 16 das 21 cidades possuem 100% da população urbana com coleta regular de lixo domiciliar. Ainda, todas as cidades possuem pelo menos 65% da população atendida por sistema de coleta e afastamento de esgoto, com exceção de Makati, que possui um pouco mais de 41% da sua população atendida. Com os outros indicadores tendo menos importância, fica mais difícil classificar as cidades, já que os resultados ficaram muito próximos um do outro. A Figura 4.22 mostra a distribuição do  $\lambda$  em função do indicador 16.1 e ilustra justamente esse fenômeno.

Tabela 4.10 - Resultados Cenário III

	$\lambda$
<b>Taipei</b>	87.13
<b>Los Angeles</b>	86.99
<b>Buenos Aires</b>	86.98
<b>Heerlen</b>	86.95
<b>Mississauga</b>	86.92
<b>Eindhoven</b>	86.91
<b>Cambridge</b>	86.89
<b>Toronto</b>	86.87
<b>Portland</b>	82.67
<b>Brisbane</b>	79.14
<b>Guadalajara</b>	78.12
<b>Leon</b>	77.59
<b>Boston</b>	75.53
<b>Valencia</b>	74.25
<b>Oslo</b>	74.20
<b>London</b>	73.96
<b>Brasília</b>	73.35
<b>Amsterdã</b>	73.16
<b>Makkah</b>	72.20
<b>Cape Town</b>	72.04
<b>Makati</b>	70.42

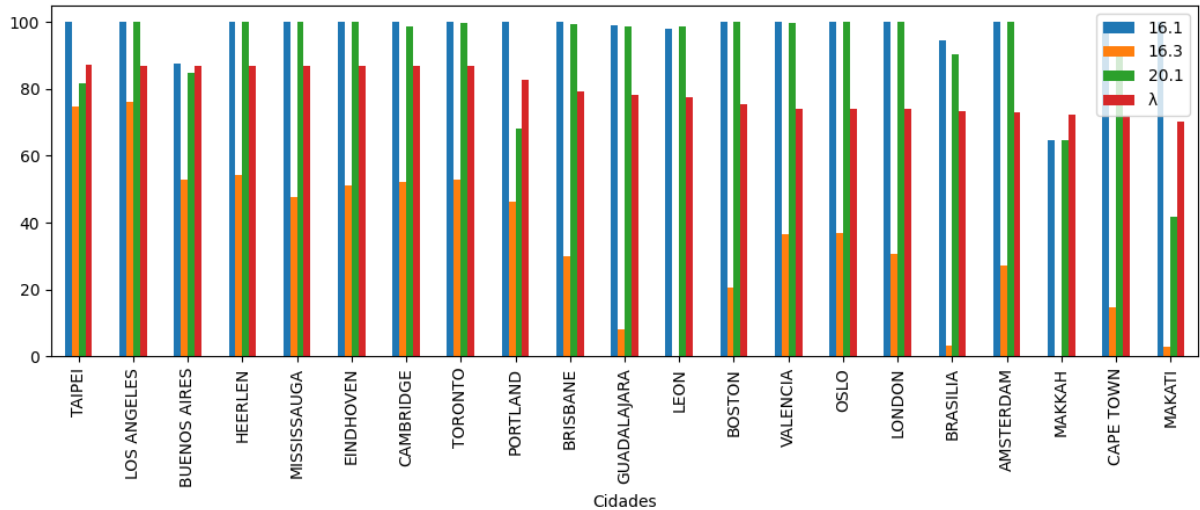


Figura 4.21 - Ranking Cenário III

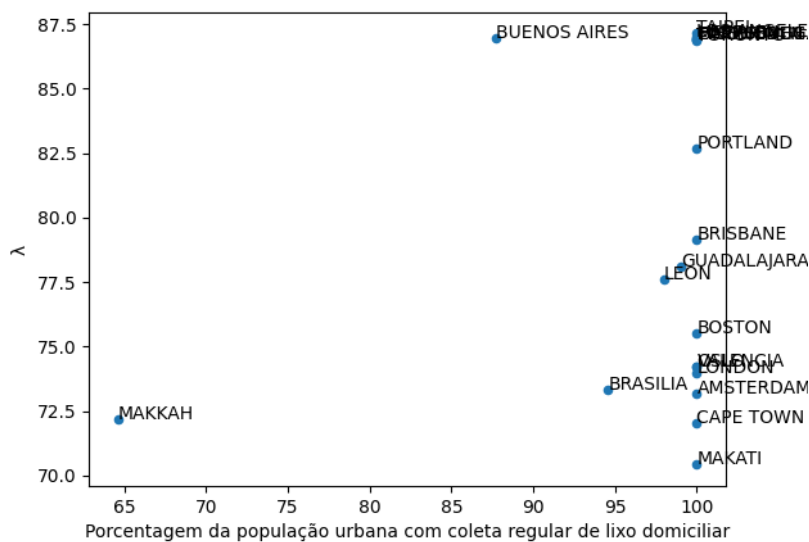


Figura 4.22 - Distribuição do  $\lambda$  em Função do Ind. 16.1 - Cenário III

#### 4.2.4. Cenário IV: todos os indicadores com o mesmo peso (apenas transportes)

No quarto cenário testado, buscou-se estudar o desempenho das cidades em um setor específico: transportes. Determinou-se que o peso de todos os indicadores seria igual a 1, conforme indicado na Tabela 4.11.

Tabela 4.11 - Pesos no Cenário IV

CENÁRIO IV												
Todos os indicadores com mesmo peso – apenas transportes.												
											18.1	18.2
											1	1
											1	1

Na Tabela 4.12, encontram-se os resultados do  $\lambda$ . A Figura 4.23Figura 4.21 é um gráfico de barras com valores de  $\lambda$  e dos indicadores desta área. As cidades Heerlen (Países Baixos), Eindhoven (Países Baixos) e Portland (Estados Unidos) lideram o ranking do desempenho no quesito transportes. Makkah (Arábia Saudita), Los Angeles (Estados Unidos) e Makati (Filipinas) encontram-se nas últimas posições. A partir da Figura 4.23, nota-se que a quantidade de ciclovias (indicador 18.7) é o que possui maior influência no resultado. Heerlen e Eindhoven, mesmo possuindo indicadores 18.1 e 18.2 baixos, ficam nos primeiros lugares. Isso é comprovado ao analisar-se a matriz de correlação na Figura 4.24.

Tabela 4.12 - Resultados Cenário IV

	$\lambda$
<b>Heerlen</b>	59.87
<b>Eindhoven</b>	55.57
<b>Portland</b>	34.75
<b>Brisbane</b>	29.94
<b>Cambridge</b>	27.99
<b>Guadalajara</b>	25.52
<b>Leon</b>	23.20
<b>Amsterdam</b>	20.10
<b>Taipei</b>	19.52
<b>Mississauga</b>	19.15
<b>Toronto</b>	17.03
<b>Buenos Aires</b>	16.44
<b>Boston</b>	14.06
<b>Cape Town</b>	13.96
<b>Oslo</b>	13.83
<b>Brasília</b>	13.22
<b>Valencia</b>	13.22
<b>London</b>	12.99
<b>Makkah</b>	12.59
<b>Los Angeles</b>	12.59
<b>Makati</b>	12.58

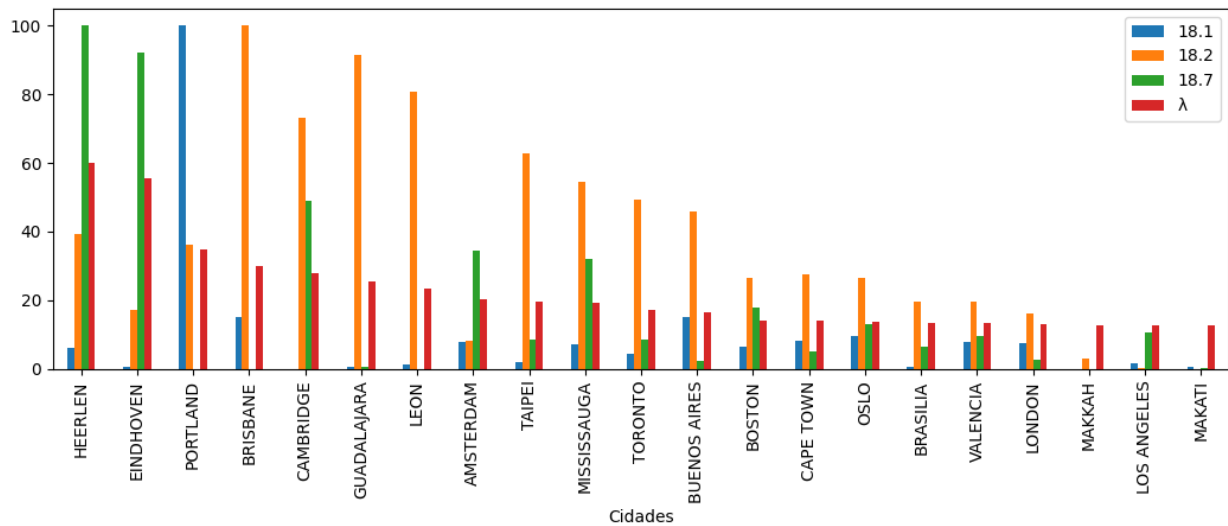


Figura 4.23 - Ranking Cenário IV

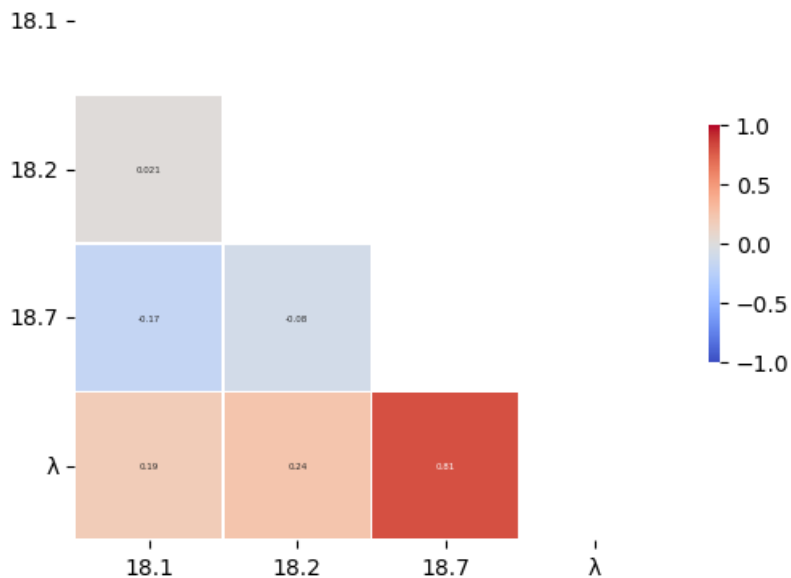
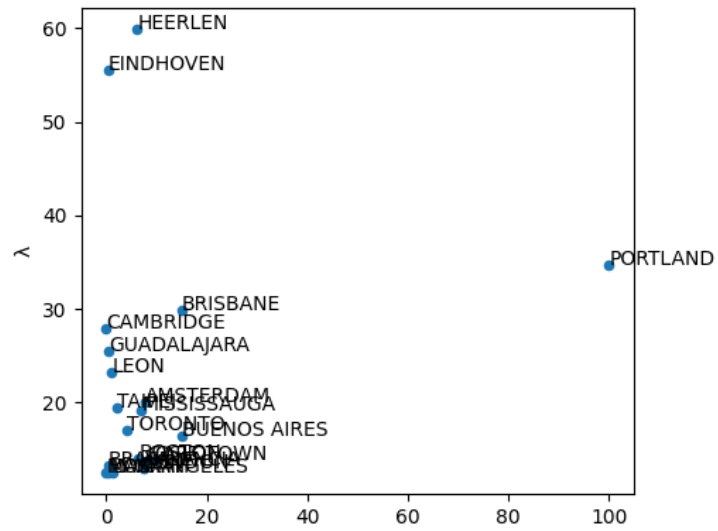


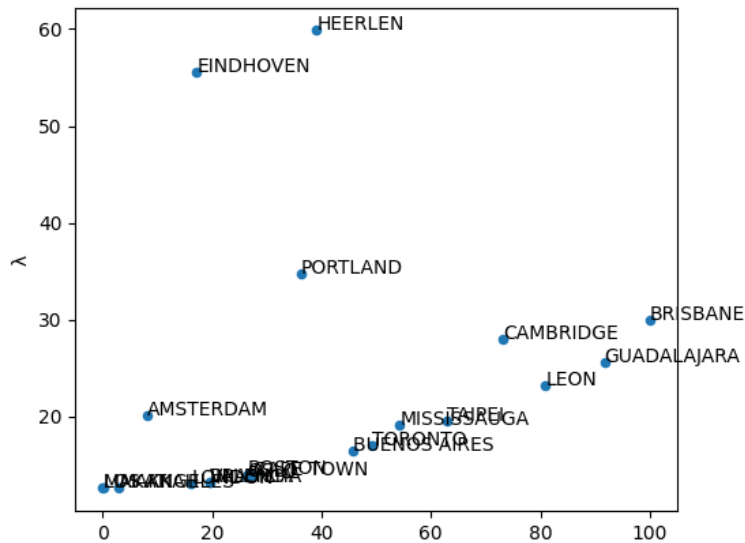
Figura 4.24 - Mapa de Calor da Matriz de Correlação - Cenário IV

Os gráficos com a distribuição do  $\lambda$  em função dos indicadores 18.1, 18.2 e 18.7 encontram-se, respectivamente, na Figura 4.25, na Figura 4.26 e na Figura 4.27. Mais uma vez, evidencia-se a correlação entre a quantidade de ciclovias e o desempenho final.



Quilômetros de sistema de transporte público de alta capacidade por 100.000 habitantes

Figura 4.25- Distribuição do  $\lambda$  em Função do Ind. 18.1 - Cenário IV



Quilômetros de sistema de transporte público de média capacidade por 100.000 habitantes

Figura 4.26- Distribuição do  $\lambda$  em Função do Ind. 18.2 - Cenário IV

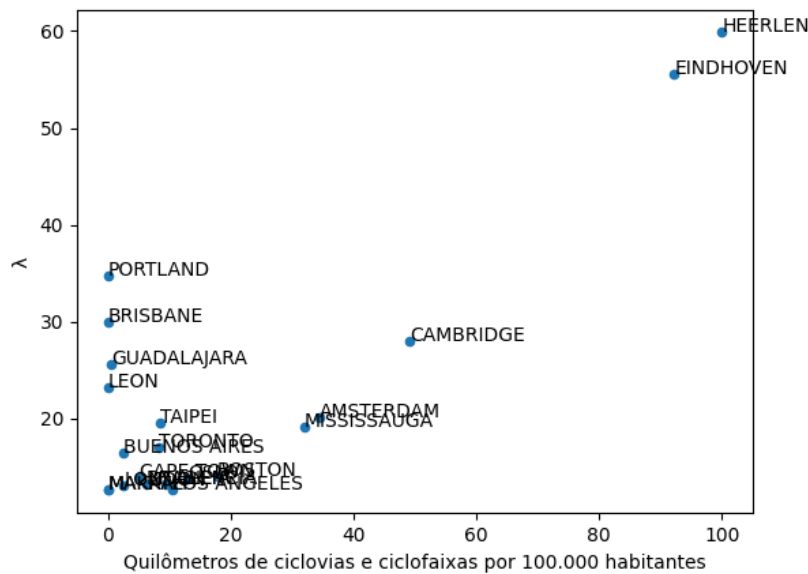


Figura 4.27- Distribuição do  $\lambda$  em Função do Ind. 18.7 - Cenário IV

#### 4.2.5. Cenário V: ciclovias são mais importantes (apenas transportes)

Ainda avaliando o desempenho das cidades no quesito transportes, no quinto cenário, determinou-se que o indicador 18.7 (quilômetros de ciclovias e ciclofaixas por 100.000 habitantes) seria mais importante que os demais, conforme indicado na Tabela 4.13.

Tabela 4.13 - Pesos no Cenário V

CENÁRIO V																	
Ciclovias são mais importantes – apenas transportes.																	
											18.1	18.2	18.7				
												1	1	2			

A Tabela 4.14 contém a nova classificação das cidades. A Figura 4.28 contém o gráfico de barras comparando os valores de  $\lambda$  e com os demais indicadores de transportes. Com essa distribuição de pesos, Eindhoven e Heerlen permanecem liderando o ranking, mas com um valor de  $\lambda$  significativamente maior. Portland foi ultrapassada por Cambridge, que possui uma quilometragem maior de ciclovias e ciclofaixas.

Tabela 4.14 - Resultados Cenário V

	$\lambda$
<b>Eindhoven</b>	86.94
<b>Heerlen</b>	84.57
<b>Cambridge</b>	45.02
<b>Portland</b>	34.75
<b>Brisbane</b>	29.94
<b>Guadalajara</b>	25.52
<b>Leon</b>	23.20
<b>Amsterdam</b>	20.15
<b>Taipei</b>	19.52
<b>Mississauga</b>	19.16
<b>Toronto</b>	17.03
<b>Buenos Aires</b>	16.44
<b>Boston</b>	14.06
<b>Cape Town</b>	13.96
<b>Oslo</b>	13.83
<b>Brasília</b>	13.22
<b>Valencia</b>	13.22
<b>London</b>	12.99
<b>Makkah</b>	12.59
<b>Los Angeles</b>	12.59
<b>Makati</b>	12.58

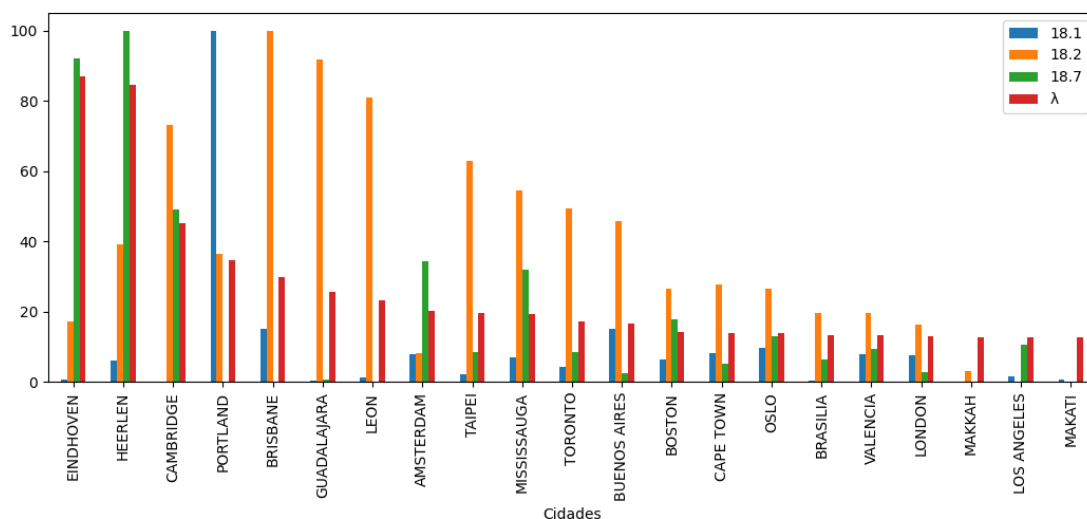


Figura 4.28 - Ranking Cenário V

#### 4.2.6. Cenário VI: transporte público é mais importante (apenas transportes)

Por fim, no sexto cenário, determinou-se que os indicadores 18.1 (quilômetros de sistema de transporte público de alta capacidade por 100.000 habitantes) e 18.2 (quilômetros de sistema de

transporte público de média capacidade por 100.000 habitantes) seriam mais importantes que o indicador 18.7, conforme indicado na Tabela 4.15.

Tabela 4.15 - Pesos no Cenário VI

<b>CENÁRIO VI</b>																		
Transporte público é mais importante – apenas transportes.																		
												<b>18.1</b>	<b>18.2</b>	<b>18.7</b>				
												2	2	1				

Na Tabela 4.16, encontram-se os resultados do cenário VI. Na Figura 4.29, observa-se o ranking das cidades. Portland, que possui um sistema de transporte de alta capacidade, passa a liderar a classificação. Heerlen e Eindhoven, mesmo possuindo baixa quilometragem de transportes de alta e média capacidade, encontram-se em quarto e quinto lugar.

Tabela 4.16 - Resultados Cenário VI

	$\lambda$
<b>Portland</b>	80.28
<b>Brisbane</b>	73.39
<b>Heerlen</b>	59.87
<b>Eindhoven</b>	55.57
<b>Guadalajara</b>	34.42
<b>Cambridge</b>	27.99
<b>Leon</b>	24.30
<b>Amsterdam</b>	20.10
<b>Taipei</b>	19.55
<b>Mississauga</b>	19.15
<b>Toronto</b>	17.03
<b>Buenos Aires</b>	16.44
<b>Boston</b>	14.06
<b>Cape Town</b>	13.96
<b>Oslo</b>	13.83
<b>Brasília</b>	13.22
<b>Valencia</b>	13.22
<b>London</b>	12.99
<b>Makkah</b>	12.59
<b>Los Angeles</b>	12.59
<b>Makati</b>	12.58



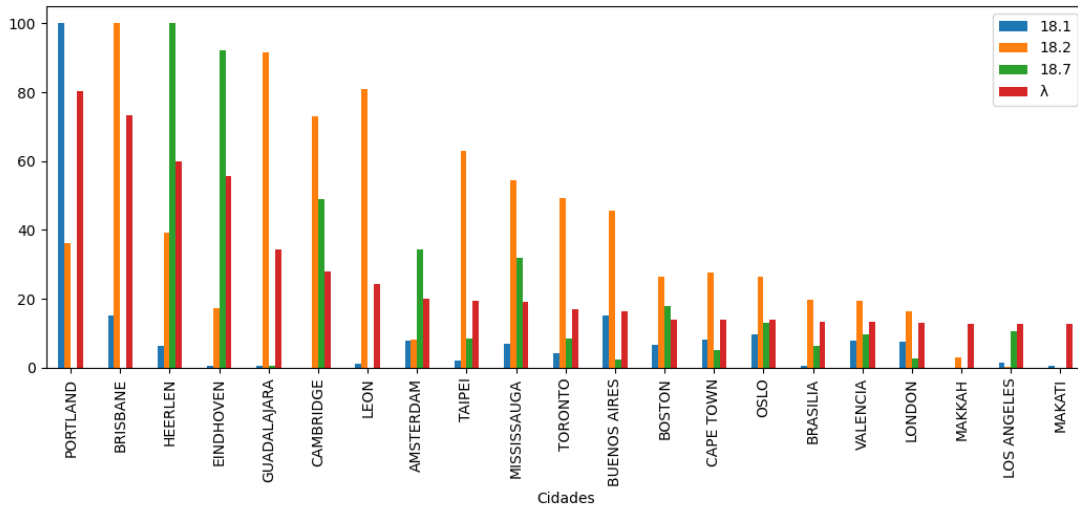


Figura 4.29 - Ranking Cenário VI

Os gráficos com a distribuição do  $\lambda$  em função dos indicadores 18.1, 18.2 e 18.7 encontram-se, respectivamente, na Figura 4.30, na Figura 4.31 e na Figura 4.32. É interessante comparar a distribuição das cidades nos cenários IV e VI. Fica evidente como a importância de um indicador muda a classificação das cidades.

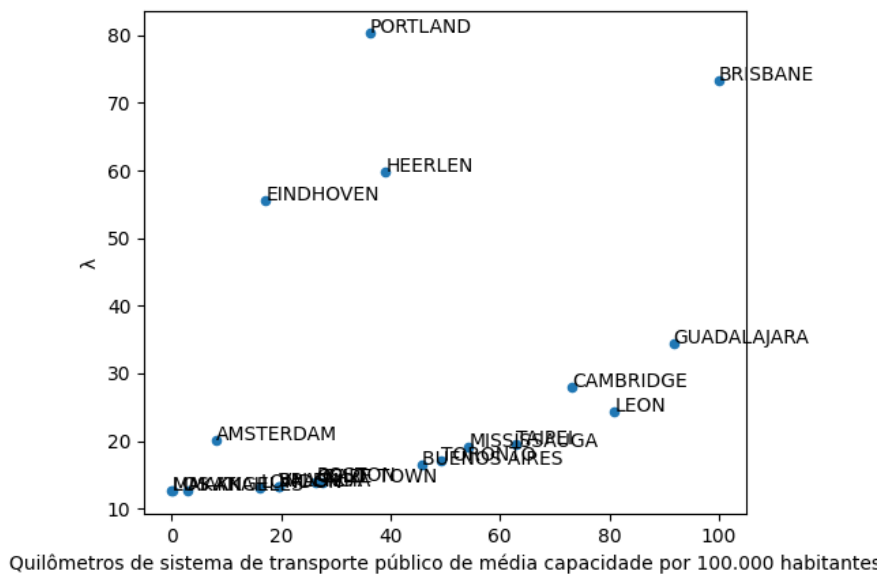


Figura 4.30- Distribuição do  $\lambda$  em Função do Ind. 18.1 - Cenário VI

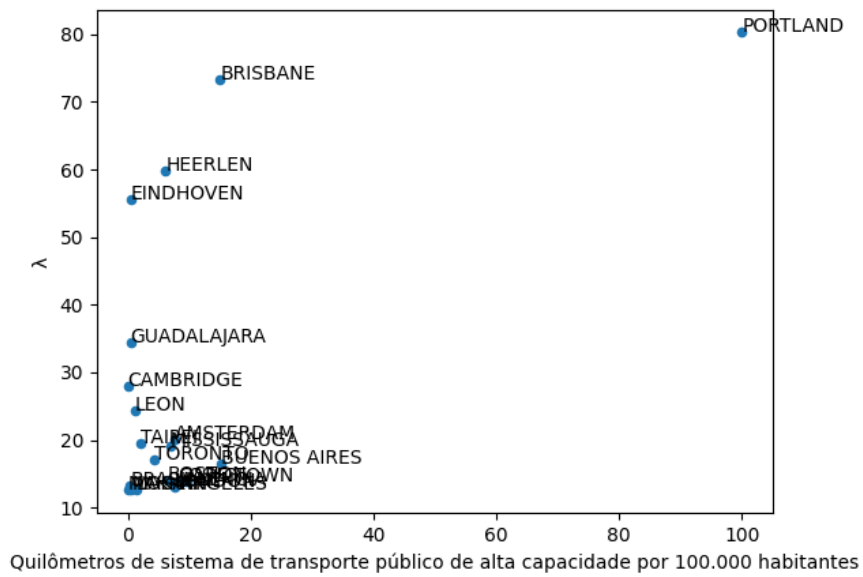


Figura 4.31- Distribuição do  $\lambda$  em Função do Ind. 18.2 - Cenário VI

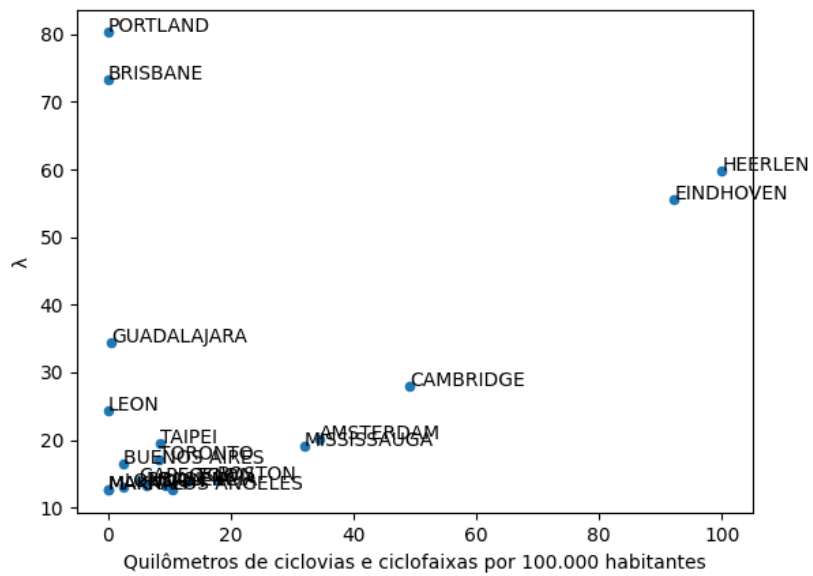


Figura 4.32- Distribuição do  $\lambda$  em Função do Ind. 18.7 - Cenário VI

## 5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Em meio às discussões sobre o futuro dos ambientes urbanos, este trabalho buscou estudar o potencial da lógica *fuzzy* para a avaliação de cidades inteligentes. Para isso, escolheu-se a aplicação dos indicadores da ISO 37120 e ISO 37122 como parâmetros indicativos de cidades inteligentes.

Para atingir uma compreensão da avaliação do grau de aderência das cidades aos indicadores, definiu-se três objetivos específicos. Primeiramente, buscava-se criar uma base de dados de cidades reais e seus indicadores. Esse objetivo foi cumprido. Elaborou-se uma base de dados com 21 cidades distribuídas ao redor do mundo e 19 indicadores de áreas variadas da ISO 37120. Entretanto, deparou-se com a dificuldade de encontrar dados da ISO 37122, por ser uma norma mais recente. Além disso, apesar da busca por cidades de todos os continentes, notou-se uma falta de representatividade nos dados. Dados de cidades europeias e norte-americanas foram de muito mais fácil acesso do que dados de cidades africanas e asiáticas, por exemplo.

O segundo objetivo era demonstrar a validade da ferramenta tanto com dados genéricos quanto com dados reais. Esse objetivo também foi cumprido e foi possível assegurar-se que o sistema de lógica *fuzzy* construído funcionava. O resultado das cidades fictícias seguiu o esperado, com cidades com altos indicadores encontrando-se em posições altas do *ranking*, e vice-versa.

Por fim, visava-se desenvolver uma interface agradável aos usuários para o uso da ferramenta. Esse objetivo também foi alcançado e facilita o uso da ferramenta. Qualquer usuário pode avaliar as cidades e indicadores desejados, apenas variando os arquivos inseridos na entrada.

Sendo assim, a ferramenta de avaliação criada se mostrou útil no estudo de cidades inteligentes. Foi possível avaliar as cidades selecionadas, tanto em quesitos específicos como de forma geral. Os resultados encontrados em cada cenário proporcionaram comparações interessantes, que auxiliam no melhor entendimento de um conceito tão complexo e multidisciplinar como o de cidades inteligentes.

Entretanto, destaca-se que o tema pode ser aprofundado muito mais. Existe uma combinação incontável de indicadores e cidades que pode ser avaliado com o auxílio da ferramenta. Para pesquisas futuras, sugere-se a aplicação da metodologia em localizações específicas ou sobre

áreas específicas de indicadores. Por exemplo, pode-se avaliar o desempenho de cidades de um mesmo país. Ou estudar o desempenho das cidades em um mesmo setor, como foi feito com a área de transportes. Ainda, seria interessante coletar dados de anos anteriores e comparar o grau de inteligência de uma mesma cidade ao longo do tempo. Também seria importante buscar pesquisas que utilizam outros métodos de avaliação de cidades e comparar os resultados. O maior desafio a ser superado será a coleta de dados reais, atualizados e completos.

Além disso, enfatiza-se que a escolha dos indicadores e determinação da importância de cada um deles deve passar por um aprofundamento. Como o objetivo principal deste estudo foi desenvolver e testar uma ferramenta, optou-se por usar indicadores que pudessem ser facilmente encontrados. Entretanto, reconhece-se que existem outros indicadores além dos pertencentes à ISO 37120 e ISO 37122 que podem melhor representar a inteligência de uma cidade. Ainda, os pesos, que representam a importância de cada indicador, definidos neste projeto tinham o propósito de demonstrar a validade da ferramenta. Dessa forma, para realmente realizar comparações entre cidades sugere-se consultar especialistas para revisar, melhorar e aprofundar as escolhas dos indicadores.

A ferramenta *fuzzy* também deve ser aperfeiçoada. Reconhece-se a necessidade de consultar especialistas para a construção de uma base de regras melhorada. As regras foram construídas pela própria pesquisadora para representar que quanto maior o valor do indicador, maior o valor do  $\lambda$ . Entretanto, sabe-se que o auxílio de especialistas permitiria uma representação ainda mais correta dessa relação. Ainda, as funções de pertinência foram definidas de forma genérica para todos os parâmetros. É possível encontrar funções que ainda melhor representam cada um destes parâmetros.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abar, C. (2004). “O conceito ‘fuzzy’”. Disponível em: <<https://www.pucsp.br/~logica/Fuzzy.htm>>. Acesso em: 10/10/2021.
- Agência Câmara de Notícias (2021). “Projeto prevê regras gerais para implantação das cidades inteligentes no Brasil”. Disponível em: <<https://www.camara.leg.br/noticias/763860-projeto-preve-regras-gerais-para-implantacao-das-cidades-inteligentes-no-brasil>>. Acesso em: 11/10/2021.
- Bibri, S. e Krogstie, J. (2019). “Generating a vision for smart sustainable cities of the future: a scholarly backcasting approach”, *European Journal of Futures Research*, 7 (5).
- Jr F. et al. (2021) “Cidades Inteligentes – Uma abordagem humana e sustentável”, *Centro de Estudos e Debates Estratégicos da Câmara dos Deputados*, Edições Câmara, Brasília, Brazil.
- Comissão mundial sobre o meio ambiente e desenvolvimento (1991). *Nosso Futuro Comum*, Editora da Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 2 ed.
- Da Paixão, A. N. (2021). *Aprendizado Estatístico e Inteligência Artificial para Classificação e Diagnóstico de Cidades Inteligentes*. Monografia de Projeto Final, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília.
- Data for Cities. “About ISO 37120 – Indicators for sustainable cities”. Disponível em: <<https://www.dataforcities.org/iso-37120>>. Acesso em: 10/10/2021.
- Frick K. T. et al (2021).” Benchmarking “Smart City” Technology Adoption in California: Developing and Piloting a Data Collection Approach”, *University of California Institute of Transportation Studies*, Berkeley, Estados Unidos.
- Giffinger, R. et al (2007). “Ranking of European médium-sized cities”, *Report End, Centers of Regional Science*, Vienna.
- Giffinger, R. e Handlmaier (2010). “Smart cities ranking: An effective instrument for the positioning of the cities”, *Architecture, City and Environment*, 5 (12).
- Hall, R. et al. (2000). “The vision of a smart city.”, *2<sup>nd</sup> International Life Extension Technology Workshop*, Paris, França.

- Huovila, R et al. (2019) “. Comparative analysis of standardized indicators for Smart sustainable cities: What indicators and standards to use and when?”, *Cities*, 89, 141-153.
- ISO (2014). “ISO 37120: Sustainable development of communities – Indicators for city services and quality of life”, *International Organization for Standardization*, Suíça.
- ISO (2019). “ISO 37122: Sustainable cities and communities – Indicators for smart cities”, *International Organization for Standardization*, Suíça.
- Lima Junior, F. R. (2016). *Avaliação da adequabilidade de redes neurais artificiais e sistemas neuro-fuzzy no apoio à predição de desempenho de cadeias de suprimento baseada no SCOR®*. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Matlab. Mamdani and Sugeno fuzzy inference systems. Disponível em: <<https://ww2.mathworks.cn/help/fuzzy/types-of-fuzzy-inference-systems.html>>. Acesso em: 10/10/2021.
- ONU News (2019). “Temos que reconhecer que a urbanização é um fenômeno mundial irreversível”. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/interview/2019/10/1692941>>. Acesso em: 10/10/2021.
- Santana, E. D. et al (2018). “The use of ISO 37122 as standard for assessing the maturity level of a smart city”, *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*”, **5** (12), 309-315.
- Sgambi, L. e Bontempi, F. (2005). “Handling uncertainties in the seismic analysis using fuzzy theory”, *9<sup>th</sup> International Conference on Structural Safety and Reliability*, Roma, Itália.
- Tanscheit, R. (2004). “Sistema fuzzy.” *Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro*, 338-353, Rio de Janeiro, Brasil.
- Wilhelm, V. ([s.d.]) “Tópicos especiais de Pesquisa Operacional I – Conjuntos difusos: inferência.” *Universidade Federal do Paraná*, Curitiba, Brasil.
- Weiss, M.C. et al. (2017) “Cidades inteligentes: casos e perspectivas para as cidades brasileiras”, *Revista Tecnológica da Fatec Americana*, **8** (1).
- Zadeh, L. A. (1965). “Fuzzy sets.” *Information and Control*, **8** (3), 338-353.

## APÊNDICE A

Tabela A.1 – Base de Dados Coletada (antes do tratamento de dados)

	5.3	6.2	6.3	6.6	7.2	11.1	11.2	12.1	12.2	16.1	16.3	17.1	18.1	18.2	18.7	19.1	20.1	21.1	21.2
<b>BRASILIA</b>	26.68	66.67	57.16	71.66	68.98	63.67	35.87	62.5	207.26	100	14.72	28750.18	15.41	81.76	11.5	1480.5	92.14	100	100
<b>AMSTERDAM</b>	4.61	78.85	88.54	98.76	99.59	68.07	27.78	72.4	164.46	100	2.9	9339	1.1	3.25	0.05	5.66	41.68	97.83	97.83
<b>BRISBANE</b>	21.39	95.84	82.23	78.61	92.36	17.76	0	73.8	135.26	64.61	0	55100	0	11.93	0	10.53	64.55	66.63	94.19
<b>BUENOS AIRES</b>	1.71	99.24	99.25	99.94	97.16	70.46	31.15	83.36	927.38	100	74.6	127328	3.88	181.68	18.72	523.64	81.81	99.76	99.99
<b>CAPE TOWN</b>	11.81	100	87.1	98	99.9	50.3	39	80.3	431.5	100	27	49643	14.42	26.26	76.31	595.39	100	100	100
<b>CAMBRIDGE</b>	5.7	100	91	100	100	30.01	33	82.2	133	100	52	91864.62	0	211	109	715.06	98.8	100	100
<b>EINDHOVEN</b>	10.9	100	93	94	99.31	44.5	26.67	81.8	316.36	100	51	96000	0.89	52.1	204.64	869	100	100	100
<b>GUADALAJARA</b>	14.5	100	89.06	99.97	84	46.39	18.92	79.6	751.66	100	54.1	94000	11.51	114.41	222	994.99	100	100	100
<b>HEERLEN</b>	49.99	98.48	96.33	80.99	57	62.1	40	75.4	181.37	98	0	5093	2.11	232.97	0.02	14.96	98.9	98.9	100
<b>LEON</b>	25.77	100	100	97.73	100	38.65	30.77	82.05	266.8	100	30.56	32164	14.1	49.29	5.86	871.89	100	100	100
<b>LONDON</b>	9.3	94.4	65.2	76.9	100	62.8	37.3	81.7	272.18	100	36.8	49450	18.07	78.2	29	4504	100	99.8	100
<b>MAKATI</b>	26.2	100	72.4	98.2	100	72.21	39.39	82.69	525.03	100	36.5	63000	14.43	58.72	21.09	46.92	99.7	100	100
<b>MAKKAH</b>	3.3	76.85	50.37	85.01	98.83	81.08	27.5	78.85	217.2	94.58	3.17	24590.73	0.7	58.9	14	618.56	90.43	98.18	99.7
<b>LOS ANGELES</b>	21	89.79	64.6	79.18	91.95	73.7	29	77.2	230.1	87.7	53	153980.32	28.4	133	5.4	60.8	85	88.31	88.67
<b>MISSISSAUGA</b>	36.26	96.79	85.86	92.9	99.59	50	41.98	75.5	97.3	99.01	8	12086	0.82	263.63	1.09	18.05	98.67	97.89	98.29
<b>OSLO</b>	21.2	83	77.3	94.87	100	10.73	11.11	82.1	203	100	76	63999	2.7	3.62	23.6	374.52	100	100	100
<b>PORTLAND</b>	11.32	100	91.03	100	100	36.57	50	84.35	173.5	100	47.76	109488.07	13.03	157.56	71.09	625.89	99.99	99.9	100
<b>TAIPEI</b>	14.4	100	90	92.28	93.46	59.4	50	79.2	354.14	100	46.4	36249.48	186.98	106.31	0.03	740.73	68	100	100
<b>TORONTO</b>	22.6	100	84.75	91	100	54.7	41.7	83	289.8	100	52.7	89923	7.94	143.04	18.52	445.67	99.96	100	100
<b>VALENCIA</b>	20.99	100	76	96.67	100	13.63	28.6	80	894.86	100	20.7	72423.18	12.12	78.49	39.46	241.4	100	100	100
<b>BOSTON</b>	12.9	100	100	100	100	83.98	33.33	82.9	612.16	100	30	86545	28.11	287.24	0.03	4316	99.4	100	100

Tabela A.2 – Base de Dados Coletada (depois do tratamento de dados)

	<b>5.3</b>	<b>6.2</b>	<b>6.3</b>	<b>6.6</b>	<b>7.2</b>	<b>11.1</b>	<b>11.2</b>	<b>12.1</b>	<b>12.2</b>	<b>16.1</b>	<b>16.3</b>	<b>17.1</b>	<b>18.1</b>	<b>18.2</b>	<b>18.7</b>	<b>19.1</b>	<b>20.1</b>	<b>21.1</b>	<b>21.2</b>
<b>BRASILIA</b>	73.32	66.67	57.16	71.66	68.98	63.67	35.87	0.00	13.25	100	14.72	15.89	8.24	27.65	5.18	32.79	92.14	100	100
<b>AMSTERDAM</b>	95.39	78.85	88.54	98.76	99.59	68.07	27.78	45.31	8.09	100	2.9	2.85	0.59	0.00	0.02	0.00	41.68	97.83	97.83
<b>BRISBANE</b>	78.61	95.84	82.23	78.61	92.36	17.76	0	51.72	4.57	64.61	0	33.59	0.00	3.06	0.00	0.11	64.55	66.63	94.19
<b>BUENOS AIRES</b>	98.29	99.24	99.25	99.94	97.16	70.46	31.15	95.47	100.00	100	74.6	82.10	2.08	62.83	8.43	11.51	81.81	99.76	99.99
<b>CAPE TOWN</b>	88.19	100	87.1	98	99.9	50.3	39	81.46	40.26	100	27	29.92	7.71	8.10	34.37	13.11	100	100	100
<b>CAMBRIDGE</b>	94.3	100	91	100	100	30.01	33	90.16	4.30	100	52	58.28	0.00	73.15	49.10	15.77	98.8	100	100
<b>EINDHOVEN</b>	89.1	100	93	94	99.31	44.5	26.67	88.33	26.39	100	51	61.06	0.48	17.20	92.18	19.19	100	100	100
<b>GUADALAJARA</b>	85.5	100	89.06	99.97	84	46.39	18.92	78.26	78.83	100	54.1	59.71	6.16	39.14	100.00	21.99	100	100	100
<b>HEERLEN</b>	50.01	98.48	96.33	80.99	57	62.1	40	59.04	10.13	98	0	0.00	1.13	80.89	0.01	0.21	98.9	98.9	100
<b>LEON</b>	74.23	100	100	97.73	100	38.65	30.77	89.47	20.42	100	30.56	18.18	7.54	16.21	2.64	19.26	100	100	100
<b>LONDON</b>	90.7	94.4	65.2	76.9	100	62.8	37.3	87.87	21.07	100	36.8	29.79	9.66	26.39	13.06	100.00	100	99.8	100
<b>MAKATI</b>	73.8	100	72.4	98.2	100	72.21	39.39	92.40	51.53	100	36.5	38.89	7.72	19.53	9.50	0.92	99.7	100	100
<b>MAKKAH</b>	96.7	76.85	50.37	85.01	98.83	81.08	27.5	74.83	14.44	94.58	3.17	13.10	0.37	19.60	6.31	13.63	90.43	98.18	99.7
<b>LOS ANGELES</b>	79	89.79	64.6	79.18	91.95	73.7	29	67.28	16.00	87.7	53	100.00	15.19	45.69	2.43	1.23	85	88.31	88.67
<b>MISSISSAUGA</b>	63.74	96.79	85.86	92.9	99.59	50	41.98	59.50	0.00	99.01	8	4.70	0.44	91.69	0.49	0.28	98.67	97.89	98.29
<b>OSLO</b>	78.8	83	77.3	94.87	100	10.73	11.11	89.70	12.73	100	76	39.56	1.44	0.13	10.63	8.20	100	100	100
<b>PORTLAND</b>	88.68	100	91.03	100	100	36.57	50	100.00	9.18	100	47.76	70.12	6.97	54.34	32.02	13.79	99.99	99.9	100
<b>TAIPEI</b>	85.6	100	90	92.28	93.46	59.4	50	76.43	30.94	100	46.4	20.93	100.00	36.29	0.01	16.34	68	100	100
<b>TORONTO</b>	77.4	100	84.75	91	100	54.7	41.7	93.82	23.19	100	52.7	56.98	4.25	49.22	8.34	9.78	99.96	100	100
<b>VALENCIA</b>	79.01	100	76	96.67	100	13.63	28.6	80.09	96.08	100	20.7	45.22	6.48	26.49	17.77	5.24	100	100	100
<b>BOSTON</b>	87.1	100	100	100	100	83.98	33.33	93.36	62.03	100	30	54.71	15.03	100.00	0.01	95.82	99.4	100	100