



Universidade Federal do Rio de Janeiro

Escola Politécnica

Programa de Engenharia Urbana

Larissa Paredes Muse

ILUMINAÇÃO PÚBLICA NO CONTEXTO DAS CIDADES INTELIGENTES:

Matriz Multicritério para Aplicação do LED e da IoT no Brasil

Rio de Janeiro

2019



UFRJ

Larissa Paredes Muse

## ILUMINAÇÃO PÚBLICA NO CONTEXTO DAS CIDADES INTELIGENTES:

Matriz Multicritério para Aplicação do LED e da IoT no Brasil

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientador: Prof. Dr. José Luis Menegotto

Coorientador: Prof. Dr. Wellington da Silva Fonseca

Rio de Janeiro

2019

M986i Muse, Larissa Paredes.  
Iluminação Pública no contexto das Cidades Inteligentes:  
matriz multicritério para aplicação do LED e da IoT no Brasil /  
Larissa Paredes Muse. -- Rio de Janeiro, 2019.  
218 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade  
Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Programa de  
Engenharia Urbana, Rio de Janeiro, 2019.

Orientador: José Luis Menegotto.  
Coorientador: Wellington da Silva Fonseca.

1. Iluminação Pública. 2. LED. 3. IoT. 4. Cidades Inteligentes.  
5. Gestão Urbana. I. Menegotto, José Luis, orient. II. Fonseca,  
Wellington da Silva, coorient. III. Título.



UFRJ

ILUMINAÇÃO PÚBLICA NO CONTEXTO DAS CIDADES INTELIGENTES:  
Matriz Multicritério para Aplicação do LED e da IoT no Brasil

Larissa Paredes Muse

Orientador: Prof. Dr. José Luis Menegotto

Coorientador: Prof. Dr. Wellington da Silva Fonseca

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Aprovada pela Banca:

---

Presidente, Prof. José Luís Menegotto, D.Sc., UFRJ

---

Prof. Wellington da Silva Fonseca, D.Sc., UFPA

---

Prof. Armando Carlos de Pina Filho, D.Sc., UFRJ

---

Prof.<sup>a</sup> Helena Câmara Lacé Brandão, D.Sc., UFRJ

Rio de Janeiro

2019

*Dedico este trabalho à minha família e  
ao meu amado esposo Ken Muse*

## AGRADECIMENTOS

*Agradeço primeiramente à Deus e ao Deus que habita em mim, seja qual for sua forma e nome, pela inteligência e força que me deu para enfrentar tamanho desafio. Em segundo lugar, agradeço todo o esforço e dedicação que meus pais Jorge e Lílian Jane Paredes tiveram para me criar e educar, somente por isso tive a oportunidade e o privilégio de entrar na universidade pública, lugar onde ganhei mais do que conhecimentos acadêmicos, mas onde formei minha consciência cidadã e onde adquiri minha responsabilidade por um mundo socialmente justo e ambientalmente sustentável, por isso lhes devo minha vida, bom senso e sucesso.*

*Agradeço à minha irmã Laura Paredes que por muitos anos dividiu comigo as angústias e as alegrias de crescer pessoalmente e evoluir academicamente, não podia ter irmã melhor e admirar academicamente alguém tanto quanto a admiro.*

*Ao meu esposo, parceiro e amigo de todas as horas Kenneth R. Muse por todo amor, carinho, paciência e apoio, especialmente durante a elaboração desse trabalho, que mesmo distante, sofreu junto todas as frustrações e inseguranças pelas quais atravessei durante esse período e que ficou longas horas acordado comigo para que eu não ficasse desamparada enquanto realizava esse trabalho solitário, não há palavras suficientes para lhe agradecer.*

*À minha querida amiga Carol Dias, que há muitos anos me acompanha academicamente e profissionalmente, sua ajuda durante a pesquisa e realização do trabalho através das inúmeras discussões da melhor abordagem do tema foram determinantes para o nível de qualidade deste trabalho e sua amizade e orações durante os momentos de nervosismo me fizeram perseverar e por isso serei eternamente grata.*

*Aos meus colegas do mestrado, especialmente Alice Magalhães (pelo alto astral), Amanda Nogueira (pelas boas energias enviadas), Hugo Vargas (pelos melhores comentários), Iuri Carvalho (pelo bom humor), Mariani Taufner (pelo exemplo de dedicação), Patrícia Hespanhol (meu maior apoio nesses últimos três meses), obrigada pelas maravilhosas discussões e risadas durante esses últimos três anos, foi um prazer e honra enorme dividir essa experiência com vocês.*

*Aos meus mestres, desde pequenina, que me ensinaram desde escrever lá na alfabetização com a professora Andréia, passando pelas técnicas de redação do professor Ivanildo, até os assuntos mais complexos, como as aulas de todos os meus mestres da Faculdade de Arquitetura da UFPA, em especial, as aulas de Conforto Ambiental e Eficiência Energética do professor Irving Franco, e as aulas do Programa de Engenharia Urbana. Todo respeito, admiração e gratidão pelos*

*ensinamentos à todos os professores e professoras que passaram pela minha vida e me guiaram no caminho da educação. Ao meu orientador, professor Menegotto, e ao meu coorientador, professor Wellington, pela paciência e direcionamento durante essa dissertação, minha imensa gratidão.*

*À minha terapeuta, cuja privacidade será preservada, pelo apoio profissional durante o final dessa jornada. E à Cristina Lodi, que me acolheu em seu lar nos últimos meses de trabalho. Por fim, a todos os meus familiares e amigos que sempre torceram por mim e me incentivaram a seguir por esse caminho, o meu muito obrigada.*

*Quanto às pessoas e instituições que colaboraram com a elaboração deste trabalho, gostaria de agradecer imensamente por ordem cronológica:*

- *À Sr.<sup>a</sup> Edith Bayer e Sr. Victor Garcia Tapia, da Agência Internacional de Energia (IEA), e à Sr.<sup>a</sup> Ana Lepure da IEA (México) pelos valiosos dados estatísticos gentilmente cedidos para subsidiar a pesquisa;*
- *Ao Sr. Paulo Dirceu Rosa de Souza, da prefeitura municipal de Guarapuava- PR, pelas informações sobre os projetos de Iluminação Pública do município;*
- *Ao Sr. Vitor Amauri Antunes da SPIn - Soluções Públicas Inteligentes, pelas valiosas dicas e atenção sempre que uma dúvida jurídica surgia e pela doação do seu livro que contribuiu com a pesquisa;*
- *Ao Sr. Marcelo Bruzzi, da BHIP, pela entrevista gentilmente cedida após um evento do setor;*
- *Ao Sr. Claudio Guerreiro da ABNT, por gentilmente ceder o projeto da norma ISO 37122:2019 para fins acadêmicos antes mesmo de ser publicada;*
- *Ao Sr. André Gomide, da Rede Brasileira de Cidades Inteligentes e Humanas (RBCIH), pelo direcionamento dado ao tema de Cidades Inteligentes centralizado nos seres humanos;*
- *Ao Sr. Ricardo Riveira e Sr.<sup>a</sup> Ingrid Teixeira, do BNDES, pelas respostas a algumas dúvidas que surgiram durante a pesquisa em relação ao banco;*
- *À Sr.<sup>a</sup> Ana Lucia Costa e ao Sr. Thales Terrola e Lopes, da Eletrobras, pela colaboração rápida sempre que eu recorri à instituição em busca das estatísticas e informações sobre Eficiência Energética e Iluminação Pública;*

*“A inteligência para criar a cidade  
sustentável é primeiro humana e depois  
tecnológica e não vice-versa”  
Carlos Leite (Urbanista)*



## RESUMO

MUSE, Larissa Paredes. **Iluminação Pública no contexto das Cidades Inteligentes**: matriz multicritério para aplicação do LED e da IoT no Brasil. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2019.

Este trabalho descreve o estado da arte das novas tecnologias aplicáveis à Iluminação Pública e o processo de transformação do setor, destacando o cenário brasileiro. Além disso, faz uma análise qualitativa das tecnologias LED e da IoT considerando os aspectos técnicos, econômicos, socioambientais e regulatórios, baseados nas diretrizes de normas nacionais e internacionais, da legislação brasileira vigente de políticas de incentivo dos bancos de desenvolvimento e agentes governamentais, balizada pelos parâmetros considerados como prioritários de acordo com a literatura e indicadores da ISO 37122:2018. Com isso, após análise de todos os aspectos relativos de cada tecnologia são elencados os principais critérios, as melhores práticas e os possíveis impactos de sua aplicação nas cidades e na sociedade, com o objetivo principal de gerar uma Matriz Multicritério para Auxílio Projetos de Iluminação Pública para ser mais um instrumento de apoio à tomada de decisão dos gestores urbanos, afim de que estes possam avaliar e desenvolver projetos que atendam às necessidades e interesses da população e melhorem a qualidade de vida no espaço construído e visem o desenvolvimento sustentável das cidades.

Palavras-chave: Iluminação Pública; Luminárias LED; Internet das Coisas; Cidades Inteligentes; Gestão Urbana

## ABSTRACT

MUSE, Larissa Paredes. **Iluminação Pública no contexto das Cidades Inteligentes**: matriz multicritério para aplicação do LED e da IoT no Brasil. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2019.

This work describes the state of the art of the new technologies applicable to Public Lighting and the transformation process of the sector highlighting the Brazilian scenario. In addition, it makes a qualitative analysis of LED and IoT technologies, considering the technical, economic, socio-environmental and regulatory aspects, based on the guidelines of national and international standards, current Brazilian legislation, and incentive policies of development banks and government agents, by the parameters considered as priority according to the literature and indicators of ISO 37122:2018. After analyzing all relative aspects of each technology, the main criteria, best practices and possible impacts of its application in cities and in society are identified, with the aim to build a Multicriteria Matrix to aid public lighting projects to be another support instrument to the decision-making of urban managers, so that they can evaluate and develop projects that meet the needs and interests of the population and improve the quality of life in the built space and aim at the sustainable development of cities.

Keywords: Public Lighting; LED Luminaires; Smart Cities; Internet of Things

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Dilatação da pupila em diferentes condições de iluminação .....	32
Figura 2 Alteração do cristalino no processo de focagem.....	32
Figura 3 Ilustração da percepção do contraste.....	32
Figura 4 Representação Gráfica do Fluxo Luminoso.....	35
Figura 5 Representação Gráfica da Iluminância.....	36
Figura 6 Representação do Esterradiano .....	36
Figura 7 Representação Gráfica da Luminância.....	37
Figura 8 Representação de Curva de Distribuição de Intensidade Luminosa em três Planos Ortogonais .....	38
Figura 9 Comparativo entre duas fontes luminosas com diferentes IRCs.....	40
Figura 10 Configuração do Sistema de Iluminação Pública tradicional .....	45
Figura 11 Tipos de lâmpada antes do LED com destaque para as HID .....	46
Figura 12 Exemplos de Luminárias para Iluminação Pública.....	46
Figura 13 Detalhe de uma luminária tradicional e seus componentes .....	47
Figura 14 Sistemas de Controle da Iluminação Pública que utilizam o Relé Fotoelétrico .....	48
Figura 15 Postes e colunas para Iluminação Pública.....	48
Figura 16 Esquema de postes com iluminação nas calçadas e nas caixas de via .....	49
Figura 17 Alcance de uma luminária.....	51
Figura 18 Aberturas de uma luminária .....	51
Figura 19 Tipos de Controle de Distribuição .....	52
Figura 20 Representação esquemática do Fluxo luminoso emitido por uma luminária no meio externo .....	52
Figura 21 <i>Sky Glow</i> sobre a cidade de Seattle nos EUA .....	53
Figura 22 Luz Intrusiva sobre a Fachada de uma Edificação.....	53
Figura 23 Brilho encandeante (Ofuscamento).....	54
Figura 24 Lâmpadas de Descarga de Alta Intensidade HID .....	56
Figura 25 Esquema Estrutural do LED e funcionamento do Chip Semicondutor.....	57
Figura 26 Estrutura Esquemática dos LEDs de potência (1W-5W).....	58
Figura 27 Componentes de uma luminária LED desmembrados e detalhamento do LED COB .....	58
Figura 28 Esquema dos componentes das lâmpadas LED tipo bulbo. ....	59
Figura 29 Lâmpadas LED para substituição das lâmpadas HID para aplicação em ambientes externos.....	60
Figura 30 Drivers para LED .....	60

Figura 31 Placas LED PCB e lentes ópticas para módulos .....	61
Figura 32 Esquema de montagem do módulo LED no dissipador térmico e dissipador enclausurado .....	61
Figura 33 Módulos de LED para <i>retrofit</i> de Luminárias em ambientes externos .....	62
Figura 34 Módulos de LED independentes com e sem <i>driver</i> para aplicação em ambientes externos.....	62
Figura 35 Módulos de LED independentes agrupados em estrutura modular .....	63
Figura 36 Esquema dos componentes das luminárias LED para Iluminação de ambientes externos.....	63
Figura 37 Luminárias com LED embutidos .....	64
Figura 38 Luminárias com módulos de LED .....	64
Figura 39 Estações do Ano.....	73
Figura 40 Componentes de um sistema de telegestão .....	77
Figura 41 Internet das Coisas: Plataforma de sistemas inteligentes.....	81
Figura 42 Conjunto completo de indicadores para Cidades Inteligentes .....	82
Figura 43 Convergência das Visões da Internet das Coisas .....	90
Figura 44 Sistema básico IoT .....	93
Figura 45 Visão geral técnica da IoT.....	94
Figura 46 Tipos de dispositivos e sua relação com coisas físicas .....	95
Figura 47 Configuração Básica dos Dispositivos IoT.....	95
Figura 48 Esquema de Base e Módulo de Dispositivos IoT .....	96
Figura 49 Placa base de Arduino Uno WiFi REV2, Raspberry Pi 3 e ESP32-DevKit .....	96
Figura 50 Módulos ESP32 WROOM Series .....	97
Figura 51 Diagrama para monitoramento de Umidade e Temperatura com Arduino.....	97
Figura 52 Internet de Todas as Coisas (IoE – sigla em inglês) .....	99
Figura 53 Tipos de Dados.....	100
Figura 54 Computação na Nuvem .....	103
Figura 55 Processamento de dados na nuvem .....	104
Figura 56 Exemplo de uma <i>Dashboard</i> para Cidades Inteligentes .....	104
Figura 57 Exemplo de uma <i>Dashboard</i> com uso de GIS .....	105
Figura 58 Exemplo de uma <i>Dashboard</i> para monitoramento da segurança no tráfego .....	105
Figura 59 Proposta de um modelo semântico para IoT (IoT-Lite).....	109
Figura 60 Modelo de referência de IoT de acordo com ITU.....	110
Figura 61 Principais camadas tecnológicas definidas pela ITU .....	110
Figura 62 Aspectos tecnológicos e sociais relacionados à IoT .....	111

Figura 63 Modelos de referência da ISO/IEC 30141:2018 baseados nas Entidade (azul) e nos Domínios (rosa) .....	113
Figura 64 Matriz de aplicações: necessidades da sociedade versus segmentos de mercado..	117
Figura 65 Áreas de Aplicações e Estrutura da IoT .....	118
Figura 66 Exemplos de aplicações da Internet das Coisas na Vertical Cidades.....	121
Figura 67 Representação de um Sistema de Iluminação Pública Inteligente com a utilização de Nuvem. ....	124
Figura 68 Iluminação pública inteligente - Visão sistêmica da solução.....	125
Figura 69 Exemplo de luminária com câmera embutida.....	129
Figura 70 Exemplo de luminária e poste de iluminação com Dispositivos e Gateways IOT embutidos .....	129
Figura 71 Formas de interoperabilidade nas Cidades Inteligentes .....	130
Figura 72 Representação de um Sistema de Iluminação Pública para Cidades Inteligentes..	133
Figura 73 Etiqueta Nacional de Conservação de Energia - ENCE das luminárias para Iluminação Pública viária .....	203
Figura 74 Selo PROCEL .....	205

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 Relação do IRC, Eficiência e Tempo de Vida.....	66
Tabela 2 Eficácia fotóptica e escotópica .....	68
Tabela 3 Miniaturização dos componentes de circuitos integrados .....	86
Tabela 4 Transferência dos ativos de Iluminação Pública – Municípios não regularizados..	138
Tabela 5 Tipos Lâmpadas empregadas na Iluminação Pública no Brasil até 2008.....	138
Tabela 6 Comparação dos tipos de lâmpada e luminárias para Iluminação Pública com base no custo e desempenho .....	142
Tabela 7 Caracterização das informações prestadas pelas distribuidoras de energia aos municípios .....	143
Tabela 8 Arrecadação da COSIP nos municípios por faixa populacional.....	144
Tabela 9 As 10 maiores arrecadações de COSIP - 2016 .....	144
Tabela 10 Eficiência Energética para Luminárias com Tecnologia LED .....	203
Tabela 11 luminárias LED certificadas pelo INMETRO .....	206

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 Aparência de um mesmo espaço com fontes luminosas de temperatura de cor diferentes .....	38
Quadro 2 Tipos de Encapsulamento e Potência unitária dos LEDs .....	57
Quadro 3 Comparativo entre as Lâmpadas para Iluminação Pública conforme suas Características e Aplicações .....	65
Quadro 4 Horários do Amanhecer e Anoitecer na cidade do Rio de Janeiro (Ano 2019) .....	74
Quadro 5 Exemplos de tecnologias de comunicação de baixa potência .....	98
Quadro 6 Características dos sistemas IoT segundo a ISO/IEC 30141:2018 .....	114
Quadro 7 Matriz de Critérios da adoção do LED na Iluminação Pública. ....	171
Quadro 8 Matriz de Critérios da adoção da IoT na Iluminação Pública. ....	172
Quadro 9 Matriz de Critérios para Adoção da IoT para Gerenciamento Remoto da Iluminação Pública. ....	173
Quadro 10 Matriz de Critérios para Adoção da IoT para Gestão Urbana Integrada. ....	174
Quadro 11 Matriz Multicritério para Projetos de Iluminação Pública Inteligente. ....	175
Quadro 12 Normas Técnicas relativas à Iluminação Pública e ao LED.....	201

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Representação do espectro eletromagnético e do espectro visível .....	31
Gráfico 2 Sensibilidade espectral do olho humano para um observador fotóptico padrão .....	33
Gráfico 3 Curva de sensibilidade do olho humano de acordo com a condição de luminosidade .....	34
Gráfico 4 Tipos de Condição de Visão e dos Fotorreceptores em função das Gamas de Luminância .....	34
Gráfico 5 Representação da Curva de Distribuição Luminosa com Simetria inscrita no Diagrama Polar .....	37
Gráfico 6 Temperaturas de Cor Correlatas plotadas no Diagrama de Cromaticidade da CIE ..	39
Gráfico 7 Distribuição de Energia Espectral de algumas fontes de luz.....	40
Gráfico 8 Tempo de vida útil (L70) e médio (B50) .....	42
Gráfico 9 Distribuição de Energia Espectral (SPD) do LED para diferentes TCCs .....	59
Gráfico 10 Eficiência luminosa das fontes de luz e das luminárias .....	66
Gráfico 11 Horários de funcionamento baseados nas estações do ano para a posição geográfica do Rio de Janeiro .....	74

Gráfico 12 Exemplo de funcionamento de um Regulador de Fluxo ao longo do período noturno.....	75
Gráfico 13 Número de transistores em Chips de Circuitos Integrados (1971-2016) .....	88
Gráfico 14 Fornecimento de armazenamento e crescimento da demanda .....	101
Gráfico 15 Crescimento dos dados estruturados e não-estruturados.....	102
Gráfico 16 <i>Roadmap</i> tecnológico da Internet das Coisas.....	116
Gráfico 17 Eficiência Luminosa em função da Potência das Luminárias de IP certificadas pelo INMETRO .....	141
Gráfico 18 Evolução da taxa de urbanização no Brasil.....	146

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>18</b>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO .....	19
1.2	JUSTIFICATIVA .....	25
1.3	OBJETIVO GERAL.....	26
1.4	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	26
1.5	METODOLOGIA.....	27
1.6	DELIMITAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO.....	28
1.7	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	28
<b>2</b>	<b>ILUMINAÇÃO PÚBLICA .....</b>	<b>30</b>
2.1	FUNDAMENTOS DA ILUMINAÇÃO .....	30
2.1.1	Propriedades Físicas e Percepção Humana da Luz .....	30
2.1.2	Características e Grandezas Fotométricas da Iluminação Artificial.....	35
2.1.3	Características Cromáticas da Luz .....	38
2.1.4	Crítérios de Desempenho das Fontes de Luz.....	41
2.1.5	Crítérios de Desempenho dos Sistemas de Iluminação .....	43
2.2	O SISTEMA DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA .....	45
2.2.1	Tipos de Lâmpada .....	45
2.2.2	Luminárias .....	46
2.2.3	Componentes Elétricos e Eletrônicos .....	47
2.2.4	Sistemas de Controle .....	47
2.2.5	Componentes de Sustentação .....	48
2.3	REQUISITOS BÁSICOS PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA E SEUS EFEITOS NO AMBIENTE URBANO.....	49
2.3.1	Visibilidade.....	49
2.3.2	Uniformidade.....	50
2.3.3	Distribuição espacial da luz.....	50
2.3.4	Poluição Luminosa .....	52
<b>3</b>	<b>EVOLUÇÃO DAS TECNOLOGIAS PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA .....</b>	<b>56</b>
3.1	LÂMPADAS E LUMINÁRIAS DE LED .....	56
3.1.1	Lâmpadas LED .....	59



3.1.2	Dispositivo de controle e alimentação (driver).....	60
3.1.3	Módulos de LED para ambientes externos.....	61
3.1.4	Luminárias de LED .....	63
3.1.5	Adaptabilidade e Controlabilidade do LED .....	64
3.1.6	Comparativo entre as lâmpadas para Iluminação Pública.....	65
3.1.7	Efetividade Visual do fluxo luminoso .....	67
3.2	<b>ANÁLISE DOS IMPACTOS DO LED NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA.....</b>	<b>68</b>
3.2.1	Segurança Cidadã – violência urbana.....	69
3.2.2	Saúde Humana.....	70
3.2.3	Sensação de conforto visual, segurança e bem-estar.....	71
3.3	<b>TECNOLOGIAS DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA.....</b>	<b>73</b>
3.3.1	Tecnologias de Regulação de Fluxo.....	74
3.3.2	Sistemas de Telegestão.....	76
<b>4</b>	<b>A INTERNET DAS COISAS NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA PARA CIDADES INTELIGENTES.....</b>	<b>79</b>
4.1	<b>CIDADES INTELIGENTES E A ILUMINAÇÃO PÚBLICA .....</b>	<b>79</b>
4.1.1	Normas para o Desenvolvimento Sustentável em Comunidades e Cidades Inteligentes 82	
4.1.2	Indicadores sobre Iluminação Pública na ISO 37122:2019 .....	84
4.2	<b>FUNDAMENTOS DA INTERNET DAS COISAS .....</b>	<b>86</b>
4.2.1	Definições de IoT .....	89
4.2.2	Elementos da IoT.....	91
4.2.3	Modelos de Referência da IoT.....	109
4.2.4	Características dos Sistemas IoT .....	114
4.2.5	Áreas de Aplicações da IoT.....	115
4.3	<b>INTERNET DAS COISAS APLICADA À ILUMINAÇÃO PÚBLICA .....</b>	<b>122</b>
4.3.1	Iluminação Pública Inteligente .....	123
4.3.2	Gestão Urbana Integrada Utilizando a Infraestrutura de Iluminação Pública.....	128
4.3.3	Requisitos técnicos para aplicação da IoT na Iluminação Pública.....	134
4.3.4	Possíveis impactos da implantação da IoT na Iluminação Pública na sociedade.....	134
4.3.5	Aspectos Regulatórios para utilização da IoT na esfera urbana.....	135

<b>5</b>	<b>A ADOÇÃO DO LED E DA IOT NO BRASIL.....</b>	<b>137</b>
5.1	O CENÁRIO BRASILEIRO .....	137
5.1.1	Ações para adoção do LED na Iluminação Pública no Brasil.....	139
5.1.2	Sistemas para Gerenciamento Remoto da Iluminação Pública no Brasil.....	142
<b>5.1.3</b>	<b>IoT e soluções de Cidades Inteligentes na infraestrutura de Iluminação Pública no Brasil.....</b>	<b>146</b>
5.1.4	As Parcerias Público-Privadas para Iluminação Pública e Cidades Inteligentes no Brasil	148
5.1.5	Atualizações recentes no âmbito regulatório brasileiro sobre a IoT .....	152
5.2	ANÁLISE QUALITATIVA DAS TECNOLOGIAS PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA NO BRASIL .....	152
5.2.1	Critérios para uso do LED na Iluminação Pública no Brasil.....	154
5.2.2	Critérios mútuos do Sistema IoT para Iluminação Pública no Brasil .....	161
5.2.3	Critérios para Soluções IoT para Gerenciamento Remoto de Iluminação Pública no Brasil	164
5.2.4	Critérios para Soluções IoT para Gestão Urbana Integrada na infraestrutura de Iluminação Pública no Brasil.....	166
<b>6</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>170</b>
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>176</b>
7.1	CONTRIBUIÇÕES .....	178
7.2	INDICAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS .....	178
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>180</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o termo ‘Cidades Inteligentes’ vem ocupando espaço mundialmente e se tornou uma das mais fortes tendências da sociedade contemporânea. Elas são objeto de curiosidade e fascínio para os diversos intervenientes urbanos. Segundo Dustdar, Nastić e Šćekić (2017, p. 3), “a Cidade Inteligente de hoje pode, talvez, ser melhor descrita como uma metodologia de desenvolvimento urbano fortemente dependente das TICs<sup>1</sup> para coletar as informações necessárias e tomar as melhores decisões de planejamento e engenharia”.

Por um lado, a complexidade dos problemas gerados pela urbanização intensa exige outras formas de gerir o território urbano, já que as inúmeras demandas da cidade são difíceis de serem equacionadas pelos seres humanos em tempo de dar uma solução imediata efetiva e ainda avaliar os seus efeitos no futuro. Por outro, a evolução da internet para a era da hiperconectividade possibilitou que diversos objetos, conectados à internet adquirissem a capacidade de captar, processar e transmitir dados, e através destes atuar sobre si e interagir entre si. Esse fenômeno ficou conhecido como Internet das Coisas (IoT, sigla em inglês), sendo um dos elementos característicos da Quarta Revolução Industrial, também chamada Indústria 4.0 (SCHWAB, 2016).

Nessa conjuntura, a Iluminação Pública desponta mundialmente como uma das principais áreas de aplicação da IoT no meio urbano. O desenvolvimento das luminárias de Diodo Emissor de Luz (LED, sigla em inglês) de alta potência para áreas externas possui um papel importante na aplicação da IoT na iluminação devido sua compatibilidade aos dispositivos computacionais (microeletrônica) e sua enorme adaptabilidade (DOE, 2017), possibilitando ativar funcionalidades inovadoras. Além disso, através da Iluminação Pública, diversos projetos de Cidades Inteligentes têm se tornado realidade devido as condições favoráveis à sua implantação. O sistema de Iluminação Pública possui infraestrutura privilegiada – munida de fonte de energia constante, espalhadas por todo o território urbano e localizada no alto dos postes – o que possibilita abrigar dispositivos IoT para monitoramento das cidades.

As principais razões para que as cidades adotem as luminárias em LED no meio urbano são: diminuir os o desperdício de energia elétrica; melhorar a qualidade da visibilidade nas vias e ambiência nos espaços públicos urbanos; otimizar a utilização dos recursos municipais para este fim. Enquanto que os principais motivos para aplicação da IoT à infraestrutura de Iluminação Pública seria, não somente de aumentar a eficácia no gerenciamento e controle do

---

<sup>1</sup> Tecnologias da Informação e Comunicação

próprio serviço de Iluminação Pública, mas também da infraestrutura urbana como um todo, podendo contribuir para o aumento da sua resiliência e responsividade. Aplicadas em conjunto, as duas tecnologias trazem uma série de benefícios e oportunidades para as cidades.

Ao passo que essa tendência de implantação da IoT e do LED na Iluminação Pública e no meio urbano se mostra cada vez mais concreta, a despeito de oferecer múltiplos benefícios às cidades, também pode acarretar alguns riscos e desafios. Entre os riscos estão a exposição das cidades aos ataques cibernéticos e falhas nos sistemas automatizados, podendo ocasionar prejuízos à segurança cidadã, aos direitos à privacidade dos dados e acesso aos serviços públicos essenciais. Entre os desafios estão a capacidade técnica das cidades para lidar com essas novas tecnologias, o custo elevado e a falta de regulação e normas técnicas para sua adoção (BNDES, 2017).

Nesse cenário, tornou-se fundamental que os gestores urbanos tenham instrumentos para avaliar a aplicabilidade do LED e da Internet das Coisas na Iluminação Pública da melhor forma possível, garantindo sobretudo o interesse da população e a qualidade técnica. Dada a complexidade e contemporaneidade do tema, neste trabalho foi feito um estudo exploratório e descritivo do estado da arte dessas tecnologias e do processo de transformação do setor com ênfase no cenário brasileiro. Em seguida, foi feita uma análise qualitativa de sua implementação na infraestrutura de Iluminação Pública no Brasil considerando os aspectos técnico-normativos, econômicos, ambientais, sociais e regulatórios. Como resultado, foi elaborada uma Matriz Multicritério para aplicação do LED e da IoT em projetos de modernização da Iluminação Pública, síntese do trabalho.

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Ao redor do mundo as tecnologias disponíveis para Iluminação Pública passaram por profundas transformações e avanços nas últimas décadas. O desenvolvimento do LED de alta potência para fins de uso industrial e para Iluminação Pública foi uma importante inovação para o setor da Iluminação. O LED, que inicialmente fora criado para atender a indústria de computadores e possuía baixas potências e níveis de iluminação, evoluiu e atualmente atinge níveis de potência e luminosidade altos. O LED passa então além de atender tanto o mercado residencial e comercial, através das lâmpadas de bulbo e tubulares em substituição às tradicionais incandescentes e fluorescentes, quanto o mercado industrial e da Iluminação Pública, com as lâmpadas e luminárias de LED de alta potência em substituição às lâmpadas

de Descarga de Alta Intensidade (HID, sigla em inglês) – mais comumente utilizadas para esses últimos fins (TEIXEIRA, RIVERA e REIFF, 2016).

As Lâmpadas HID foram superadas ao redor do mundo em termos de eficiência luminosa e vida útil pela tecnologia LED, uma das tecnologias *Solid State Lighting* – SSL<sup>2</sup> que produz luz visível em material em estado sólido por meio de eletroluminescência. Para este trabalho, será considerado apenas o LED e nenhuma outra SSL.

Nos últimos anos, os avanços tecnológicos alcançados por parte das empresas multinacionais fabricantes de LED mostra que a indústria está cada vez mais competitiva. Com isso, alcança-se níveis de eficiência luminosa (Lúmenes/Watt) cada vez maiores, diminuindo os custos de produção e aquisição. A extensa vida útil do LED diminui os custos de manutenção e substituição. Isto aumenta ainda mais o custo-benefício do LED frente às outras tecnologias e diminuindo o consumo de energia das cidades que adotam este tipo de lâmpada (ASCURRA, 2013), (TEIXEIRA, RIVERA e REIFF, 2016)

Na Iluminação Pública, as luminárias LED oferecem às cidades uma alternativa frente a necessidade de adotar soluções energeticamente eficientes, que gerem economia de recursos públicos. Por se tratar de um serviço essencial para as cidades, a Iluminação Pública deve ter como objetivo ser eficiente e seus gestores devem garantir a apropriada gestão dos recursos públicos objetivando a sua sustentabilidade econômica e interesse dos cidadãos.

Os processos de conversão para LED ainda causam muita divergência ao redor do mundo. Alguns estudos mostram que os fluxos luminosos requeridos para outras lâmpadas podem diferir dos que o LED oferece (SWANSON e CARLSON, 2012). Além disso, pesquisadores de vários países investigam os efeitos do LED para Iluminação Pública na saúde humana (AMA, 2016) (STEVENS, BRAINARD, *et al.*, 2013) e no conforto ambiental por conta de sua Distribuição de Energia Espectral (SPD, sigla em inglês). Outros grupos de pesquisadores alertam para o impacto no meio ambiente e a poluição luminosa refletida no céu (IDA, 2010).

O LED possui uma ampla gama de Temperatura de Cor Correlata (TCC) e cada vez melhores Índices de Reprodução de Cor (IRC), o que traz maiores possibilidades de aplicação na Iluminação Pública já que essas duas características podem otimizar a percepção visual dos habitantes da cidade. A evolução da Tecnologia LED também habilitou uma maior

---

<sup>2</sup> A SSL é assim denominada devido ao fato de que na luz é emitida por um objeto sólido através de uma corrente elétrica que reaja à tensão aplicada para que brilhe (SILVA, 2013).

possibilidade de cenários numa única luminária, por exemplo, a dimerização<sup>3</sup> e a ajustabilidade de Temperatura de Cor Correlata<sup>4</sup> conferem maior flexibilidade de usos e outros cenários e ambiências.

Todas estas questões devem ser consideradas pelos tomadores de decisão nos projetos de Conversão de Iluminação Pública para LED. Entretanto, apenas a substituição por Luminárias de LED não significa que se atingiu o potencial máximo para economia de energia pela Iluminação Pública. Dispositivos que atuam no controle de luminosidade evoluíram junto com o LED e reúnem cada vez mais funcionalidades, não apenas relacionadas à economia de energia, mas também ao controle do consumo e identificação de falhas (TEIXEIRA, RIVERA e REIFF, 2016).

Diversos tipos de sensores, controles e outros dispositivos podem ser utilizados para controlar o sistema de Iluminação Pública. Os dispositivos mais utilizados até hoje são os relés fotoelétricos, pelo qual os níveis de iluminação natural determinam quando as lâmpadas serão ativadas ou desativadas nesse sistema. Tipicamente, esses dispositivos são localizados em cada luminária ou sequência de postes, ou seja, há um controle local dos períodos de funcionamento do sistema (PINTO, 2013).

O controle da Iluminação Pública de forma remota e centralizada têm se desenvolvido nos últimos anos. A Telemetria tornou-se uma das formas mais eficazes de monitoramento e controle dos parques de Iluminação Pública, conferindo maior precisão nas medições de consumo de energia e identificação de falhas no seu sistema (PINTO, 2013). Isto confere maior controle dos equipamentos e dos gastos com energia elétrica pelas concessionárias de energia elétrica, que fornecem energia para o sistema e pelas prefeituras, que gerenciam o esse serviço (PINTO, 2013). Antes da Telemetria, o sistema de Iluminação Pública dependia do monitoramento do consumo baseado em estimativas e da fiscalização baseada na observação humana através de rondas programadas ou através da participação cidadã através de centrais de atendimento das prefeituras ou concessionárias de energia elétrica.

Além disso, esses sistemas de monitoramento e controle remoto também atuam no acionamento e desligamento e controle da tensão elétrica que atuam nos níveis de luminosidade das luminárias. No caso das lâmpadas HID, esse processo pode conter atrasos e menor controle

---

<sup>3</sup> Redução gradual e controlada do nível de iluminância através de equipamentos pré-programados ou com gerenciamento remoto (CEMIG, 2012)

<sup>4</sup> A ajustabilidade da Temperatura de Cor Correlata nas lâmpadas, cuja tradução em inglês é *Color-Tunable Lamps*, está relacionada à a capacidade de fornecer cores variadas de luz numa mesma lâmpada. (DOE, 2016)

(EDP, 2016), já que a dimerização e ajustabilidade de TCC é limitada nessa tecnologia. Nesse contexto, o LED por conta de sua controlabilidade desponta como a tecnologia mais suscetível a serem controlados por esses sistemas de controle remoto. Estas funcionalidades só são possíveis se os equipamentos de controle forem configurados para atuar na fonte de luz e esta, por sua vez, for habilitada à atuação desses equipamentos (PINTO, 2013).

Observou-se neste potencial de adaptação do LED aos equipamentos para controle da Iluminação Pública, que ao serem aplicados em conjunto pode acarretar numa maior economia de energia de acordo com as condições do ambiente. Esses sistemas de controle, em conjunto com o LED pode ajustar da temperatura de cor e níveis de luminosidade de acordo com parâmetros temporais e espaciais para atender as necessidades da população, o que pode alterar positivamente ou negativamente o impacto da luz artificial nos seres humanos e no meio ambiente. Por exemplo, nos horários que se tem mais atividade nas ruas, tanto os níveis de luminosidade quanto a temperatura de cor podem estar mais altos, enquanto que durante a madrugada esses níveis e espectro de luz podem ser mais ameno, reduzindo os efeitos da luz intensa e branco-azulada nos seres humanos e no meio ambiente.

Sob o ponto de vista quantitativo, a dimerização da lâmpada pode evitar um consumo de energia desnecessário. Na escala da cidade, essa redução no consumo pode representar uma grande economia para o município. Por outro lado, qualitativamente, os níveis de luminosidade podem impactar diretamente na sensação de segurança e conforto dos habitantes. No entanto, as alterações nos níveis de luminosidade e potência das lâmpadas devem ser suficientes para garantir o conforto humano e realização das atividades, e principalmente estar em conformidade com as normas e leis e garantia da segurança urbana.

Essas novas tecnologias de monitoramento e controle remoto da Iluminação são contemporâneas e alguns autores afirmam que também fazem parte da recente revolução tecnológica dos objetos conectados: a Internet das Coisas.

Com o avanço das Tecnologias de Informação e Comunicação, qualquer objeto pode agregar dispositivos com capacidade de captar, transmitir e processar dados mediante uma rede interconectada e, a partir da análise automatizada desses dados podem ativar comandos que alterem determinados recursos do objeto. A IoT é uma tecnologia que está se desenvolvendo no Brasil e no mundo, e já uma realidade em diversos setores da sociedade, como no comércio, na indústria, nas empresas, na mobilidade, nas cidades, na energia (VERMESAN e FRIESS, 2013) (BNDES, 2017).

A IoT fornece soluções baseadas na integração de tecnologia da informação para criar novas aplicações e serviços que atinjam objetivos em comum para a criação de ambientes inteligentes (MAGRANI, 2018). Aplicada à Iluminação Pública, a IoT possibilita que as luminárias se adaptem à diversas situações através de recursos que mudem suas características de acordo com comandos predeterminados e dinâmicos. Tais recursos podem ou não estar relacionados diretamente com a função original do objeto. No caso da Iluminação Pública, por exemplo, um equipamento qualquer pode estar capturando dados climáticos do ambiente, mas não necessariamente atuando na luminária em si.

Os dispositivos IoT acoplados ao sistema de Iluminação Pública podem agregar funcionalidades que não apenas atuem nas luminárias, mas também possam ser úteis para outros sistemas urbanos através do aproveitamento da infraestrutura de Iluminação Pública para aquisição de dados diversos e geração de indicadores urbanos mais rapidamente e distribuída pelo território urbano, contribuindo para uma gestão urbana mais integrada (FGV, 2015)-

Esses dispositivos podem coletar dados que podem ser utilizados de diversas formas por quem os detém, inclusive podem adquirir valor econômico dependendo do conteúdo das informações capturadas ou do nível de estruturação desses. Para o gestor urbano, os dados podem não somente facilitar a operação dos diversos sistemas urbanos individualmente, mas também gerar indicadores da dinâmica da cidade de forma global – para serem interpretados por cada sistema urbano, bem como direcionar a tomada de decisões da aplicação dos recursos públicos (FGV, 2015)-

Nesse contexto, tanto a indústria da iluminação quanto as cidades perceberam o potencial para a utilização em conjunto do LED e da IoT no processo de modernização dos parques de Iluminação Pública. Estas duas soluções em conjunto podem gerar múltiplos benefícios para as cidades, como a eficiência energética e operacional, melhoramento da ambiência urbana e a segurança cidadã, além da possibilidade de aperfeiçoamento da gestão urbana-(FGV, 2015), (BNDES, 2017). Segundo Antunes (2017), o LED possibilitou que a Iluminação Pública permitisse novos arranjos em sua infraestrutura e novas funcionalidades fossem atribuídas a esse serviço público urbano. Além disso, a IoT aplicada à infraestrutura de Iluminação Pública cria uma rede paralela de transmissão de dados que pode ser aproveitada para incorporar outros dispositivos para auxiliar na gestão urbana e consequentemente otimizar a utilização dos recursos.

No caso das Cidades Inteligentes, essas tecnologias podem otimizar a o fornecimento dos serviços urbanos através da análise em tempo real dos dados coletados pelos sensores



conectados para os diversos espaços do território urbano, por exemplo, através dos Centros de Controle e Monitoramento (FGV, 2015). Com esses dispositivos conectados espalhados pelas cidades, é possível diagnosticar as mais diversas situações atípicas e cenários crônicos no cotidiano das cidades, aumentando a Responsividade<sup>5</sup> do poder público para proteção da população e proteção do meio ambiente, e aumentando sua Resiliência<sup>6</sup> diante das situações críticas e emergências que possam atingi-la.

Com o surgimento de novos produtos, serviços e plataformas, novos modelos de negócio também se desenvolvem ou se adaptaram para dar suporte às mais diversas aplicações da IoT. A indústria de iluminação também adaptou seus modelos de negócios para atender às novas tendências e expectativas do mercado, oferecendo serviços inovadores, como, por exemplo, a iluminação como um serviço (LAAS – sigla em inglês). Além disso, novas formas de gestão da Iluminação Pública como as Parcerias Público-Privadas (PPPs) se tornaram uma tendência mundialmente. Contudo essas novas tecnologias e modelos de negócio para Iluminação Pública esbarram em diversas limitações regulatórias, financeiras e técnicas.

Algumas cidades brasileiras não somente buscam se adaptar às tendências para a adoção do LED e da IoT para modernização de seus parques de Iluminação Pública, mas também já caminham para utilizar a Internet das Coisas para soluções de Cidades Inteligentes. Do mesmo modo, as instituições brasileiras tanto do setor público quanto do setor privado têm se mobilizado para criar regras e instrumentos regulatórios para essas tecnologias e para os modelos de negócio requeridos para sua implantação no país.

O grande motivo para essa transformação do setor no Brasil se deu após a transferência da responsabilidade da Iluminação Pública para os municípios através da Resolução Normativa nº 414 da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (2010) e posteriores alterações (ANEEL, 2012) (ANEEL, 2013). Segundo Antunes (2017), com a municipalização da Iluminação Pública, a tendência pelas PPPs tem crescido no setor.

Diante desse cenário e das fortes tendências do setor no país, o propósito deste trabalho é facilitar a compreensão dessas duas tecnologias de forma abrangente e entender seus benefícios e desafios, riscos e oportunidades. O intuito deste trabalho é contribuir na tomada de decisão

---

<sup>5</sup> Está relacionada as ações e respostas que combatam os riscos e as vulnerabilidades urbanas e também ao tempo de resposta às solicitações da população pelo poder público. (GOLDSMITH e CRANFORD, 2014)

<sup>6</sup> A Resiliência Urbana é definida pela Iniciativa 100 *Resilient Cities* da Fundação Rockefeller como “a capacidade de indivíduos, comunidades, instituições, empresas e sistemas dentro de uma cidade sobreviverem, se adaptarem e crescerem, não importando que tipo de estresse crônico e choque agudo experimentem” (100 RESILIENT CITIES).

dos diversos intervenientes da estruturação das cidades, sobretudo dos gestores e planejadores urbanos, afim de que estes possam avaliar e desenvolver projetos de modernização do serviço de Iluminação Pública no contexto das Cidades Inteligentes da melhor forma possível e adequada à realidade do Brasil.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Uma das principais motivações deste trabalho reside no fato de que o tema – a aplicação do LED e da IoT na Iluminação Pública – ainda é muito recente no Brasil. Nesse sentido, alinhado aos objetivos do Programa de Engenharia Urbana da Escola Politécnica da UFRJ (PEU-Poli-UFRJ) e ao papel da universidade pública, gratuita e de qualidade, este trabalho está comprometido com a investigação dos processos que envolvem a inovação tecnológica e sua influência na sociedade e no território urbano.

Apesar do LED já ter se consolidado mundialmente como alternativa viável para a Iluminação Pública e da IoT estar ganhando cada vez mais espaço no setor, no Brasil as iniciativas e experiências de aplicação dessas tecnologias em conjunto são pontuais e as publicações sobre o assunto escassas. Com isso, este estudo ganha importância, especialmente com o desenvolvimento de uma ferramenta de apoio para tomada de decisão a respeito dessas tecnologias: a Matriz Multicritério para aplicação do LED e da IoT, resultado da análise dos principais aspectos relativos ao tema.

De acordo com o BNDES (2017), um dos maiores desafios à modernização da Iluminação Pública nos municípios brasileiros reside na escassez de agentes públicos com arcabouço teórico atualizado para determinar as melhores formas de adoção das novas tecnologias (LED e Internet das Coisas) no seu território, especialmente em relação à IoT. Além disso, as terminologias utilizadas pelos profissionais da TIC são muito específicas, por isso, neste trabalho também se busca contribuir no sentido de simplificar o entendimento dos conceitos relativos à IoT.

Ao reunir num só documento as principais informações pertinentes à aplicação específica da IoT na Iluminação Pública e sua infraestrutura, espera-se colaborar para que os tomadores de decisão não se baseiem apenas nas informações fornecidas pelas empresas do setor que buscam estabelecer seus produtos e soluções através de projetos pilotos, conforme se tem observado na experiência brasileira e no mundo (BNDES, 2017).

Sob o ponto de vista legislativo, os intervenientes dos projetos de modernização da

Iluminação Pública têm se movimentado no sentido de atualizar os aspectos técnico-normativos e regulatórios do setor. Observa-se uma influência forte da indústria na flexibilização das leis relativas à essas tecnologias. Por um lado, elas permitem que mais projetos sejam desenvolvidos. Por outro, essas leis, se não bem elaboradas, podem permitir práticas adversas ao interesse público.

Para combater essa influência, é importante que a legislação e a opção pelo uso das tecnologias sejam feitas de acordo com os interesses da coletividade e de maneira informada e desatrelada dos interesses do mercado. Nesse sentido, essa pesquisa se fundamenta no maior número de fontes possíveis e confiáveis, sem direcionamento para soluções de empresas, tecnologias ou modelos de negócio. A busca pela identificação imparcial dos critérios envolvidos na adoção das tecnologias acopladas à Iluminação Pública e avaliação das suas consequências justifica o desenvolvimento deste trabalho.

Através da análise desses critérios, o gestor público poderá se nortear não somente através da análise de viabilidade técnica e financeira – critérios quantitativos de tomada de decisão, mas também dos critérios qualitativos que são a maior contribuição deste trabalho. Além disso, este trabalho visa auxiliar na instrumentação a comunidade acadêmica da área de planejamento, gestão e governança urbana a dar suporte aos intervenientes envolvidos em projetos urbanos de Iluminação Pública. Portanto, os objetivos e metas do trabalho foram traçados e serão apresentados a seguir.

### 1.3 OBJETIVO GERAL

Elaborar uma Matriz Multicritério com os principais critérios para aplicação do LED e da IoT na infraestrutura de Iluminação Pública no contexto das Cidades Inteligentes, a partir da identificação das possíveis implicações e potencialidades da implantação dessas tecnologias no Brasil, considerando os aspectos técnico-normativos, econômicos, sociais, ambientais e regulatórios.

### 1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Apresentar o Estado da Arte da Iluminação Pública e das tecnologias LED e IoT aplicada a essa infraestrutura;
- b) Descrever o processo de transformação do setor de Iluminação Pública no Brasil e as

principais tendências, iniciativas e políticas de incentivo relativas a adoção do LED e da IoT;

- c) Analisar qualitativamente as tecnologias estudadas de acordo com seus aspectos técnico-normativos, econômicos, sociais, ambientais e regulatórios;
- d) Identificar as principais implicações e potencialidades da adoção do LED e da IoT na infraestrutura de Iluminação Pública, com ênfase no cenário brasileiro;
- e) Demonstrar como a utilização do LED e da IoT na infraestrutura de Iluminação Pública pode contribuir para a conformação de Cidades Inteligentes;
- f) Desenvolver uma ferramenta para análise qualitativa na forma de uma Matriz Multicritério para aplicação do LED e da IoT nos projetos de modernização da Iluminação Pública.

## 1.5 METODOLOGIA

Neste trabalho, primeiramente foi feito um estudo exploratório e descritivo do estado da arte da Iluminação Pública, no âmbito dos avanços e limitações tecnológicas no setor, especificamente o LED e a Internet das Coisas e do processo de transformação do setor de Iluminação Pública e Gestão Urbana com ênfase no cenário brasileiro. Em seguida, foi feita uma análise qualitativa dos impactos da adoção dessas duas tecnologias na infraestrutura de Iluminação Pública no contexto das Cidades Inteligentes, de acordo com parâmetros (balizadores) de cada aspecto envolvido na tomada de decisão. São eles:

- **Aspectos sociais** (compreendem os parâmetros que impactam na): segurança, conforto e bem-estar, cultura e preferências dos cidadãos; saúde, integridade e direitos dos seres humanos; interesse público e participação cidadã;
- **Aspectos econômicos**: custo, preço, investimento, orçamento; economia de energia; tempo de operação e prazo de substituição e manutenção; mão de obra e treinamento;
- **Aspectos ambientais**: o ciclo de vida dos componentes do sistema, poluição; descarte e reciclagem, impacto ambiental; necessidade de geração de energia; controle de gases de efeito estufa;
- **Aspectos regulatórios**: legislação, formas de implantação de tecnologias e modelos de negócio, tempo de atualização das regras; proteção de direitos e limites de aplicação dos recursos públicos;

- **Aspectos técnico-normativos:** Normas técnicas nacionais e internacionais; normas de qualidade, desempenho e eficiência energética; tempo de atualização das normas diante das novas tecnologias.

O embasamento teórico foi construído através de pesquisas em livros, artigos, dissertações e teses da área em questão, ou com temas correlatos pertinentes a pesquisa. Para compor o arcabouço técnico, também foram consultadas normas técnicas, regulamentos e relatórios das principais entidades do setor e a legislação atual. A sintetização da análise dos principais critérios levantados resultou em uma Matriz Multicritério para aplicação do LED e da IoT nos projetos de modernização dos Parques de Iluminação Pública.

## 1.6 DELIMITAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

A Iluminação Pública no contexto das Cidades Inteligentes é um tema muito amplo que envolve diversos aspectos, que podem variar de acordo com cada local onde é implantado, seja por questões econômicas, sociais, culturais ou regulatórias. O enfoque na experiência brasileira é feito com a intenção de verificar as especificidades da implantação das Luminárias LED e da IoT na Infraestrutura de Iluminação Pública, para identificar em que ponto está o Brasil na prática e assim propor métodos, ou ações, que possam contribuir para a melhoria e/ou avanço nessa área.

## 1.7 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A continuidade da presente dissertação é composta por sete capítulos, assim estruturada:

No capítulo 2 é descrito o estado da arte da Iluminação Pública. São discutidos neste capítulo os Fundamentos da Iluminação; os componentes do Sistema de Iluminação Pública e os requisitos básicos para Iluminação Pública e seus efeitos no ambiente urbano.

No capítulo 3 é feita uma descrição da evolução das tecnologias empregadas na Iluminação Pública, com foco no LED e seus Efeitos da Iluminação Pública nos Seres Humanos e no Ambiente Urbano; e a Automação da Iluminação Pública.

No capítulo 4 é apresentada a relação entre as Cidades Inteligentes e a Iluminação Pública, apresentando os Fundamentos da IoT e a adoção da tecnologia na Iluminação Pública, seja como instrumento de gerenciamento dos Parques de Iluminação Pública, seja através da utilização de sua infraestrutura privilegiada para agregar funcionalidades de gestão urbana

integrada.

No capítulo 5 é feita uma análise qualitativa da adoção do LED e da IoT na infraestrutura de Iluminação Pública no Brasil: descreve o panorama das ações para adoção do LED na Iluminação Pública no país, como a IoT está sendo discutida e avaliada para sua aplicação na infraestrutura de Iluminação Pública e nas cidades brasileiras e por fim, discute as Parcerias Público-Privadas (PPPs) como modelo de implementação de projetos de modernização da Iluminação Pública no Brasil.

No capítulo 6 apresentam-se os resultados da análise, síntese de todo o trabalho, após análise ponto a ponto de todos os critérios para implantação do LED e da IoT na Iluminação Pública e suas possíveis implicações, através de matrizes de critérios que convergem para uma Matriz Multicritério que ilustra os principais oportunidades e riscos da adoção dessas tecnologias.

No capítulo 7 constam as considerações finais sobre o tema e limitações presentes na pesquisa, destaca as contribuições e desdobramentos que encaminha os questionamentos sem solução para pesquisas futuras.

## 2 ILUMINAÇÃO PÚBLICA

A Iluminação Pública é um serviço essencial para as cidades. Com ela, é possível aumentar os níveis de visibilidade no período noturno, e conseqüentemente o aumento da segurança e bem-estar dos cidadãos. Além da segurança viária, a Iluminação Pública contribui para a segurança nas cidades, mas também pode influenciar na saúde e no conforto dos seres humanos, bem como provocar poluição luminosa.

Desde o início das civilizações urbanas, os seres humanos buscam desenvolver formas de iluminar os espaços exteriores durante a noite, desde a utilização de tochas, passando por fontes de luz que utilizavam óleo de baleia como combustível, querosene e outros combustíveis fósseis até o desenvolvimento da iluminação elétrica (IEA, 2006). A iluminação artificial (elétrica), desde o momento da criação da primeira lâmpada de bulbo para produção em larga escala por Thomas Edison é capaz até hoje de transformar o modo de vida na sociedade e nas cidades. Com isso, se tornou um elemento essencial para a produtividade das sociedades avançadas e para o bem-estar dos seus cidadãos com o aumento da segurança na circulação no meio urbano (IEA, 2006).

Este capítulo contém uma revisão dos fundamentos da iluminação e do sistema de Iluminação Pública nos requisitos de projetos de Iluminação Pública com enfoque nos seus efeitos no ambiente urbano. Isto é importante pois muitos dos critérios de projetos se limitam às Normas Técnicas e Regulamentos Técnicos para projetos de iluminação viária e rodoviária com enfoque na segurança na via, contudo o conceito de Iluminação Pública é muito mais amplo e deve abranger outros parâmetros de qualidade, e sua influência no entorno.

### 2.1 FUNDAMENTOS DA ILUMINAÇÃO

Este tópico contém os principais termos e definições relativos à percepção humana, as propriedades físicas da luz e características da iluminação artificial.

#### 2.1.1 Propriedades Físicas e Percepção Humana da Luz

O conceito de luz, segundo a *Illuminating Engineering Society of North America - IESNA* (2011), é a “energia radiante que é capaz de excitar a retina e produzir a sensação visual”. Mais precisamente, nos termos da física, “é a radiação cujos comprimentos de onda ( $\lambda$ ) do espectro da radiação eletromagnética consegue ser detectada pelo olho humano” (EDP, 2016). A porção do

espectro eletromagnético que produz a sensação visual está situada entre os comprimentos de onda 380nm e 760nm, respectivamente o limite máximo da radiação ultravioleta e o limite mínimo da radiação infravermelha (EDP, 2016). O Gráfico 1 contém uma representação do espectro eletromagnético e do espectro visível.

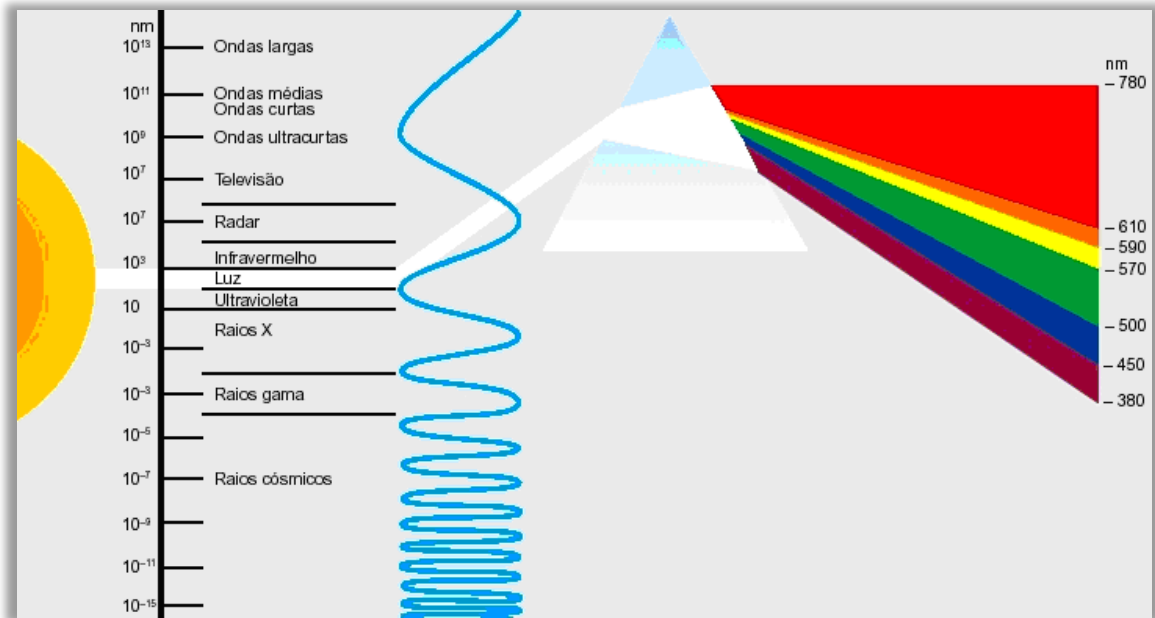


Gráfico 1 Representação do espectro eletromagnético e do espectro visível

Fonte: PROCEL (2011)

Para a *International Energy Agency* - IEA (2006), “o termo “luz” é aplicado exclusivamente para radiação eletromagnética (EM) na parte do espectro comumente emitido pelo sol o qual continuamente banha o nosso planeta” (IEA, 2006). Ainda segundo a agência, “o olho humano é um sensor fisiológico que evoluiu para responder à presença da radiação solar e nos habilita a fazer uso deste para interpretar o que está à nossa volta” (IEA, 2006). Essa condição permite que os seres humanos distinguem os objetos quanto à sua posição, sua forma, sua cor e tonalidade e se estão se movendo (EDP, 2016).

Os componentes opticamente ativos do olho humano são a córnea, a pupila, as lentes e uma superfície fotossensível, compostas pela retina e a fóvea<sup>7</sup>. A luz ao chegar à retina é absorvida e convertida em sinais elétricos que são processados pelo cérebro (IEA, 2006). Essas células fotossensíveis possuem dois tipos: Cones e Bastonetes. Os primeiros estão localizados preponderantemente na fóvea e os últimos no restante da retina. Os Bastonetes são responsáveis pela percepção dos níveis de luminosidade, pois são sensíveis à quantidade de luz do ambiente. Os cones são sensíveis à determinadas partes do espectro visível, sendo subdivididos em: cones

<sup>7</sup> É a parte da retina que se localiza exatamente na direção da pupila (IEA, 2006).



S, sensíveis aos comprimentos de onda curtos, mais azulados; cones M, sensíveis aos comprimentos de onda intermediários, ou verdes; cones L, sensíveis a comprimentos de onda longo, avermelhados (EDP, 2016), (IEA, 2006). Isto permite que os humanos percebam as cores.

A capacidade visual do olho humano depende do bom funcionamento de seus componentes ópticos. Cada ser humano possui um nível de acuidade visual que é influenciada pela idade e por outros fatores como a capacidade de adaptação, de acomodação e de avaliação do contraste (EDP, 2016). A capacidade de adaptação se refere à reação do olho humano aos diferentes níveis de luminosidade, conforme ilustra a Figura 1. A acomodação é o ajuste das lentes para garantir o foco da imagem na retina, ou seja, a nitidez do objeto, como esquematizado na Figura 2. A avaliação do contraste de um objeto se refere à percepção visual da diferença da aparência deste objeto em relação ao seu plano de fundo, quanto maior a diferença, maior o contraste, como ilustrado na Figura 3.

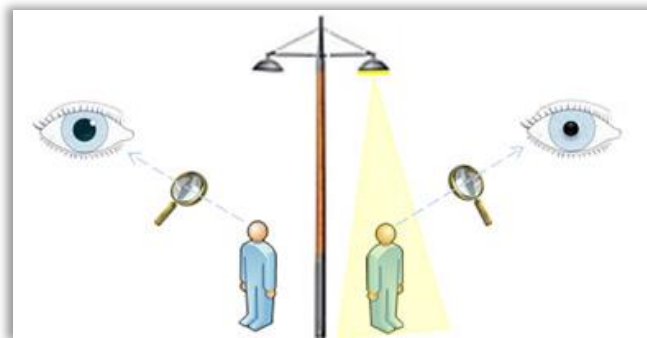


Figura 1 Dilatação da pupila em diferentes condições de iluminação

Fonte: EDP (2016)

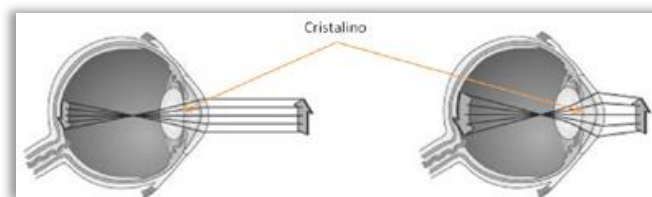


Figura 2 Alteração do cristalino no processo de focagem

Fonte: EDP (2016)

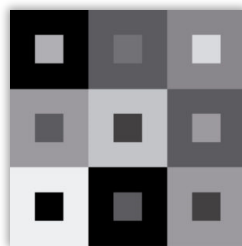


Figura 3 Ilustração da percepção do contraste

Fonte: DSIGNO (2018)

A reação do olho humano às flutuações de luminosidade, no entanto, não depende somente da quantidade de luz e da sua composição espectral, depende também da proporção das mudanças no estímulo (IEA, 2006). As faixas de níveis de luz são extremamente amplas na natureza, variam de 150.000 Lux à 0,5 Lux e o olho humano é capaz de se adaptar às diferentes condições de exposição de luz através de respostas celulares adaptativas neurais e fotoquímicas (IEA, 2006).

Porém, nenhum desses mecanismos de resposta são instantâneos, causando momentâneo mau funcionamento no caso de “variações simultâneas e extremamente rápidas dos níveis de luz” (IEA, 2006). Essa variação repentina e ampla causa desconforto visual tanto pelo ofuscamento (quando os níveis de luminosidade aumentam repentinamente), quanto pelo escurecimento (quando diminuem drasticamente). Além disso, “a adaptação fotoquímica é a resposta mais lenta (até 60 min) e é a maneira do olho mudar sua sensibilidade a diferenças prolongadas nos níveis de luz.” (IEA, 2006). É importante destacar que ao adaptar-se aos ambientes escuros, o olho humano leva um tempo para recuperar a visibilidade, porém há perda da resolução dos detalhes e da percepção das cores (EDP, 2016).

Sob altos níveis de iluminação, conhecidas como condições fotópticas, os cones dominam a resposta visual. Enquanto que os bastonetes tornam-se dominantes nas chamadas condições escotópicas – níveis muito baixos de luminosidade (IEA, 2006). Além disso, a resposta às propriedades espectrais da luz é muito maior nos comprimentos de onda que corresponde à parte verde amarelada do espectro visível (IEA, 2006), ilustrado no Gráfico 2

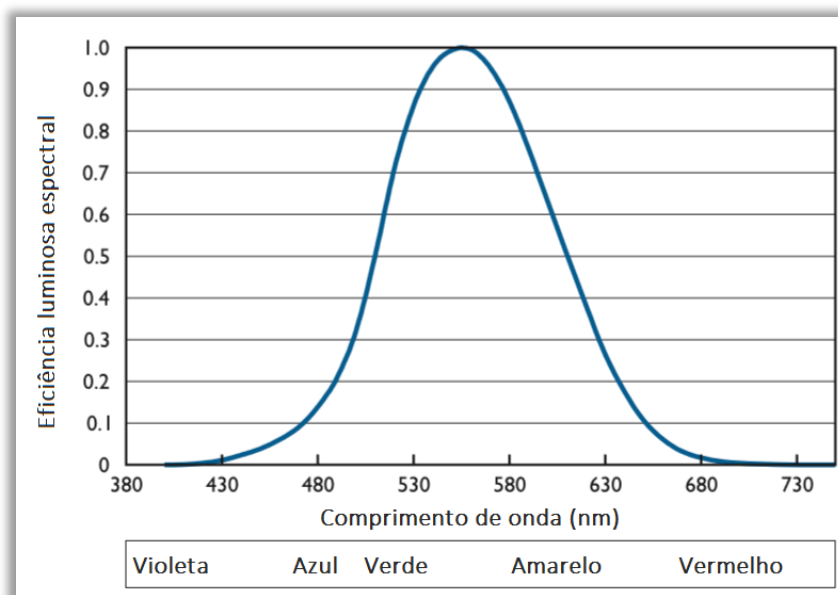


Gráfico 2 Sensibilidade espectral do olho humano para um observador fotóptico padrão

Fonte: IEA (2006), adaptação própria

É importante destacar que as condições ambientais influenciam na percepção espectral da luz, e consequente na eficiência luminosa da fonte de luz. Segundo a IEA (2006), “uma fonte de luz pode ter uma eficácia bem diferente sob condições escotópicas comparada com condições fotópicas, e isso poderia ser importante quando considerando aplicações de baixa iluminação no período noturno”. O Gráfico 3 ilustra a curva de sensibilidade do olho humano nas diferentes condições de luminosidade (diurna e noturna).

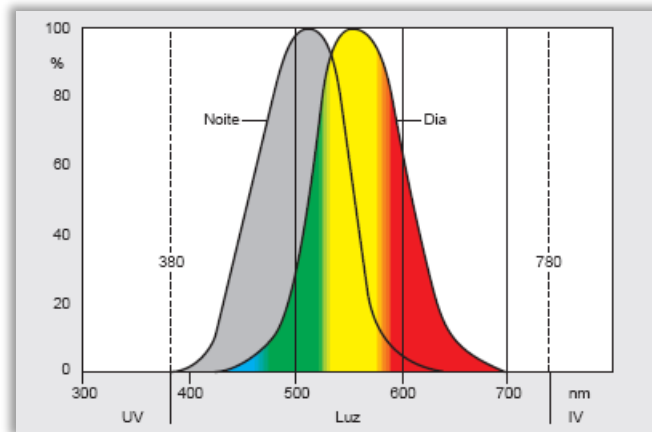


Gráfico 3 Curva de sensibilidade do olho humano de acordo com a condição de luminosidade

Fonte: PROCEL (2011)

No caso da Iluminação Pública, durante a noite, com as luminárias ligadas, ocorrem situações com uma luminosidade baixa, mas não totalmente escuro (EDP, 2016). O Gráfico 4 contém as gamas de luminância<sup>8</sup> para cada tipo de visão e tipo dos fotorreceptores, além das condições típicas do ambiente externo às edificações. Nota-se que a Iluminação Pública está dentro da gama mesópica e atinge tanto os cones quanto os bastonetes.

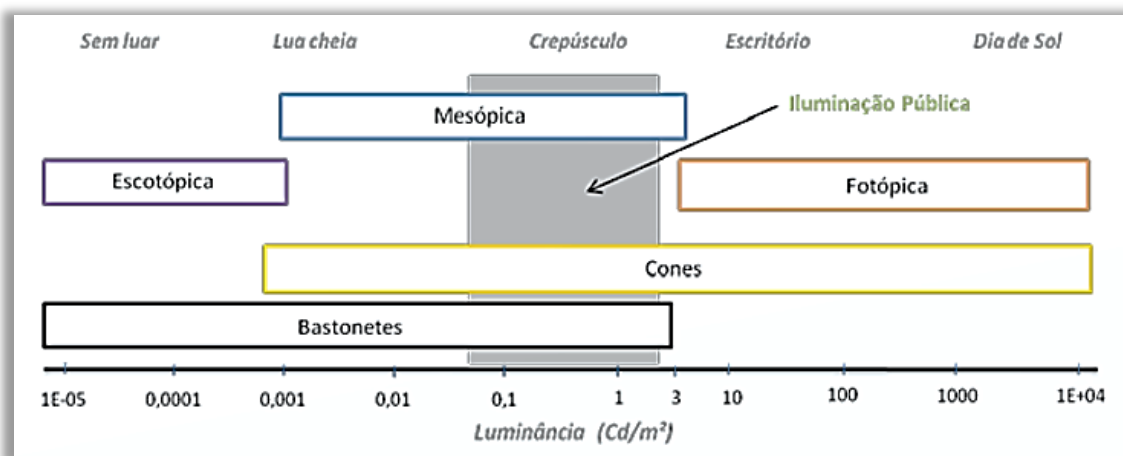


Gráfico 4 Tipos de Condição de Visão e dos Fotorreceptores em função das Gamas de Luminância

Fonte: EDP (2016)

<sup>8</sup> Grandeza que está relacionada com a percepção da área iluminada pelo olho humano.

Sobre o espectro visível pelos seres humanos, outro ponto fundamental é a percepção da cor, definida como “uma habilidade de discriminar a composição de comprimentos de onda da luz incidente, que aumenta dramaticamente a quantidade de informação que pode ser extraída de uma cena visual” (IEA, 2006). Outra característica da percepção da cor se dá em função das condições do ambiente (IEA, 2006). Estas respostas do olho humano à luz de acordo com as condições à que são expostas não somente influenciam no conforto visual dos seres humanos, mas também nos requisitos de projeto para iluminação artificial eficiente e de qualidade.

Conhecidos os principais termos e conceituação das propriedades físicas da luz e da sua percepção pelos seres humanos, pode-se então conceituar as principais características e grandezas fotométricas da iluminação artificial. Este trabalho, no entanto, limita-se a revisar apenas as métricas que são utilizadas para projetos de iluminação artificial nos espaços urbanos (exteriores), logo alguns conceitos podem não estar incluídos nesta revisão.

### 2.1.2 Características e Grandezas Fotométricas da Iluminação Artificial

Seguem abaixo as definições das características e grandezas fotométricas mais importantes aplicáveis à iluminação exterior, de acordo com EDP (2016), IEA (2006), PROCEL (2011) e COPEL (2012). Excluiu-se algumas características particulares da iluminação de interiores pois são impertinentes ao tema Iluminação Pública.

#### a) Fluxo Luminoso $\Phi$ :

É a quantidade de energia luminosa emitida por uma fonte de luz em todas as direções, ou seja, o total de saída de luz de uma lâmpada (IEA, 2006), (COPEL, 2012) e (EDP, 2016). Sua unidade de medida é o Lúmen (lm). A Figura 4 ilustra esse conceito.

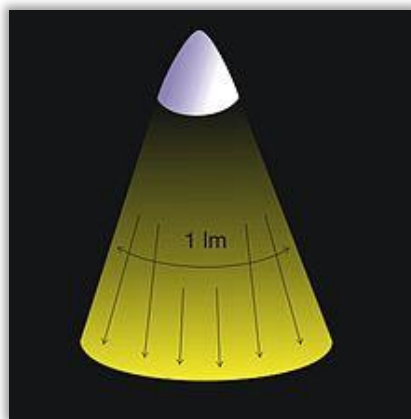


Figura 4 Representação Gráfica do Fluxo Luminoso

Fonte: VSC Iluminação LED (2017)

b) Iluminância (E):

Representa o fluxo luminoso que atinge uma superfície por unidade de área ( $m^2$ ) (EDP, 2016) e (PROCEL, 2011). Sua unidade de medida é o Lux (lx). Um Lux corresponde a um lúmen por metro quadrado. ( $lm/m^2$ ). A Figura 5 mostra uma representação gráfica da Iluminância.

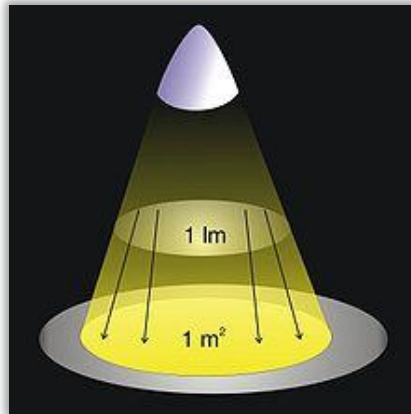


Figura 5 Representação Gráfica da Iluminância

Fonte: VSC Iluminação LED (2017)

c) Intensidade Luminosa (I):

É definida como a parcela do fluxo luminoso em uma direção, partindo de uma fonte de luz contida num ângulo sólido (EDP, 2016) e (PROCEL, 2011). Sua unidade de medida é a Candela (cd). A Figura 6 representa o ângulo sólido (esterradiano -  $\omega$ ).

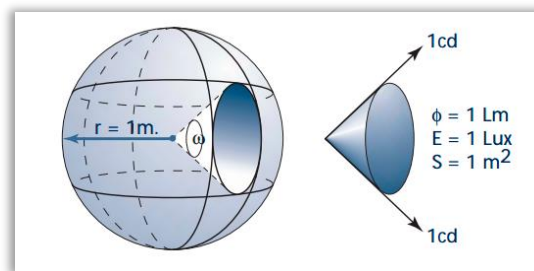


Figura 6 Representação do Esterradiano

Fonte: ASSELUM (2018)

d) Luminância (L):

Corresponde à Intensidade Luminosa refletida pelas superfícies percebida pelo observador. Conforme o PROCEL (2011), é “a relação entre a intensidade na direção considerada e a área aparente da superfície real ou imaginária de onde provém o fluxo luminoso”. Sua unidade de medida é a Candela por Metro Quadrado ( $cd/m^2$ ). A Figura 7 traz uma representação desse conceito.

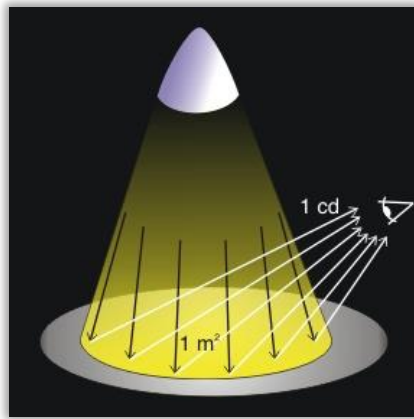


Figura 7 Representação Gráfica da Luminância  
Fonte: VSC Iluminação LED (2017)

e) Curva de Distribuição de Intensidade Luminosa (Curva Fotométrica):

Segundo (PROCEL, 2011) é a curva “que representa a variação da intensidade luminosa de uma fonte, um plano passando pelo centro em função da direção”. Para EDP (2016), é obtida ao traçar uma curva ao longo das extremidades de todos os vetores de  $I$  ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ) num plano vertical perpendicular à fonte luminosa, ou seja, o diagrama polar “a representação da intensidade luminosa em todos os ângulos ( $\gamma$ ), sobre os quais é direcionada, em um plano vertical (C)” (EDP, 2016). O Gráfico 5 ilustra o diagrama polar para uma fonte com Intensidade luminosa simétrica.

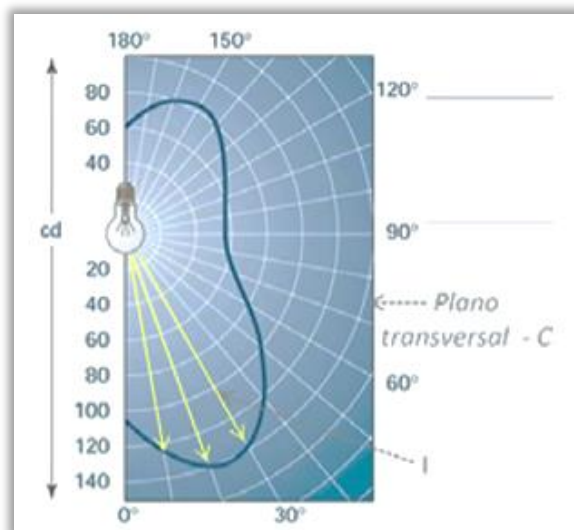


Gráfico 5 Representação da Curva de Distribuição Luminosa com Simetria inscrita no Diagrama Polar  
Fonte: EDP (2016)

As Curvas Fotométricas são geralmente são inscritas em três planos ortogonais (longitudinal, transversal e diagonal) e apresentadas superpostas (PROCEL, 2011), como ilustra a Figura 8.

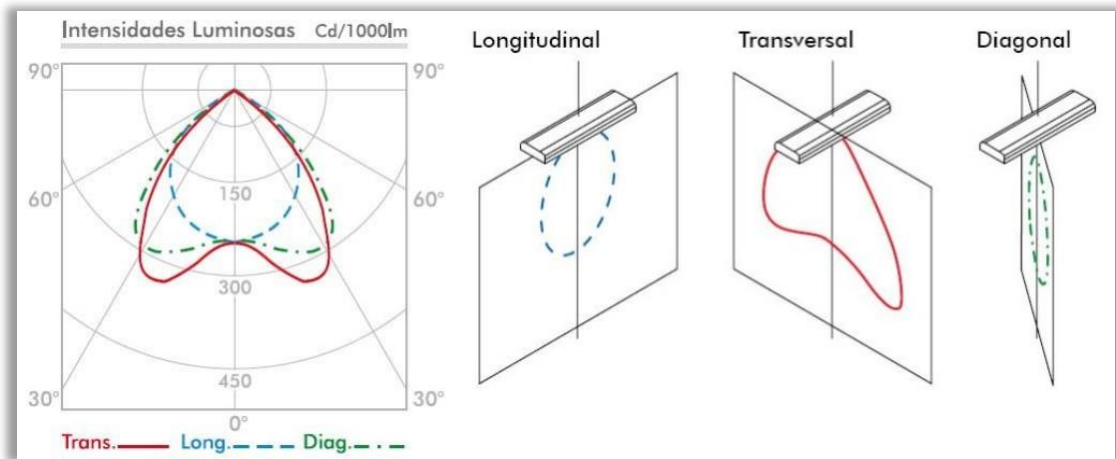


Figura 8 Representação de Curva de Distribuição de Intensidade Luminosa em três Planos Ortogonais




Fonte: VSC Iluminação LED (2017)

### 2.1.3 Características Cromáticas da Luz

Quanto às características cromáticas da luz, são consideradas principalmente a Temperatura de Cor Correlata e o Índice de Reprodução de Cor, essas duas características influenciam na percepção visual das superfícies. Além disso, a Distribuição de Energia Espectral (SPD, sigla em inglês) da luz também é importante na avaliação cromática da luz.

a) Temperatura de Cor Correlacionada (TCC):

Define-se como a aparência da cor da lâmpada associada à cromaticidade de um corpo negro<sup>9</sup>, aquecido à mesma temperatura (EDP, 2016) (PROCEL, 2011) (IEA, 2006). Sua unidade de medida é o Kelvin (K). O Quadro 1, apresenta a aparência de um mesmo espaço com fontes luminosas de temperatura de cor diferentes.

3000K	4000K	5500K
		

Quadro 1 Aparência de um mesmo espaço com fontes luminosas de temperatura de cor diferentes

Fonte: COPEL (2012)

<sup>9</sup> De acordo com (EDP, 2016), “é um objeto que, idealmente, absorveria toda a radiação eletromagnética que lhe chegasse, emitindo, um espectro de luz em função da temperatura a que se encontra”.



O Gráfico 6 ilustra algumas Temperaturas de Cor Correlatas associadas às suas respectivas cores aparentes contidas no Diagrama de Cromaticidade da CIE.

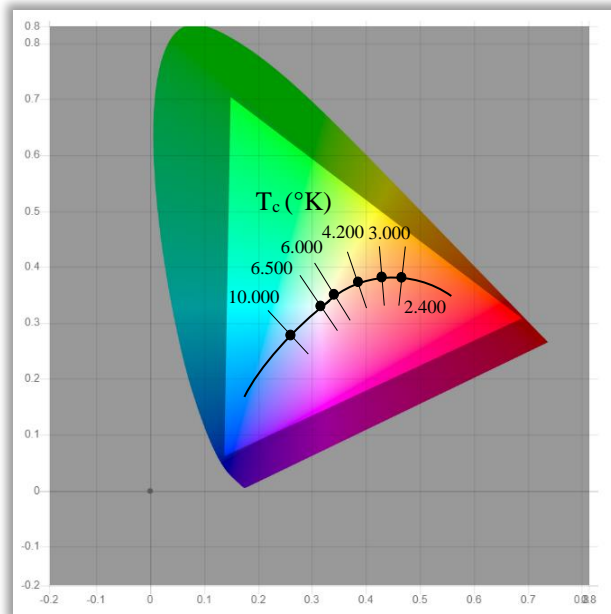


Gráfico 6 Temperaturas de Cor Correlatas plotadas no Diagrama de Cromaticidade da CIE

Fonte: Elaboração própria baseada em baseada em EDP (2016) e Waveform Lighting (2019)

Para PROCEL (2011), a temperatura de cor está relacionada à tonalidade de cor que apresenta no ambiente. Ainda segundo PROCEL (2011), as tonalidades mais quentes tornam o ambiente aconchegante e as mais frias, estimulantes. As impressões subjetivas e os efeitos da iluminação nos seres humanos serão discutidos no item 3.2.3. Para PROCEL (2011), a temperatura de cor de fontes luminosas artificiais pode variar entre 2.000K (muito quente) até mais de 10.000K (muito fria).

b) Índice de Reprodução de Cor (IRC):

Corresponde à descrição da aparência das superfícies iluminadas pela fonte de luz (IEA, 2006). Segundo a EDP (EDP, 2016), representa o efeito da radiação luminosa emitida pela lâmpada nos objetos. Ela determina a capacidade que uma lâmpada possui de manter as cores de objetos ou superfície iluminada fiéis às cores em comparação a exposição à luz do dia ou de uma lâmpada incandescente (EDP, 2016) (IEA, 2006). Sua unidade de medida é a Porcentagem (%), com seus valores variando entre 0 e 100. Quanto mais alto o IRC, maior é a fidelidade das cores (PROCEL, 2011), ou seja, “uma fonte com IRC 100% é a que apresenta as cores de um objeto com a máxima fidelidade” (COPEL, 2012). A Figura 9 ilustra um mesmo conjunto de superfícies e objetos iluminados por duas fontes luminosas de diferentes IRC.





Figura 9 Comparativo entre duas fontes luminosas com diferentes IRCs

Fonte: COPEL e GE – General Eletric extraído de COPEL (2012)

c) Distribuição de Energia Espectral (SPD<sup>10</sup>):

A Distribuição de Energia Espectral, mais conhecida pela sua sigla em inglês, SPD é definida como “uma função do comprimento de onda e descreve a quantidade de radiação óptica através de parte de um espectro. O SPD geralmente descreve a radiação óptica emitida por uma fonte de luz.” (CHUANG, 2015). O Gráfico 7 contém uma comparação das SPDs de algumas fontes de luz artificiais em comparação com a SPD do sol.

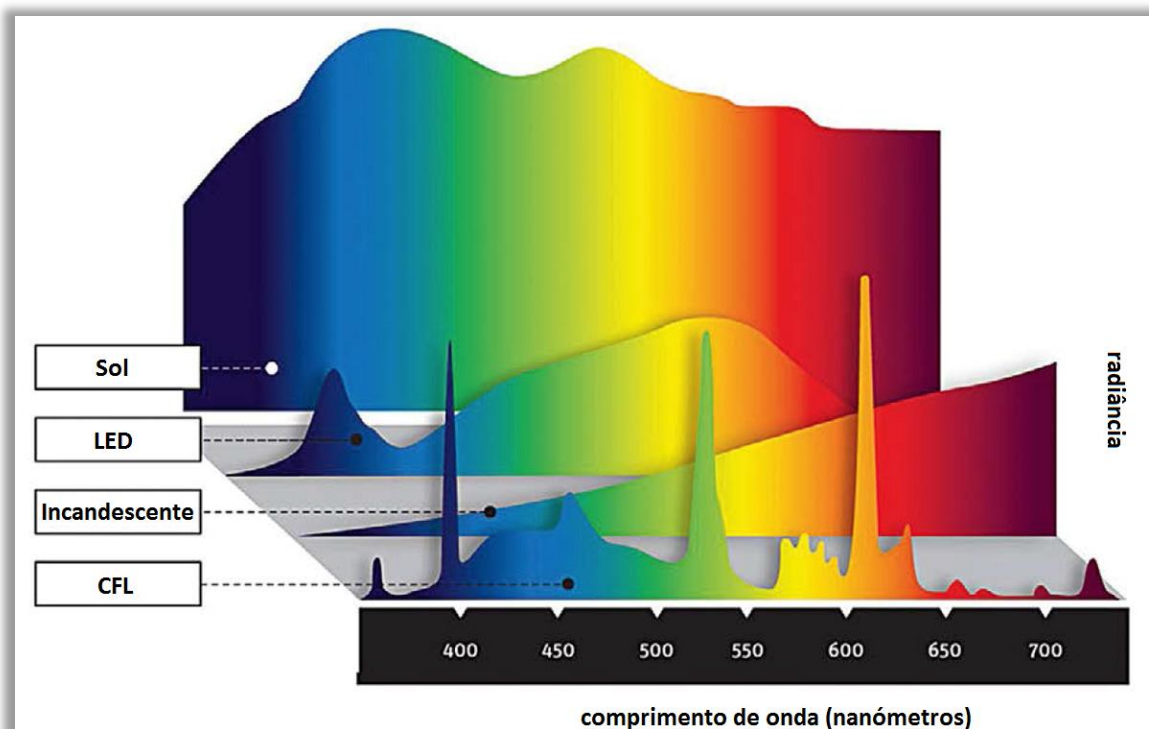


Gráfico 7 Distribuição de Energia Espectral de algumas fontes de luz.

Fonte: ElectrosMOG (2018)

<sup>10</sup> Sigla para *Spectral Power Distribution*. Adotou-se a sigla em inglês pois é conhecida internacionalmente.

### 2.1.4 Critérios de Desempenho das Fontes de Luz

Segue abaixo a descrição dos principais critérios de comparação de lâmpadas.

a) Eficiência ou Eficácia Luminosa:

É definida como a razão da quantidade de Fluxo Luminoso (lúmens) que uma lâmpada emite pela energia elétrica consumida por unidade de tempo – Potência (watts) (EDP, 2016) (PROCEL, 2011) (IEA, 2006) (COPEL, 2012), conforme Equação 1. Sua unidade de medida é lúmens por watt (lm/W).

Equação 1

$$\eta = \phi/P \text{ (lm/W)}$$

Onde: ( $\eta$ ) é a eficácia luminosa de uma fonte; ( $\phi$ ) é o fluxo luminoso total emitido pela fonte; e ( $P$ ) é a Potência consumida.

Quanto maior a eficiência luminosa de uma lâmpada ou seu conjunto, menor será a energia elétrica consumida para fornecer uma certa quantidade de luz (PROCEL, 2011) (IEA, 2006). É importante destacar que não se deve confundir a eficácia luminosa de uma lâmpada com a eficácia do sistema como um todo, já que outros componentes do sistema de iluminação também consomem energia, ocasionando perda de eficiência luminosa (IEA, 2006). Essa métrica é utilizada para comparar a diferentes fontes luminosas (COPEL, 2012).

b) Depreciação do Fluxo Luminoso e Fator de Depreciação:

A Depreciação do fluxo luminoso corresponde ao percentual de redução do fluxo luminoso de uma lâmpada durante seu período de operação (PROCEL, 2011), ou seja, há uma depreciação no nível de iluminância ao longo do tempo que essa lâmpada é utilizada. Ela é decorrente também do acúmulo de sujeira sobre a lâmpada (EDP, 2016). A depreciação é um fenômeno inerente a todas as lâmpadas elétricas (PROCEL, 2011) e dependendo do tipo de lâmpada, pode diminuir até 40% de sua luminosidade. Sua unidade de medida é a porcentagem (%).

Entretanto, como compensação para atendimento dos requisitos para níveis de iluminação num ambiente, os projetistas utilizam para dimensionamento o cálculo luminotécnico com o método do fluxo luminoso, que é mantido após uma determinada porcentagem de tempo de vida útil da lâmpada, usualmente 70%. (IEA, 2006). O Fator de Depreciação é estabelecido a partir da razão entre o fluxo luminoso, ao final do tempo determinado, e o fluxo luminoso de entrada, resultando num nível de iluminação inicial maior que o requerido (IEA, 2006).

c) Tempo de Vida Útil da Lâmpada:

É um valor que representa o período total de operação de um dado tipo de lâmpada, representando a porcentagem do tempo que ela leva para parar de funcionar ou ter seu fluxo luminoso reduzido, a uma taxa estipulada com critérios preestabelecidos por normas técnicas (EDP, 2016) (PROCEL, 2011) (IEA, 2006). Sua unidade de medida é a hora (h).

Segundo EDP (2016), “esta é uma das características das fontes luminosas mais relevantes, pois influencia os custos de funcionamento, seja à nível dos custos de manutenção, seja do custo de aquisição de lâmpadas durante um determinado período”. Apesar de que um mesmo tipo de lâmpada possa ter uma enorme variação de tempo de vida, os valores reportados pelos fabricantes são únicos, baseados nos seguintes indicadores em conformidade com metodologia estabelecida por norma citados por (EDP, 2016) (PROCEL, 2011) (IEA, 2006):

- Vida Mediana (B50): representa o tempo no qual 50% do lote de lâmpadas ensaiadas deixa de emitir fluxo luminoso;
- Vida Útil (L70): é definido pelo número de horas pelo qual se atinge 70% do fluxo luminoso inicial do conjunto de lâmpadas testadas, ou seja, o tempo em que o fluxo luminoso tenha sido reduzido em 30%.

O Gráfico 8 ilustra os dois indicadores de tempo de vida das lâmpadas.

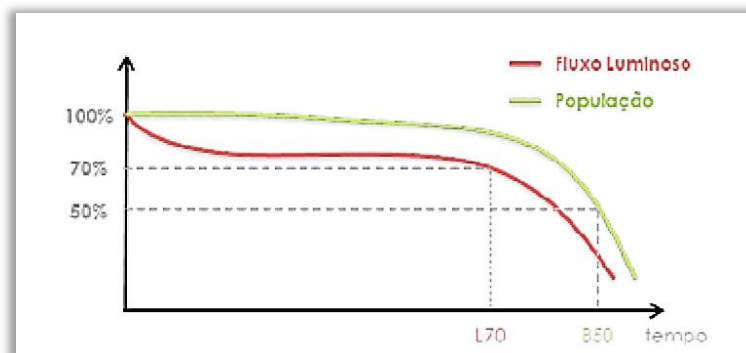


Gráfico 8 Tempo de vida útil (L70) e médio (B50)

Fonte: EDP (2016)

Segundo a (IEA, 2006), um indicador melhor de falha é dado por uma curva de mortalidade, “que expressa o percentual de lâmpadas que continuam a operar depois de um determinado período”. Esses indicadores são importantes também para determinar a maturidade de uma tecnologia. Para novas tecnologias, a tendência é de que o número de falhas seja maior. Conforme (IEA, 2006):

A maturidade da tecnologia da lâmpada e a experiência de um fabricante com ele podem geralmente ser determinadas por uma análise cuidadosa destas curvas tais que aquelas com baixos níveis de falha sobre os primeiros 50-80% do tempo de vida são indicativos de um produto maduro para que um fabricante reuniu uma grande quantidade de dados de vida útil da lâmpada. (IEA, 2006)

Além disso, para lâmpadas operadas através do uso de eletrodos, como as fluorescentes e HID, a curva de mortalidade sofre influência do período de operação médio e da frequência de ativação e desativação da lâmpada (IEA, 2006).

Sobre isso, “a vida prática da lâmpada é mais complexa do que uma simples medição de taxas de falha da lâmpada pois precisa considerar a extensão da deterioração do desempenho que pode conduzir à retirada da lâmpada antes que tenha falhado completamente” (IEA, 2006) – tradução própria. Essas deteriorações de desempenho podem estar relacionadas à depreciação do fluxo luminoso, à mudanças na cor da luz emitida, à instabilidade progressiva – comuns às lâmpadas HID e ao chamado apagamento cíclico - fenômeno que aflige Lâmpadas de Sódio de Alta Pressão (IEA, 2006).

A respeito das taxas de troca de lâmpada na prática também devem considerar o custo da mão de obra para sua substituição. Muitas companhias preferem fazer a troca das lâmpadas antes que elas falhem, ao invés de trocá-las sempre que uma lâmpada falhe isoladamente (IEA, 2006).

### **2.1.5 Critérios de Desempenho dos Sistemas de Iluminação**

Os critérios de desempenho da fonte de luz não são os únicos que devem ser considerados para medir sua eficiência. O comportamento das lâmpadas muda quando instaladas nas luminárias e ativadas pelos componentes elétrico e eletrônicos. Os critérios de desempenho do sistema relacionados aos componentes eletrônicos são: Fator de Fluxo, Fator de Potência, Distorção Harmônica Total. Estes critérios são descritos a seguir.

#### **a) Fator de Fluxo:**

O Fator de Fluxo determina o quanto de fluxo luminoso uma lâmpada irá fornecer ao ambiente e depende do desempenho de cada tipo de reator (PROCEL, 2011). Segundo (2011), “Quanto maior o fator de reator maior o fluxo luminoso gerado pela lâmpada”. Também chamado de Fator do Reator (BF – sigla em inglês) é obtido utilizando a Equação 2 e sua unidade de medida é a Porcentagem (%).

$$BF = \frac{\phi \text{ obtido}}{\phi \text{ nominal}}$$

Onde: ( $\phi_{obtido}$ ) é o fluxo luminoso total emitido pela fonte subtraídas as perdas do reator; e ( $\phi_{nominal}$ ) é o fluxo luminoso sem as perdas do reator alegado pelo fabricante.

b) Fator de Potência:

O Fator de Potência (PF – sigla em inglês) determina o quanto de potência que o equipamento ligado à fonte de energia de fato consome e está relacionado a quão eficientemente o reator utiliza a energia de entrada (IEA, 2006). É representado por um valor adimensional variando entre 0 e 1, onde 1 indica que a totalidade da energia que é fornecida pela fonte é consumida pelo equipamento. O fabricante deve fornecer esse valor na embalagem do produto. Os valores ideais para um equipamento de iluminação deve estar entre 0,9 e 1 (IEA, 2006). Caso o PF seja menor ou igual à 0,92, é preciso transferir mais energia da fonte para atingir a potência requerida pelo equipamento ou utilizar um capacitor para corrigi-lo.

c) Distorção Harmônica Total:

A Distorção Harmônica Total (THD – sigla em inglês) se refere a uma interferência na rede causada por correntes alternadas geradas por equipamentos eletrônicos de alta frequência em porcentagem. Segundo o manual de Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – (ANEEL, 2018, p. 13), em seu módulo 8 que trata sobre a Qualidade da Energia Elétrica, “as distorções harmônicas são fenômenos associados a deformações nas formas de onda das tensões e correntes em relação à onda senoidal da frequência fundamental (60Hz)”.

Quanto à eficiência da luminária, ou seja, do conjunto completo do sistema de iluminação, ela é calculada pela divisão do fluxo luminoso emitido pelo sistema pela soma dos fluxos luminosos de cada uma das lâmpadas contida no sistema (EDP, 2016). Isso ocorre porque parte da luz emitida pela lâmpada é impedida pela luminária de seguir sua trajetória e depende da forma da luminária, do seu estado de conservação e dos materiais que direcionam o fluxo luminoso contido na luminária (EDP, 2016).

d) Razão de Saída do Fluxo Luminoso:

A Razão de Saída do Fluxo Luminoso (LOR – sigla em inglês) representa a quantidade de fluxo luminoso de saída da luminária ( $\phi$  saída da luminária), medido fora da luminária conforme metodologia específica dividida pela soma do fluxo luminoso das lâmpadas ( $\sum\phi$

*lâmpada individual*) fora da luminária medidas individualmente. A Equação 3 demonstra essa relação.

Equação 3

$$LOR = \frac{\phi \text{ saída da luminária}}{\sum \phi \text{ lâmpada individual}}$$

Explicados os principais fundamentos da iluminação, no próximo tópico são descritos os principais componentes dos Sistemas de Iluminação Pública.

## 2.2 O SISTEMA DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

O sistema de Iluminação Pública não é composto apenas das fontes de luz, mas também de outros equipamentos que permitem o atendimento às necessidades da iluminação no meio urbano. As luminárias servem para abrigar a lâmpada e ajudar a distribuir a luz no espaço, enquanto que os equipamentos elétricos e eletrônicos e de controle, que são responsáveis por controlar o funcionamento, ignição e regulação do sistema (IEA, 2006), fundamentais para o Sistema de Iluminação Pública. Além disso, as luminárias devem ser sustentadas por estruturas que garantam a conexão com a rede elétrica e correta distribuição do fluxo luminoso. A Figura 10 ilustra a configuração básica tradicional do sistema de Iluminação Pública.

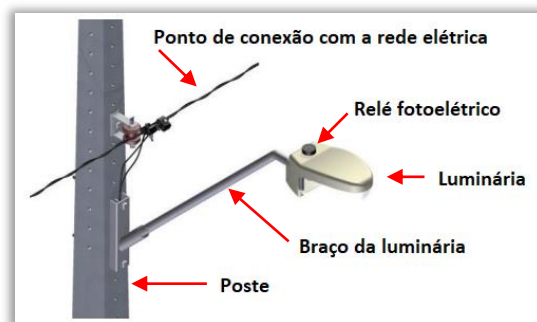


Figura 10 Configuração do Sistema de Iluminação Pública tradicional

Fonte: APRECE (2014) adaptação própria

Antes de descrever as novas tecnologias utilizadas para Iluminação Pública atualmente, serão descritos brevemente os principais componentes de um sistema de Iluminação Pública e os tipos de lâmpadas tradicionalmente utilizados antes do LED e da Telegestão.

### 2.2.1 Tipos de Lâmpada

Cada tipo de lâmpada existente no mercado possui aplicações específicas. As lâmpadas mais utilizadas ao redor do mundo na Iluminação Pública nos últimos anos são as lâmpadas de

Descarga de Alta Intensidade (HID). A Figura 11 contém um organograma das lâmpadas mais comuns utilizadas para iluminação geral com destaque para as lâmpadas HID.

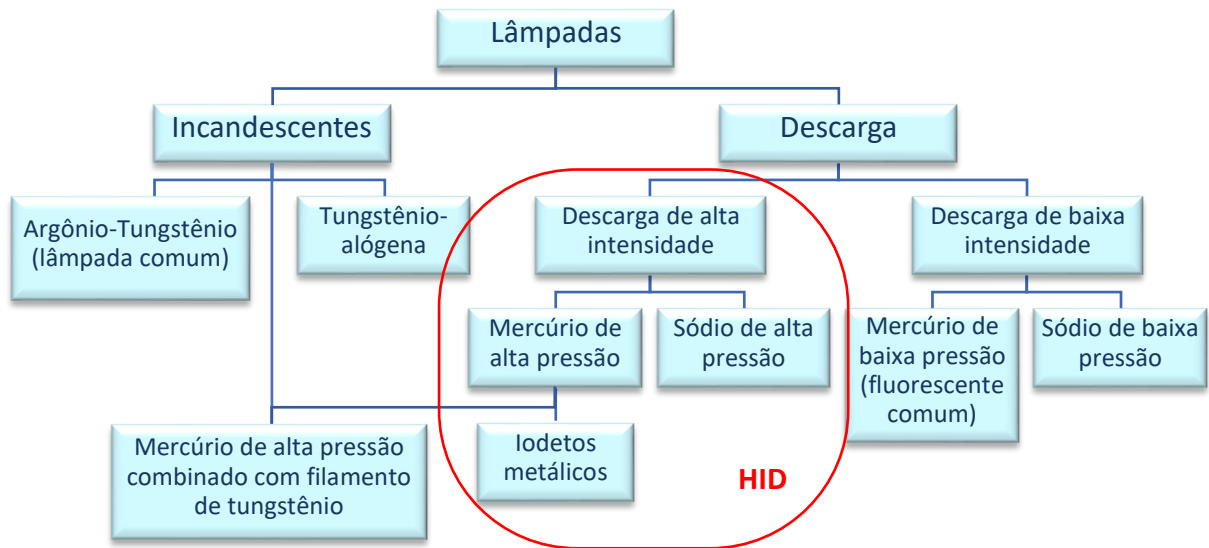


Figura 11 Tipos de lâmpada antes do LED com destaque para as HID

Fonte: Elaboração própria baseada em IEA (2006)

## 2.2.2 Luminárias

São estruturas que servem de abrigo para as lâmpadas e os outros acessórios e os conecta à rede elétrica. No caso de luminárias LED, o módulo de lâmpadas LED geralmente é integrado ao corpo da luminária. A Figura 12 contém exemplos de luminárias para Iluminação Pública, a primeira é o modelo tradicional mais utilizado.



Figura 12 Exemplos de Luminárias para Iluminação Pública

Fonte: Braluz (2019)

As luminárias têm a função de proteger e fixar a fonte luminosa e os outros equipamentos elétricos e eletrônicos, e direcionar o fluxo luminoso para a área requerida (EDP, 2016)

(PROCEL, 2011) (IEA, 2006). Segundo IEA (2006), a interação entre a luminária e a lâmpada escolhida tem um impacto significativo na qualidade da iluminação e na eficiência energética. Elas são diferenciadas de acordo com sua composição física, suas propriedades ópticas, resistência às intempéries e sua eficiência.

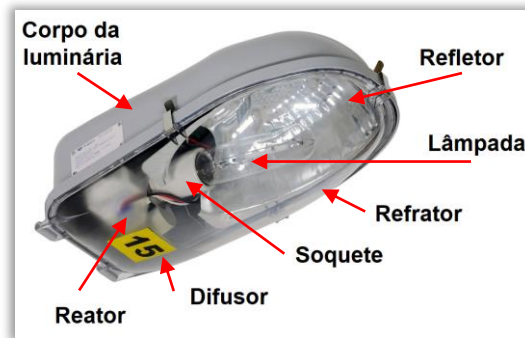


Figura 13 Detalhe de uma luminária tradicional e seus componentes

Fonte: Trópico (2019), adaptação própria

### 2.2.3 Componentes Elétricos e Eletrônicos

São aqueles que auxiliam e permitem que as lâmpadas sejam ligadas à rede elétrica. Algumas lâmpadas podem ser diretamente conectadas à fonte de energia elétrica, no entanto, a maioria das lâmpadas utilizadas na Iluminação Pública necessitam equilibrar as tensões elétricas para poderem emitir luz. As lâmpadas de tipicamente necessitam de equipamentos auxiliares como Reatores, Capacitores, Ignitores e Transformadores. Já as luminárias LED funcionam apenas através de um equipamento chamado *Driver*.

### 2.2.4 Sistemas de Controle

Na Iluminação Pública, os Sistemas de Controle têm a função de controlar a operação do sistema automaticamente, o que permite otimizar o consumo de energia sem prejudicar os níveis de visibilidade requeridos para cada local (EDP, 2016). O equipamento mais comumente utilizado é o Relé Fotoelétrico e os sistemas de controle se subdividem em comando individual ou em grupo, porém já existem outras tecnologias de gestão e controle automatizado dos parques de Iluminação Pública mais desenvolvidas e serão discutidas no tópico x. A Figura 14 ilustra o relé fotoelétrico e as formas de utilizá-lo, individualmente na luminária e acoplado à uma chave magnética para controle de um grupo de luminárias, respectivamente.





Figura 14 Sistemas de Controle da Iluminação Pública que utilizam o Relé Fotoelétrico

Fontes: Ilutron (2019), Ilumatic (2018) e Librarepres (2012)

### 2.2.5 Componentes de Sustentação

Os componentes que sustentam as luminárias definem como a luz será distribuída no espaço. As formas de montagem para luminárias de Iluminação Pública podem ser sobre postes ou coluna, em cabos de suspensão e em suportes apoiados nas fachadas dos edifícios. Os mais utilizados atualmente são os postes ou colunas, podem ou não conter braços de sustentação (EDP, 2016). Os Postes ou Colunas de iluminação são constituídos geralmente de aço, concreto ou alumínio e devem ser resistentes às intempéries do clima e a choques mecânicos eventuais de acordo com Normas Técnicas específicas. Devem também suportar o peso da luminária e fixar e proteger o cabeamento da rede elétrica e possibilitar fácil manutenção. A Figura 15 contém exemplos de postes de iluminação mais utilizados na Iluminação Pública, inclusive aqueles com estilo mais tradicional, visto que por motivos culturais, continuam sendo usados.



Figura 15 Postes e colunas para Iluminação Pública

Fonte: Fibrometal (2018)

O posicionamento dos postes e luminárias na caixa de via são fundamentais para a visibilidade no espaço urbano, sobretudo dos motoristas e transeuntes. Suas alturas devem ser compatíveis com a superfície a iluminar e seu espaçamento deve garantir a uniformidade da iluminação nas vias e nas calçadas. A Figura 16 ilustra uma configuração de postes com iluminação nas calçadas e nas caixas de via.

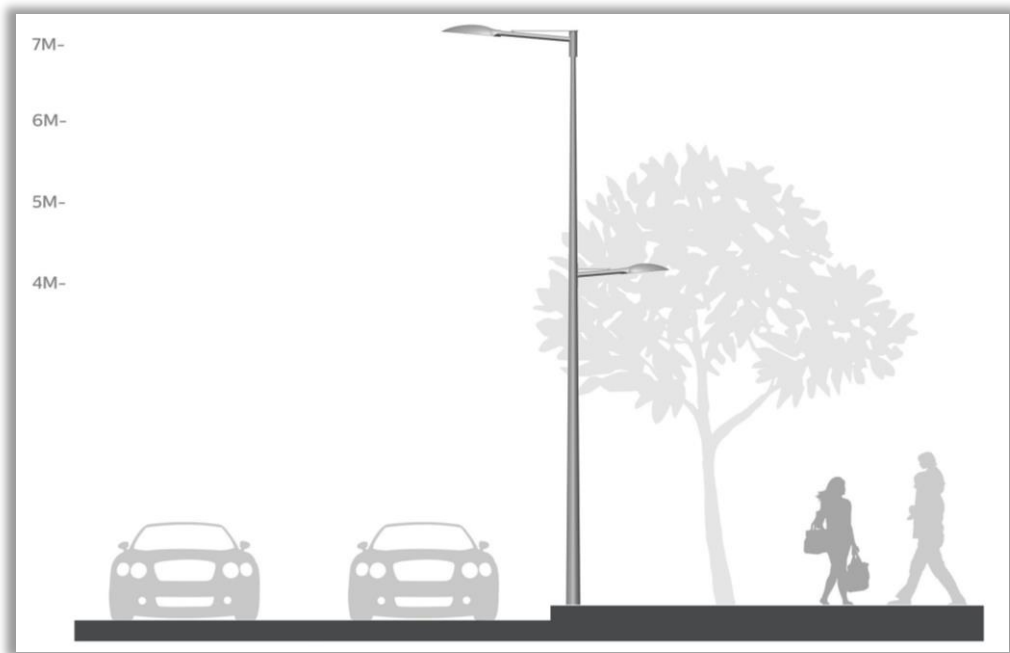


Figura 16 Esquema de postes com iluminação nas calçadas e nas caixas de via

Fonte: Philips Lighting (2018), adaptação própria

Conhecidos os elementos principais que compõem o Sistema de Iluminação Pública, no tópico a seguir são apresentados os requisitos básicos a serem considerados nos projetos de Iluminação Pública, bem como seus efeitos no ambiente urbano.

## 2.3 REQUISITOS BÁSICOS PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA E SEUS EFEITOS NO AMBIENTE URBANO

A Iluminação Pública deve prover tanto uma boa condição de visibilidade, como também garantir a uniformidade da iluminação na superfície das vias. Além desses requisitos, a distribuição espacial da luz na via é um requisito essencial para um bom projeto de Iluminação Pública.

### 2.3.1 Visibilidade

A visibilidade se refere a tudo que pode ser percebido pelo olho humano. Na iluminação de vias, os níveis de visibilidade são fundamentais para a identificação dos objetos e pessoas ao longo da via e possibilita que motoristas e pedestres enxerguem os detalhes mais significantes do seu entorno. A visibilidade está diretamente associada aos aspectos de segurança viária (SWANSON e CARLSON, 2012). Segundo (SWANSON e CARLSON, 2012), alguns fatores influenciam na visibilidade das vias:

- Luminosidade de um objeto em ou perto da via;
- Brilho geral do fundo da via – luz ambiente;
- Tamanho do objeto e detalhes de identificação;
- Contraste entre um objeto e seus arredores;
- Contraste entre pavimento e seu entorno como visto pelo observador;
- Tempo disponível para ver o objeto;
- Brilho do desconforto: desconforto ocular que não afeta o desempenho visual;
- Brilho da incapacidade: reduzindo a capacidade de ver ou detectar um objeto;
- Brilho ofuscante: brilho tão intenso que por um período considerável nenhum objeto pode ser visto;
- Visão do condutor;
- Condição do para-brisa do veículo.

A Visibilidade do entorno das vias só é possível se há uma boa iluminação sobre este. A correta aplicação da iluminação nas vias é determinante na diminuição do número de acidentes no trânsito, sobretudo àqueles relacionados à travessia de pedestres.

### **2.3.2 Uniformidade**

A Uniformidade está relacionada à projeção da iluminação na superfície das vias com o objetivo de assegurar a fácil identificação de obstáculos como desníveis e sinalização horizontal, como faixas de pedestres e faixas de rolagem (EDP, 2016). Para tanto, é necessário eliminar toda e qualquer zona não iluminada, ou seja, a intercalação entre superfícies iluminadas e não iluminadas no piso, causando o efeito conhecido como ‘efeito Zebra’.

### **2.3.3 Distribuição espacial da luz**

A distribuição da luz no espaço para Iluminação Pública está relacionada à distribuição fotométrica das luminárias e sua projeção nas vias. As classificações das distribuições são feitas de acordo com as características de projeção da luz no plano a ser iluminado (via) por direcionalidade e é determinada de acordo com critérios da Norma 5101:2018. São subdivididos em três tipos: longitudinal, transversal e controle da distribuição (EDP, 2016). A Distribuição Longitudinal da Intensidade Luminosa se refere ao alcance do feixe de luz paralelo ao eixo da via, enquanto que a Distribuição Transversal da Intensidade Luminosa é definida pela abertura

dos planos paralelos ao eixo da via. A Figura 17 e a Figura 18 representam graficamente o alcance distribuição longitudinal e a abertura (distribuição transversal) de uma luminária, respectivamente.

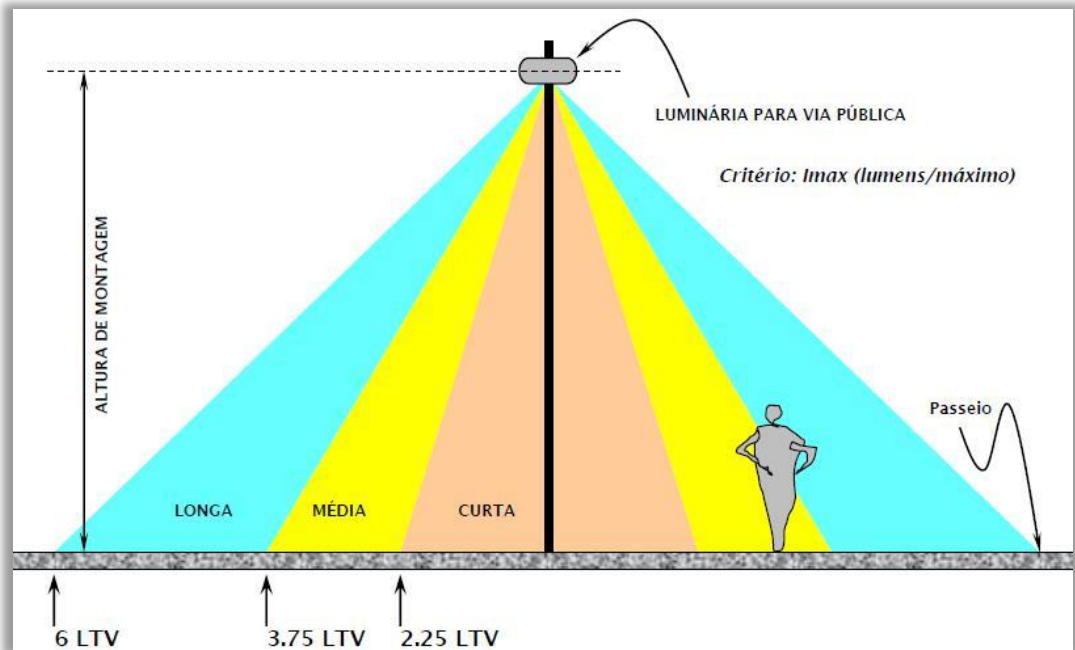


Figura 17 Alcance de uma luminária

Fonte: Fonseca (2017)

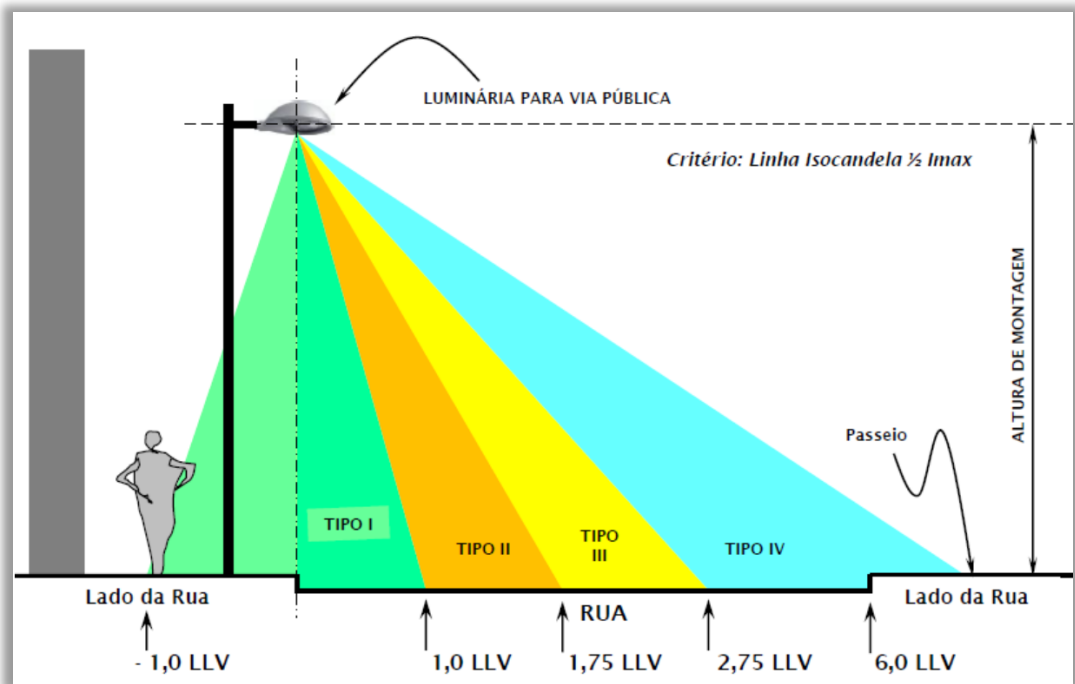


Figura 18 Aberturas de uma luminária

Fonte: Fonseca (2017)

O Controle da Distribuição da luminária está relacionado ao controle do encadeamento produzido pela luminária (EDP, 2016), quanto maior o controle, menor será a poluição luminosa e o ofuscamento. A Figura 19 ilustra os tipos de controle da distribuição.

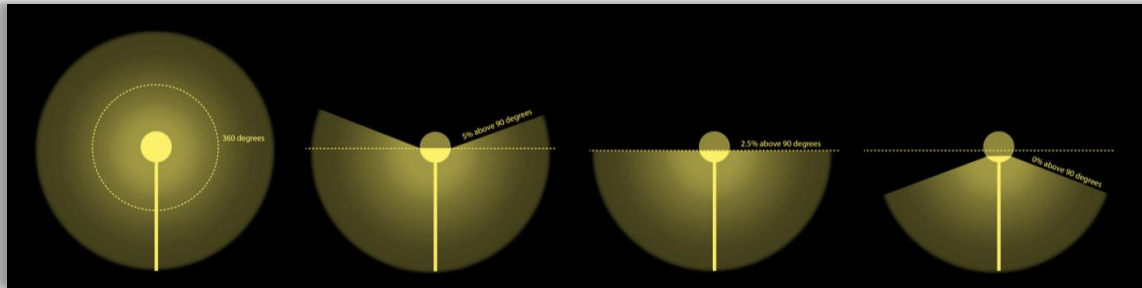


Figura 19 Tipos de Controle de Distribuição

Fonte: Schlickman (2018)

A má aplicação da Iluminação Pública pode causar poluição luminosa e provocar negativos no ambiente e nos seres humanos.

### 2.3.4 Poluição Luminosa

A Poluição Luminosa é um efeito causado pela iluminação artificial excessiva, mal direcionada e pela reflexão nas superfícies no espaço onde é inserida (EDP, 2016). No meio urbano, a poluição luminosa é determinada pela porção do fluxo luminoso que não atinge a área útil. A Figura 20 ilustra as porções de fluxo luminoso que configuram na poluição luminosa, subdividida em: a Luz emitida para o céu; a Luz intrusiva; e Brilho encandeante (ofuscamento).

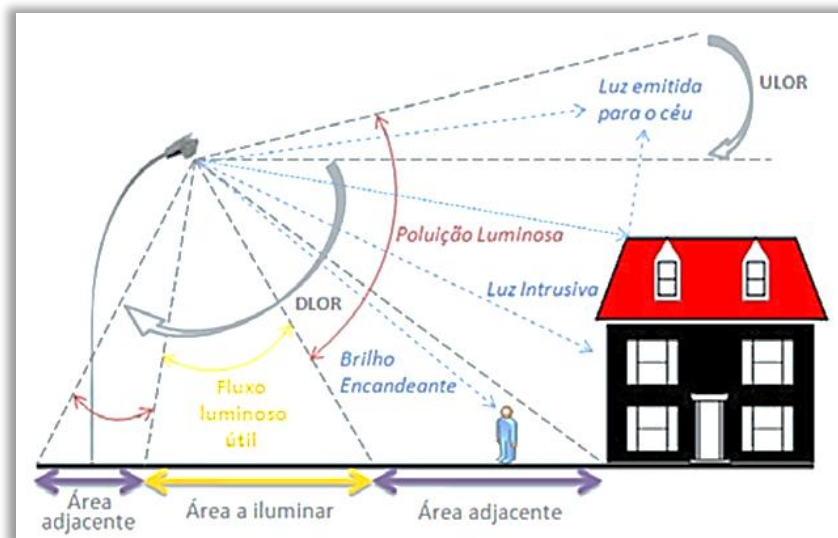


Figura 20 Representação esquemática do Fluxo luminoso emitido por uma luminária no meio externo

Fonte: EDP (2016)

a) Luz emitida para o céu (*Sky Glow*):

A porção de fluxo luminoso acima que parte da luminária em todas as direções acima do plano imaginário na altura da luminária e paralelo ao solo ULOR somada à luz refletida pelas superfícies em direção ao céu, causando um brilho no céu à noite nas regiões urbanizadas, impedindo inclusive a observação dos corpos celestes (EDP, 2016). Também conhecida como *Sky Glow*, esse tipo de poluição é característico de grandes cidades onde há uma concentração grande de luminárias para Iluminação Pública, letreiros luminosos, *outdoors*, etc. A Figura 21 mostra o céu da cidade de Seattle nos EUA.

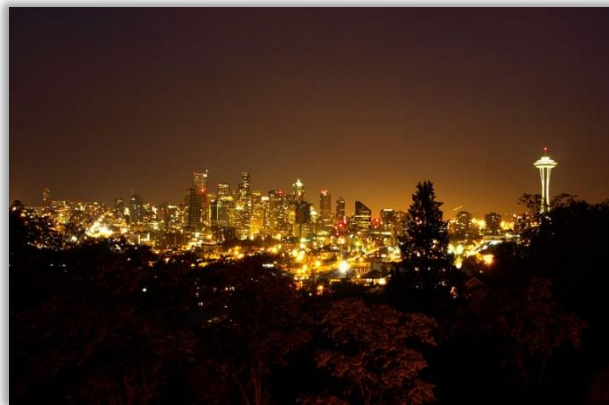


Figura 21 *Sky Glow* sobre a cidade de Seattle nos EUA

Fonte: Boise State Public Radio (2013)

b) Luz intrusiva:

Refere-se àquela porção do fluxo luminoso de uma luminária que atinge diretamente as propriedades e fachadas dos edifícios (EDP, 2016). Figura 22 mostra como a luz intrusiva impacta nas fachadas e janelas numa edificação.



Figura 22 Luz Intrusiva sobre a Fachada de uma Edificação

Fonte: Lighting Research Center (2018)

c) Brilho encandeante (Ofuscamento):

O conceito de brilho encandeante, nomenclatura dada por EDP (2016), ou ofuscamento são definidos como “o prejuízo na função visual causado pela presença de uma fonte de luz localizada no campo visual, pode ser um ofuscamento direto (visualização direta da lâmpada) ou um ofuscamento indireto (refletido através de superfícies refletoras ou brilhantes)” (PROCEL, 2011). A Figura 23 mostra os ângulos do ofuscamento.

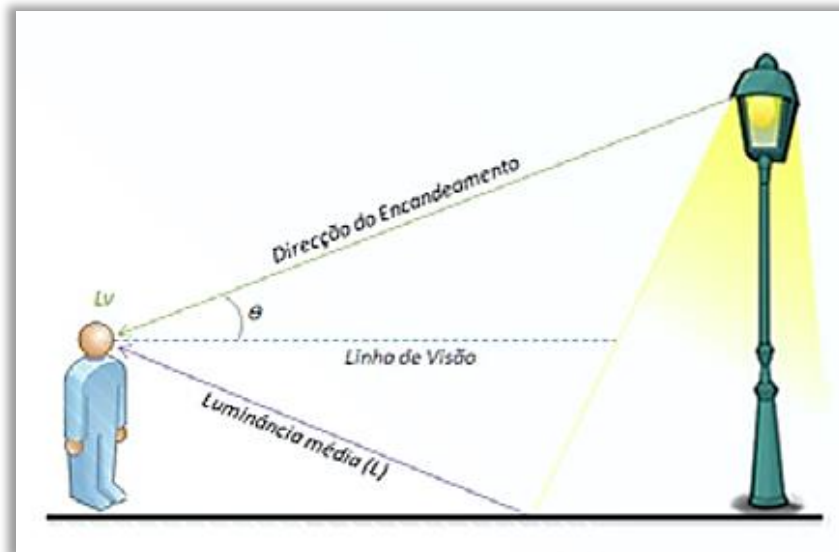


Figura 23 Brilho encandeante (Ofuscamento)

Fonte: EDP (2016)

A Luminância de velamento –  $L_v$  é o “efeito provocado pela luz que incide sobre o olho do observador no plano perpendicular à linha de visão. Depende do ângulo entre o centro da fonte de ofuscamento e a linha de visão, bem como da idade do observador” (GODOY, 2015).

Segundo EDP (2016), o brilho encandeante (ofuscamento) reduz a percepção do contraste da imagem pelo observador. A forma de mensurar objetivamente o grau de ofuscamento perturbador ou incapacitante que causa incômodo, desconforto e redução da capacidade de enxergar os objetos é através do cálculo do Incremento limite – ou de limiar (TI – sigla em inglês). Segundo Godoy (2015) “O valor de TI (%) é baseado no incremento necessário da luminância de uma via para tornar visível um objeto que se tornou invisível devido ao ofuscamento inabilitador [sic] provocado pelas luminárias.”. A Equação 4 demonstra essa relação.

Equação 4

$$TI (\%) = 65 \times \left( \frac{L_v}{L_{med}^{0,8}} \right)$$

Onde: ( $L_v$ ) é a Luminância de velamento; e ( $L_{med}$ ) é a Luminância média do ambiente.

Em 2005, foram consumidos 114 terawatt-hora de eletricidade mundialmente apenas com Iluminação Pública nos países pertencentes à OECD (IEA, 2005). O consumo energético intenso aumenta a preocupação para a questão da eficiência energética nas últimas décadas. Nesse contexto, as diversas tecnologias para iluminação têm evoluído no sentido de reduzir seu consumo energético e aperfeiçoar a qualidade da iluminação dos ambientes internos e externos.

A tecnologia LED alcança níveis cada vez maiores de qualidade e eficiência energética, ganhando espaço nos diversos nichos do mercado da iluminação. Ao alcançar potências e fluxos luminosos cada vez maiores, com possibilidades cromáticas variadas, maior tempo de vida e diminuição do uso componentes tóxicos na sua fabricação passam a atender as necessidades da Iluminação Pública.

Conhecidos os principais fundamentos teóricos da Iluminação Pública, no capítulo a seguir é descrito o processo de evolução das tecnologias para Iluminação Pública, com enfoque na tecnologia LED, e o processo de evolução das tecnologias de controle e automação da Iluminação Pública.



### 3 EVOLUÇÃO DAS TECNOLOGIAS PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Para aplicações na Iluminação Pública e em outras áreas externas que exigem alto fluxo luminoso, as tecnologias disponíveis no mercado nos últimos dez anos têm evoluído significativamente. As lâmpadas HID dominaram o mercado por muitos anos até que a tecnologia LED foi sendo aperfeiçoada e testada para diversas aplicações, passando a alcançar fluxos luminosos cada vez mais altos até que as fabricantes do setor iniciaram sua produção em escala após avaliarem que era uma tecnologia viável economicamente. A Figura 24 contém exemplos de lâmpadas HID.



Figura 24 Lâmpadas de Descarga de Alta Intensidade HID

Fonte: Ilunato (2019)

As lâmpadas de Iodetos Metálicos, uma evolução das lâmpadas de Vapor de Mercúrio, possuem maior eficácia luminosa que a anterior e altíssimo IRC, portanto também faz jus a estar no rol das tecnologias em comparação. Para este trabalho, foram analisadas as lâmpadas de Vapor de Sódio de Alta Pressão, as lâmpadas de Vapor de Mercúrio de Alta Pressão, as lâmpadas de Iodetos Metálicos e lâmpadas ou luminárias integradas de LED.

#### 3.1 LÂMPADAS E LUMINÁRIAS DE LED

O Diodo Emissor de Luz (LED) pode ser definido como um dispositivo eletrônico que emite luz através de material sólido, semicondutor com polaridades positivas e negativas ao ser energizado por uma corrente elétrica (ABNT 62504) e (CEPEL, 2015). A Figura 25 ilustra a conformação básica do LED.



Figura 25 Esquema Estrutural do LED e funcionamento do Chip Semicondutor

Fonte: ConexLED (2015)

Os LEDs foram desenvolvidos nos anos 1960 e eram utilizados para sinalizar ações em aparelhos eletroeletrônicos (IEA, 2006) (CEPEL, 2015). Inicialmente os LEDs emitiam luz monocromática. O marco para a utilização do LED para fins de iluminação foi o desenvolvimento de LEDs que emitem luz branca, seja através da combinação dos LEDs monocromáticos existentes (Vermelho, Azul e Verde – RGB – sigla em inglês), seja pelo uso de uma substância fosforescente junto ao LED Azul que converte parte da radiação azul em luz Amarela que se mistura ao restante da luz Azul produzindo uma luz aparentemente branca (IEA, 2006) (CEPEL, 2015). A tecnologia dos LEDs evoluiu em sua configuração (encapsulamento) e níveis de potência. Os três principais são ilustrados no Quadro 2.

Tipo de LED	Pacote T	Montagem em superfície	COB ( <i>Chip on Board</i> )
Imagem do dispositivo			
Disposição (10mm x 10mm)			
Densidade	9 LEDs	40 LEDs	342 LEDs
Potência do Arranjo	0.4 Watts	4 Watts	68 Watts

Quadro 2 Tipos de Encapsulamento e Potência unitária dos LEDs

Fonte: Pro Photonix (2018)

A forma esférica do encapsulamento dos chips LED se dá pelo fato de que o feixe de luz LED sem a lente tende a ser fechado, ou seja, direcionado para frente. Por este motivo, os chips são recobertos por tampão difusor redondo. A Figura 26 ilustra os detalhes estruturais dos LEDs de Potência.

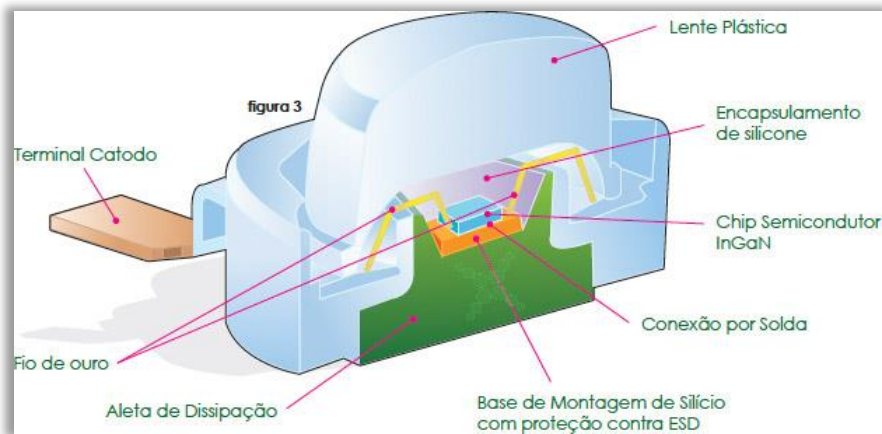


Figura 26 Estrutura Esquemática dos LEDs de potência (1W-5W)

Fonte: ConexLED (2015)

O LED COB possibilitou que múltiplas unidades de LED fossem agrupadas e encapsuladas em uma única placa contendo apenas um circuito e dois contatos (CEPEL, 2015). Com isso, as potências e fluxos luminosos atingiram maiores níveis, a facilidade de manipulação da placa admite diversos arranjos, o que permitiu sua aplicação em larga escala na iluminação. A Figura 27 contém um esquema com os componentes de uma luminária LED ilustrando em três níveis o LED COB.

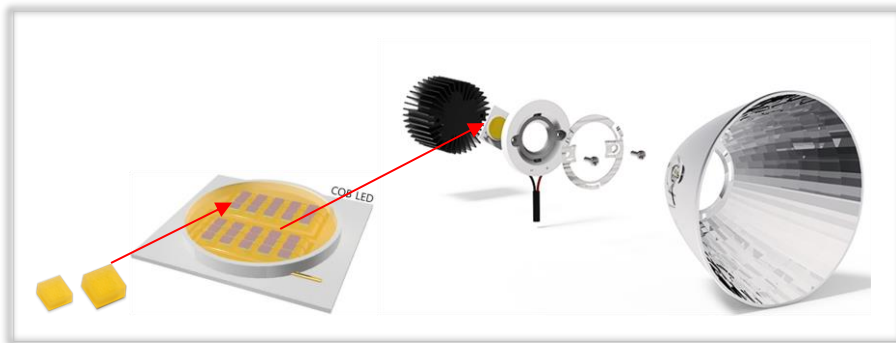


Figura 27 Componentes de uma luminária LED desmembrados e detalhamento do LED COB

Fontes: LUMILEDS (2019), Yoon, Yoshihiro, et al. (2018) e Digikey (2014)

Quanto a eficiência, os chips semicondutores LED alcançam cada vez maiores fluxos luminosos e potência em cada vez menores dimensões, alguns chegam até 140 lm/W em algumas fabricantes de chips LED, como a LUMILEDS e a CREE. Atualmente, os chips LED são mais resistentes e suportam maiores temperaturas. Quanto às características cromáticas, o LED apresenta uma variada gama de TCCs, cada vez maiores IRCs, chegando a valores de até 90. Quanto à sua Distribuição de Energia Espectral (SPD), o LED de luz branca fria (6.500K) apresenta uma configuração predominante do espectro azul (450nm), enquanto que o LED de luz branca neutra (4.200K) apresenta uma configuração espectral mais distribuída. Já os LEDs

de temperaturas de cor baixas (3.000K e 2.400K), com aspecto de luz morna, apresentam maior quantidade de espectro vermelho (630nm). O Gráfico 9 contém as SPDs para as TCCs mais comuns no mercado.

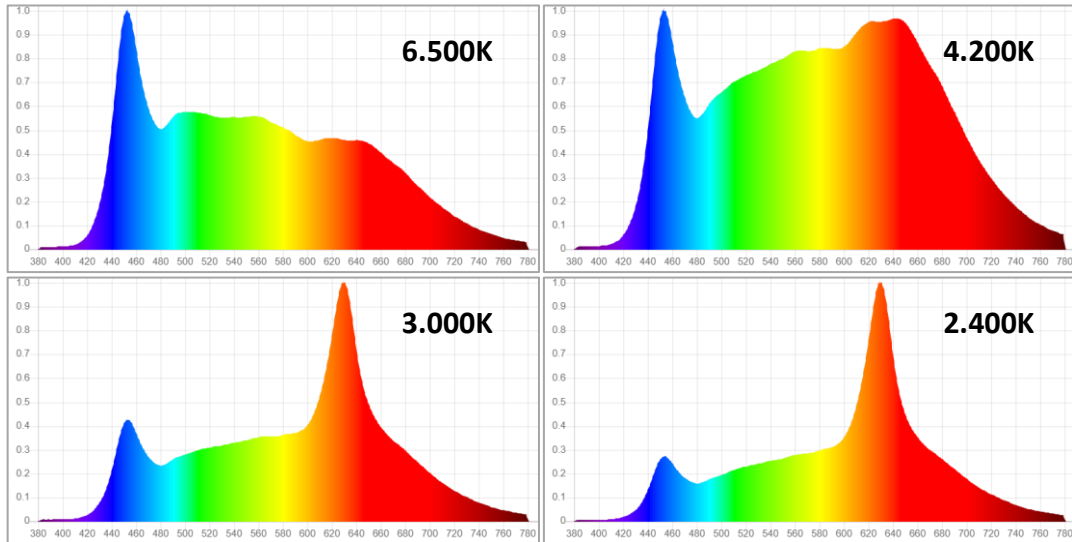


Gráfico 9 Distribuição de Energia Espectral (SPD) do LED para diferentes TCCs

Fonte: Waveform Lighting (2019), adaptação própria

### 3.1.1 Lâmpadas LED

Além das placas com arranjos de LED – fonte de luz, as lâmpadas de LED são compostas de dispositivos de controle e alimentação (*drivers*), dissipadores de calor, sistema óptico e estrutura mecânica (CEPEL, 2015). A Figura 28, apesar de ilustrar uma lâmpada tipo bulbo – que é mais utilizada para iluminação de interiores – apresenta os componentes básicos das lâmpadas LED, basicamente a mesma configuração das lâmpadas LED utilizadas para substituição das lâmpadas HID.



Figura 28 Esquema dos componentes das lâmpadas LED tipo bulbo.

Fonte: Viva Decora (2018) adaptação própria

A Figura 29 contém alguns exemplos dos tipos de lâmpadas LED que podem ser aplicados na Iluminação Pública em substituição às lâmpadas HID, especialmente para casos onde não se pretende substituir as luminárias tradicionais



Figura 29 Lâmpadas LED para substituição das lâmpadas HID para aplicação em ambientes externos

Fonte: Green Creative (2019)

### 3.1.2 Dispositivo de controle e alimentação (driver)

Os LEDs são dispositivos que “operam em baixa tensão e corrente elétrica, não podendo ser conectados diretamente à rede de energia elétrica” (CEPEL, 2015) necessitando de um dispositivo de controle e alimentação (*Driver*) que fornece tensão ou corrente constante para os LEDs de acordo com as especificações da lâmpada e sua aplicação e ainda “isolam o sistema de iluminação da rede de energia elétrica atenuando choques elétricos e flutuações de tensão” (CEPEL, 2015). Além disso, os *drivers* podem ser dimerizáveis ou ainda controlar a temperatura de cor correlata dos módulos de LED, desde que o LED seja passível de ajustabilidade de TCC. Os *drivers* podem estar embutidos indissociavelmente na lâmpada ou separados, no caso dos módulos e luminárias, como ilustrado na Figura 30.



Figura 30 Drivers para LED

Fonte: Fulham (2018)

### 3.1.3 Módulos de LED para ambientes externos

Os módulos de LED para ambientes externos são geralmente compostos por placas de LED com circuito impresso (PCB, sigla em inglês) e componentes adicionais. Assim como as Lâmpadas de LED, necessitam de um conjunto óptico, mecânico e eletrônico e conexão com um dispositivo de controle (ABNT, 2013). As lentes ópticas servem tanto para proteção mecânica e resistência às intempéries, quanto para distribuir a luz no ambiente, ou seja, assumem o papel dos difusores e difratores das luminárias tradicionais. A Figura 31 contém exemplos de placas de LED e de lentes ópticas para módulos LED.



Figura 31 Placas LED PCB e lentes ópticas para módulos

Fontes: Tridonic (2019) e BJB (2019)

Esses componentes necessitam ser montados numa estrutura mecânica robusta que tenha uma capacidade térmica baixa para facilitar a dissipação do calor proveniente das placas de LED. Geralmente encontra-se no mercado em alumínio devido ao baixo calor específico do material. A Figura 32 contém exemplos de dissipadores térmicos e um esquema de montagem dos módulos LED.



Figura 32 Esquema de montagem do módulo LED no dissipador térmico e dissipador enclausurado

Fontes: Opulent Americas (2017) e RapidLED (2019)



Os módulos de LED também podem ser utilizados para as situações onde não se pretende substituir as luminárias tradicionais, nesse caso são utilizados os módulos de LED embutidos para *retrofit*, conforme ilustrado na Figura 33.



Figura 33 Módulos de LED para *retrofit* de Luminárias em ambientes externos  
Fontes: Induction Lighting Fixtures (2017) e Light Efficient Design (2018)

Quando o conjunto completo de componentes do módulo LED é montado, ou seja, reúne a placa de LED, a lente óptica e dissipador térmico, pode-se classificar esse módulo LED como independente, pois “pode ser montado ou colocado separadamente de uma luminária” (ABNT, 2013) já que possui toda a proteção de segurança (mecânica e resistência às intempéries) necessária para ser exposta ao ambiente externo. A Figura 34 contém exemplos de módulos de LED independentes e a Figura 35 ilustra como os módulos de LED independentes podem ser agrupados em uma base com componentes eletrônicos embutidos e uma estrutura modular para montagem e serem facilmente substituíveis.



Figura 34 Módulos de LED independentes com e sem *driver* para aplicação em ambientes externos  
Fontes: Philips Lighting (2018) e FactorLED (2019)

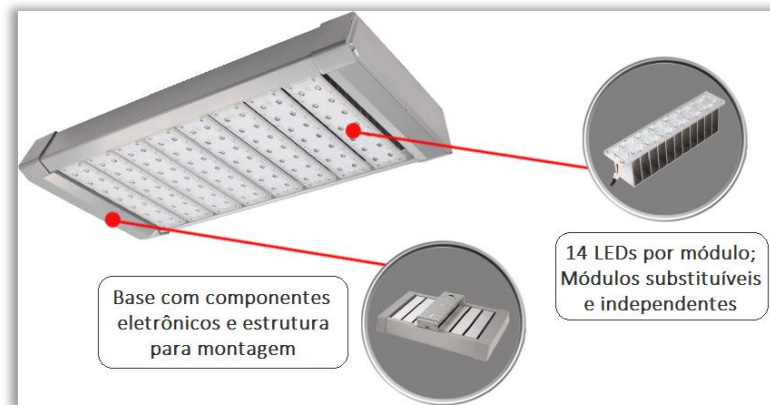


Figura 35 Módulos de LED independentes agrupados em estrutura modular

Fonte: SunriseLED (2019), adaptação própria

### 3.1.4 Luminárias de LED

As luminárias de LED possuem, diferentemente das luminárias tradicionais que abrigam as lâmpadas e demais componentes para funcionamento da fonte luminosa, possuem módulos de LED incorporados à luminária e os demais equipamentos acessórios do LED. Outra diferença importante é que o próprio módulo de LED já é o dispositivo óptico de distribuição do fluxo luminoso, dispensando o uso de refletores e outros componentes do sistema óptico das luminárias comuns. A Figura 36 ilustra esquematicamente a composição de uma luminária LED para iluminação de ambientes externos.

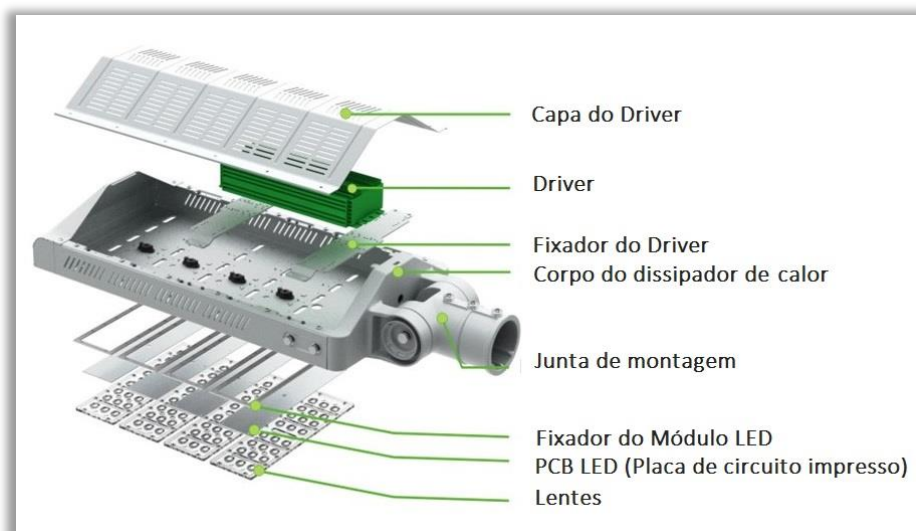


Figura 36 Esquema dos componentes das luminárias LED para Iluminação de ambientes externos.

Fonte: OSLEDER (2018), adaptação própria

As luminárias podem ser construídas com placas de LED diretamente embutidas no corpo da luminária, ilustrado na Figura 37, ou com módulos de LED independentes como na Figura 38.





Figura 37 Luminárias com LED embutidos

Fonte: EATON (2019)



Figura 38 Luminárias com módulos de LED

Fonte: EATON (2019)

Quanto às características ópticas do LED aplicáveis à Iluminação Pública, de acordo com DOE (2017), enquanto as temperaturas de cor típicas para o LED para sua aplicação nas áreas externas no começo de sua adoção eram de 5000K ou maiores, tem sido observado uma mudança no mercado em direção à TCCs mais neutras (4000K). Atualmente, já existe uma maior oferta de produtos com TCCs em torno de 3000K ou menores. Em relação ao IRC, a maior parte das luminárias apresenta CRI entre 70 e 80. Quanto à qualidade de energia, a maioria dos produtos possuem Fator de Potência maior que 0,90.

### 3.1.5 Adaptabilidade e Controlabilidade do LED

O LED entre todas as fontes de Luz é aquele que possui maior capacidade de variação de cores de luz emitida e por também contar com um regulador de corrente (*dimmer*). Conforme CEPTEL (2015), “a quantidade de luz fornecida pelo LED está relacionada diretamente com a intensidade de corrente elétrica, é importante que esta seja controlada”.

As duas principais funcionalidades ópticas do LED que são permitidas por luminárias compatíveis *drivers* que controlam os níveis de luminosidade (dimerização) e mudança nas Temperaturas de Cor na mesma luminária (*color tuning*).

### 3.1.6 Comparativo entre as lâmpadas para Iluminação Pública

O Quadro 3 contém um comparativo entre as lâmpadas utilizadas nos últimos vinte anos para Iluminação Pública de acordo com cada uma de suas características e aplicações. no país e também foram descritas como base para comparação.

Lâmpada	Características	Aplicações e Custo-benefício
<b>Vapor de Sódio de Alta Pressão</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lâmpadas de alta a muito alta eficácia;</li> <li>• Pobre a moderado IRC;</li> <li>• Períodos de aquecimento relativamente longos.</li> <li>• Eficiência luminosa entre 70-120 lm/W;</li> <li>• Vida útil da lâmpada de 5.000 a 30.000h;</li> <li>• Baixo a médio IRCs e</li> <li>• TCC baixa (luz em tons laranja-amarelado).</li> </ul>	Iluminação pública econômica e iluminação industrial onde não é necessário alto IRC.
<b>Vapor de Mercúrio de Alta Pressão</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lâmpadas de baixa a média eficácia;</li> <li>• IRC moderado;</li> <li>• Períodos de aquecimento relativamente longos.</li> <li>• Eficiência luminosa entre 23–60 lm/W;</li> <li>• Vida útil de 6.000 a 28.000h.</li> <li>• TCC baixa a média</li> </ul>	Principalmente usado para iluminação de pública, segurança e industrial. Baixos custos iniciais, mas não rentáveis ao longo do ciclo de vida da lâmpada, em comparação com alternativas equivalentes.
<b>Lâmpadas de Vapor Metálico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lâmpadas de média a alta eficácia;</li> <li>• Diversas opções de pacotes de lúmens;</li> <li>• Tempo de aquecimento de alguns minutos;</li> <li>• Escurecimento difícil;</li> <li>• Baixa manutenção do lúmen;</li> <li>• Eficiência luminosa entre 47–105 lm/W</li> <li>• Vida útil da lâmpada de 6.000 a 20.000h;</li> <li>• Alto IRC;</li> <li>• Ampla gama de TCC.</li> </ul>	Adequado para longas horas de operação. Mais comumente usada para iluminação industrial e de rua. São mais caras que as outras lâmpadas de vapor.
<b>LED</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta Eficácia luminosa 70 – 160lm/W;</li> <li>• Altíssima Vida útil 40.000 - 90.000h ou mais;</li> <li>• Alto IRC (70 - 90+);</li> <li>• Grande variedade de TCC (3000K-6500K).</li> <li>• Maior controlabilidade e ajustabilidade, ou seja, dimerizável instantaneamente e com possível mudança de temperatura de cor.</li> </ul>	Alto custo inicial, porém, econômica no consumo e no tempo de vida. Crescente aplicação na Iluminação Pública.

Quadro 3 Comparativo entre as Lâmpadas para Iluminação Pública conforme suas Características e Aplicações

Fonte: IEA (2006), adaptação própria

Baseados nos aspectos técnicos e econômicos – como fluxo luminoso, potência, eficácia luminosa, tempo de vida, perdas e depreciação do fluxo luminoso e alguns critérios qualitativos – baseados nos aspectos estéticos da luz – como TCC e IRC, são aspectos importantes na tomada de decisão da tecnologia a ser utilizada. Sob o aspecto econômico, o primeiro critério para comparação é a eficácia luminosa de cada tecnologia. O Gráfico 10 ilustra graficamente a eficácia luminosa de cada tecnologia aplicada à Iluminação Pública.

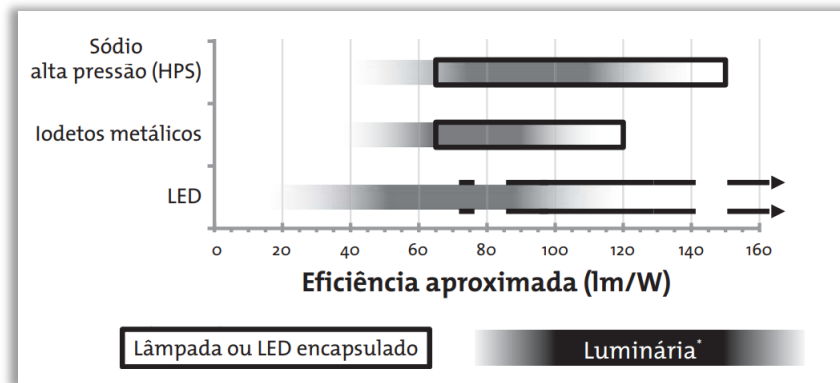


Gráfico 10 Eficiência luminosa das fontes de luz e das luminárias

Fonte: Teixeira, Rivera e Reiff (2016), adaptação própria

Porém, este não é o único critério a influenciar a escolha da tecnologia. O custo-benefício deve levar em consideração o tempo de vida da lâmpada e o custo da manutenção e reposição da lâmpada e dos acessórios agregados à cada tecnologia e o custo de aquisição inicial. A Tabela 1 ilustra a relação entre as duas características e adiciona o IRC como critério de comparação entre as tecnologias.

Tabela 1 Relação do IRC, Eficiência e Tempo de Vida

Tecnologia (lâmpada)	IRC	Eficiência (Lumens/W)	Tempo de vida (1.000 horas)
Vapor de Sódio de Alta Pressão	30	60-120	10-24
Vapor de Sódio de Baixa Pressão	5	200	10-24
Vapor de mercúrio	50	50	10
Iodetos metálicos	70-95	60-100	6-20
LED	70-90	Até 150	> 100

Fonte: Teixeira, Rivera e Reiff (2016), adaptação própria

Sobre o desempenho e tempo de vida das luminárias de LED, a Norma ABNT IEC/TS 62722-2-1:2016, reconhece as particularidades das luminárias LED, pois possuem outro tipo de configuração e requerem outro método de cálculo para vida útil<sup>11</sup>.

<sup>11</sup> Segundo a ABNT IEC/TS 62722-2-1 (ABNT, 2016), “a vida útil das luminárias LED é, na maioria dos casos, muito maior do que a praticada nos ensaios. Consequentemente, a verificação das afirmações de vida útil pelos fabricantes não pôde ser ensaiada de forma suficientemente confiável. Por essa razão, o nível de aceitação ou rejeição da declaração de vida útil por um fabricante, passado 25% da vida útil nominal (com o máximo de 6.000h), está fora do escopo desta Norma”.

A mesma Norma ainda afirma: “ao contrário da validação de vida útil, esta Norma optou por definir categorias de manutenção de lúmens em ensaios finitos. Portanto, o número da categoria não implica uma previsão da vida útil alcançada. As categorias são características de depreciação do fluxo luminoso, mostrando o comportamento de acordo com as informações do fabricante que as providenciou antes do ensaio ser realizado”. (ABNT, 2016)

Para completar, a Norma (ABNT, 2016) afirma que: “a fim de validar a afirmação da vida útil, um ensaio de extrapolação de dados é necessário. Um método geral de projetar os dados de medição para além do tempo de ensaio está sob consideração”

Quanto à Temperatura de Cor Correlata, e acordo com a tecnologia, pode oferecer uma gama maior de opções de TCC. É importante que no meio urbano sejam considerados as características do uso do solo e se a área possui características históricas. Por isso, as tecnologias que oferecem uma gama maior de TCC conseqüentemente poderão ter mais aplicações nas cidades. Quanto ao Índice de Reprodução de Cor, para a Iluminação Pública a exigência não é tão alta quanto na iluminação de interiores. No entanto, quando é muito baixa, pode afetar a visibilidade do entorno das vias e na identificação de pessoas e objetos.

Ambos critérios estão relacionados à percepção da luz pelos cidadãos, contidos no aspecto social e ambiental desta análise. As tecnologias podem ser comparadas se aferindo onde serão aplicadas e as preferências dos usuários. No caso da iluminação urbana, o usuário se constitui na população da cidade e por definição, diversa.

### **3.1.7 Efetividade Visual do fluxo luminoso**

Segundo a IEA (2006), existe um outro termo relacionado à eficácia luminosa: a ‘Utilidade Visual’ da luz emitida:

é determinada pela integração de sua energia radiante em cada comprimento de onda com a eficiência luminosa relativa desse comprimento de onda para o observador fotóptico padrão, isto é, ponderando a intensidade de luz em cada comprimento de onda pela magnitude da resposta visual humana naquele comprimento de onda e somando isso sobre o espectro da lâmpada (IEA, 2006)

Os fabricantes de lâmpada e luminárias se concentram, portanto, na faixa de sensibilidade espectral do olho humano para manufatura de fontes de luz mais eficientes. Porém, como a eficácia luminosa tradicionalmente se baseia no observador fotóptico padrão, dependendo da aplicação no ambiente, pode haver diferença significativa na real eficiência da lâmpada (IEA, 2006). Para IEA (2006), essa métrica não é tão boa para atestar o desempenho energético de uma lâmpada pois não considera a percepção do olho humano nas diferentes condições de exposição. Esse desempenho deve considerar efetivamente a qualidade da iluminação – não somente a quantidade – em função da energia que consome.

A Efetividade Visual do Fluxo Luminoso infere que os fluxos luminosos das lâmpadas podem diferir de acordo com o efeito na pupila humana. Cada tipo de lâmpada provoca uma impressão diferente na visão humana (SWANSON e CARLSON, 2012).

De acordo com EDP (2016), o processo de medição do fluxo luminoso de uma fonte é feito de acordo com a sensibilidade espectral dos cones (visão fotóptica) e os equipamentos de

medição fotométrica são usualmente calibrados para essa condição de ambiente. Contudo, alguns estudos apontam que “a distribuição espectral da fonte de luz tem, de facto [sic], efeito na visibilidade que ela produz” MOVE apud (EDP, 2016). A Tabela 2 faz uma comparação entre diversas fontes luminosas e sua eficácia ponderada pelas condições de exposição fotóptica e escotópica.

Tabela 2 Eficácia fotóptica e escotópica

<b>Fonte Luminosa</b>	<b>Eficácia Fotóptica (lm/W)</b>	<b>Eficácia Escotópica (lm/W)</b>
Vapor de Sódio de Alta Pressão	120	70
Vapor de Sódio de Baixa Pressão	190	40
Iodetos Metálicos	100	80
LED	140	200

Fonte: EDP (2016), adaptação própria

A Efetividade Visual do Fluxo Luminoso infere que os fluxos luminosos requeridos para outras lâmpadas podem diferir dos que o LED oferece (SWANSON e CARLSON, 2012). Isto ocorre porque o LED causa um efeito diferente na pupila humana. Isto implica dizer que:

- i: simplesmente medir os lúmenes não é bastante adequado para prever o quão bem as pessoas podem ver;
- ii: é prudente evitar basear-se apenas na quantidade de lúmens do catálogo, se planeja optar por indução ou dispositivos elétricos de LED como substituições para a tecnologia de HID existente nas rodovias. (SWANSON e CARLSON, 2012, p. 21-22)

No caso da Iluminação Pública, a eficácia luminosa irá variar, já que a visão humana irá captar a condição mesópica, como explicado no item 2.1.1. De acordo com MOVE apud (EDP, 2016), no que tange a visão mesópica, as pesquisas apontam que as fontes de luz branca – LED, por exemplo – são mais eficientes que as amareladas – vapor de sódio.

Conhecidos os principais aspectos e características do LED, no tópico a seguir é feita uma análise dos impactos da adoção do LED na Iluminação Pública.

### 3.2 ANÁLISE DOS IMPACTOS DO LED NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Diante da crescente adoção do LED na Iluminação Pública, este tópico analisa os impactos do uso do LED nos seres humanos e no ambiente urbano, sua influência na saúde e na segurança cidadã, bem como os aspectos subjetivos da iluminação no meio urbano como sensação de conforto e bem-estar.

### 3.2.1 Segurança Cidadã – violência urbana.

A Iluminação pública, além de influenciar diretamente na segurança no trânsito, também pode contribuir para inibir a violência urbana. Estudos indicam que a garantia da Iluminação Pública nas cidades pode ser crucial para a prevenção de crimes (FALSETE, 2013). Segundo Pease (1999), Welsh e Farrington (2008) apud Falsete (2013), afirmam que áreas iluminadas são menos propensas a prática de crimes, favorece a identificação da sociedade com o espaço urbano estimulando o bom uso deles. Além disso, em 2017 a Universidade de Chicago, através de seu laboratório de pesquisas sobre crimes publicou um estudo sobre o impacto da Iluminação Pública nos conjuntos habitacionais na cidade de Nova Iorque. (UCHICAGO, 2017), O estudo detectou em vários níveis uma redução expressiva na taxa de crimes (delitos, agressões, homicídios e crimes de armas), nas vias públicas no período noturno.

Com relação ao correto planejamento do sistema de Iluminação Pública com o objetivo de prevenir crimes no meio urbano, um artigo de Greg Ortt (2017), membro da IES, discute sobre a relação entre o projeto de iluminação em conformidade com as normas técnicas e um conceito conhecido como Prevenção do Crime Através do Design Ambiental (CPTED – sigla em inglês), inspirados em teóricos como C. Ray Jeffery, criminologista que considera extremamente importante projetar todo o ambiente com estratégias e elementos que visem combater o crime e Jane Jacobs com sua conhecida teoria dos ‘olhos na rua’ e que busca estabelecer propriedade e manter o espaço seguro.

Ortt (2017) defende uma colaboração de disciplinas para projetos no espaço urbano, não apenas para alcançar os objetivos da iluminação em particular, mas para conformar o espaço urbano num ambiente seguro que garanta o bem-estar social de forma holística. Com relação ao LED, Ortt (2017) também discute como a tecnologia LED pode mudar a percepção do reconhecimento do espaço, já que possui características que aprimora a qualidade visual do ambiente. De acordo com Ortt (2017):

A capacidade de ver em um mundo de LED versus um mundo de Vapor de Sódio de Alta Pressão mudou significativamente nossa percepção de reconhecimento espacial. Os LEDs são normalmente uma fonte de lâmpada de temperatura kelvin mais alta, por exemplo, 4100K, em oposição a HPS em torno de 2000K. Isso aprimorou nossa percepção visual junto com a uniformidade, criando um espaço uniformemente iluminado e uma experiência noturna mais limpa e mais brilhante. Essa visibilidade pode ajudar um indivíduo a observar melhor o ambiente e responder mais rapidamente a uma ameaça em potencial. (ORTT, 2017)

### 3.2.2 Saúde Humana

Os níveis de incomodidade com a iluminação noturna no meio urbano variam de pessoa para pessoa: o desconforto causado pela luz pode ser fruto de impressões subjetivas e preferências particulares, haja vista que algumas pessoas são mais sensíveis à luz que outras. No entanto, a luz artificial pode afetar diretamente a saúde dos seres humanos e influenciar no seu ritmo circadiano. Segundo a IEA (2006), os seres humanos possuem um relógio biológico que controla uma série de funções fisiológicas conforme um ciclo diário, ou seja, o ritmo circadiano. Este têm sido determinados pela exposição à luz, e algumas pesquisas investigam a sensibilidade de resposta humana aos níveis e espectros de luz (IEA, 2006). Para a IEA (2006):

A luz brilhante suprime a produção de melatonina, que é um hormônio produzido no cérebro durante a noite; seus níveis no corpo seguem um ciclo diário. Os níveis de melatonina afetam a produção de outros hormônios importantes, como o estrogênio e a serotonina. Para que o sistema circadiano funcione adequadamente, o corpo precisa de exposição a altos níveis de luz em momentos específicos do dia e com um espectro adequado. (IEA, 2006)

Em 2011, a IESNA (2011) publicou um estudo que afirma que:

A radiação óptica que atinge a retina não afeta apenas a forma como os seres humanos veem o mundo, mas também regula a fisiologia e o comportamento, tanto direta como indiretamente. Isso inclui efeitos agudos como suprimir a produção de melatonina, elevar a produção matinal de cortisol, aumentar a atenção subjetiva, melhorar o desempenho psicomotor, alterar os padrões de ativação cerebral para um estado mais alerta, elevar a frequência cardíaca, aumentar a temperatura corporal central, ativar a constrição da pupila e até estimular expressão gênica do relógio circadiano. (IESNA, 2018)

Os níveis de estresse causado pela má implantação da Iluminação Pública têm sido aferidos. Quanto à iluminação noturna, (STEVENS, BRAINARD, *et al.*, 2013) afirma que:

A interrupção da ritmicidade circadiana e do sono pelo uso indiscriminado da luz elétrica à noite pode aumentar o risco de muitas das doenças da vida moderna, incluindo não apenas certos tipos de câncer, mas também obesidade, diabetes e distúrbios psiquiátricos. Há também evidências emergentes de que a iluminação, o sono e a interrupção circadiana podem afetar o prognóstico no tratamento e na terapia. (STEVENS, BRAINARD, *et al.*, 2013)

Mais recentemente, a Associação Médica Americana (AMA, 2016) publicou um relatório polêmico sobre o efeito da aplicação do LED para iluminação comunitária na saúde humana e no meio ambiente. O relatório apontava que a distribuição espectral do LED teria um excesso do comprimento de onda azul, o que causaria danos à saúde humana. Além disso, recomenda que a temperatura de cor para aplicação na iluminação exterior seja em torno de 3000K. Este estudo, no entanto, foi tanto contestado quanto reiterado por diversas instituições de especialistas no setor ao redor do mundo. A IESNA demonstrou sua preocupação a respeito do

relatório afirmando que não contém informações acuradas e que “não possui nenhuma referência significativa” (IESNA, 2016), ou seja, não está fundamentado por pesquisas comprovadas. Já a Associação Internacional *Dark Sky* se absteve de fazer críticas ao relatório.

A influência da Iluminação Pública na saúde humana é um critério que deve ser definitivamente considerado, dado que independentemente da tecnologia utilizada, o propósito de qualquer serviço público é atender as necessidades dos cidadãos.

### **3.2.3 Sensação de conforto visual, segurança e bem-estar**

As sensações de conforto visual, segurança e bem-estar são critérios subjetivos, ou seja, difíceis de mensurar e generalizar, mas não são critérios menos importantes para a tomada de decisão a respeito de um sistema de Iluminação Pública. Segundo a IEA (2006), o conforto visual é mais difícil de ser definido que o desconforto visual, ou seja, é satisfeito através da eliminação do desconforto.

quanto mais subjetiva se torna a expressão de desconforto, e há evidências comprovadas de que as percepções de desconforto com a luz e seu corolário de “qualidade” são fortemente impulsionadas por fatores culturais e de expectativas, uma vez que o desconforto não ambíguo é evitado. Além disso, a pesquisa sobre as preferências do usuário para diferentes níveis de iluminância levou a uma reflexão sobre a adequação das recomendações do nível de iluminância que foram baseadas em descobertas estreitas de testes de acuidade visual. (IEA, 2006)

O caráter coletivo intrínseco do meio urbano, ou seja, não-individual, faz com que a escolha das características de cor da luminária e intensidade luminosa ignore as preferências do cidadão individualmente, ou seja, sendo a sensação de conforto algo particular do indivíduo, talvez não seja atendido na esfera da coletividade – o que ocorre em menos frequência na iluminação de interiores, especialmente a residencial, já que a decisão parte do usuário.

As decisões a respeito das características das luminárias são feitas basicamente considerando os níveis requeridos por Norma Técnica específica ou disponibilidade dos produtos de iluminação no mercado. Com relação às necessidades da população, geralmente são consideradas nos projetos de Iluminação Pública de forma global, ou seja, as características da iluminação são praticamente as mesmas em todo o território da cidade, salvos as diferenças nos níveis de iluminação de acordo com o tamanho das vias determinadas por Normas Técnicas.

Porém, existem diferenças entre as regiões da cidade, determinadas pela conformação da ocupação urbana. As leis de uso do solo, além de estabelecer parâmetros urbanos, delimitam as áreas de acordo com o perfil da área, residenciais, industriais, mistas, sítios históricos, etc... Os



projetos de Iluminação Pública deveriam dedicar mais atenção às características particulares de cada região da cidade, não apenas em termos de níveis de iluminação, mas também nos aspectos relacionados à cor, capacidade de percepção do entorno, acuidade visual, ou seja, aspectos qualitativos. As preferências cromáticas podem variar de acordo com o grupo cultural e com semelhanças cromáticas com a natureza. Segundo a IEA (2006),

Em latitudes mais ao norte, há uma preferência de mercado por iluminação com baixa temperatura de cor correlacionada (TCC), enquanto em latitudes mais equatoriais a preferência é geralmente por TCCs mais altas. Em parte, isto pode ser explicado pelo desejo de que a cromaticidade da luz artificial não seja excessivamente divergente da luz natural, dado que a cor média da luz do dia tende a ser mais quente (por exemplo, em direção a valores de TCC mais baixos) em latitudes menos equatoriais e mais frias em direção a valores mais elevados de TCC) em latitudes mais equatoriais. Mas as preferências culturais também são um forte fator. (IEA, 2006)

Com relação ao IRC, a IEA (2006) afirma que as fontes de luz “com um IRC acima de 80 tendem a dar cores de superfície mais saturadas que permitir uma percepção de maior brilho e clareza visual”. No entanto, a agência afirma que “há pouca evidência para sugerir que as pessoas realmente fazem distinções mais refinadas com base nos IRCs ou que existe uma forte preferência de qualquer maneira para níveis específicos de IRC entre 80 e 100. No caso da Iluminação Pública, um melhor IRC resulta em maior sensação de segurança por parte do transeunte, pois facilita o reconhecimento da área.

Nesse sentido, o LED por possuir maior gama de TCC e maior IRC em comparação com as outras tecnologias que o antecede oferece um maior número de possibilidades para incrementar a sensação de conforto, segurança e bem-estar dos seres humanos. Além disso, as novas possibilidades de cenário para a Iluminação Pública habilitadas pela ajustabilidade e controlabilidade das luminárias de LED podem contribuir para minimizar os efeitos da iluminação no ambiente urbano e nos seres humanos e aumentar o bem-estar da coletividade, sem afetar as características particulares de cada local, históricas e preferências culturais.

Assim como houve uma evolução expressiva da tecnologia LED e o desenvolvimento de novos recursos para luminárias, como a dimerização e o ajuste de TCC numa mesma luminária, as tecnologias de controle também evoluíram. No tópico a seguir, descreve-se a evolução das tecnologias de controle e automação para Iluminação Pública.

### 3.3 TECNOLOGIAS DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Para controlar um parque de Iluminação Pública de uma cidade, os dispositivos de controle de acendimento das luminárias são essenciais para regular a operação do parque de forma automática, isto é, acendimento e desligamento das luminárias nos horários que são requeridas. Atualmente, os dispositivos mais utilizados são os dispositivos fotocontroladores, conhecidos como Relé Fotoelétricos. Os dispositivos fotocontroladores contam com uma fotocélula responsável pelo acionamento elétrico do equipamento ao detectar a presença de pouca luminosidade ambiente, em função do nível de iluminamento. Como ilustrado no item 2.2.4, podem estar acoplados diretamente em cada luminária (comando individual) ou a uma chave magnética que comanda um conjunto de luminárias (comando em grupo) (IBAM, 2018). Pode ou não conter um temporizador. A grande vantagem do uso desse sistema de controle é o baixo custo de aquisição do equipamento comparado ao custo de outras tecnologias, contudo, não são capazes de identificar falhas na luminária ou em si próprio (quando o relé fotoelétrico não funciona corretamente) (EDP, 2016).

Outro dispositivo utilizado na Iluminação Pública é o temporizador analógico, que ativa e desativa a luminária conforme o horário de funcionamento estipulado na programação manualmente, ou seja, não considera as condições do ambiente por não possuir sensores. Esses dispositivos não são eficientes pois em latitudes mais afastadas da Linha do Equador, os horários de nascer e pôr-do-sol se diferenciam ao longo do ano, conforme ilustra a Figura 39, logo os intervalos de funcionamento teriam que ser reprogramados com frequência. Além disso, as condições climáticas também influenciam na necessidade de funcionamento das luminárias durante o dia (tempestades, neblina, etc...) (EDP, 2016).

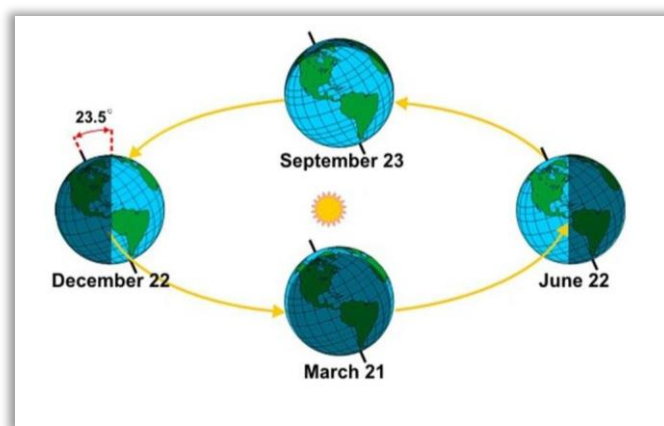


Figura 39 Estações do Ano

Fonte: McCarthy (2018), adaptação própria

O relógio astronômico, por sua vez, consegue ativar e desativar as luminárias de acordo com o ciclo solar da posição geográfica (latitude e longitude) do sistema ao longo do ano. O Quadro 4 contém os horários do Amanhecer e Anoitecer para as datas de início das estações do ano e o Gráfico 11 ilustra os horários de funcionamento de uma rede de Iluminação Pública para a cidade do Rio de Janeiro.

<b>Localidade:</b>	<b>Longitude:</b>	43:12:27
Rio de Janeiro - RJ	<b>Latitude:</b>	-22:54:10
<b>Datas:</b>	<b>Nascer</b>	<b>Ocaso</b>
21-Mar	5:57	18:03
22-Jun	6:33	17:17
23-Sep	5:42	17:50
22-Dec	5:05	18:38

Quadro 4 Horários do Amanhecer e Anoitecer na cidade do Rio de Janeiro (Ano 2019)

Fonte: Observatório Nacional (2019), elaboração própria

<b>Datas:</b>	<b>Horário de funcionamento das luminárias (horas)</b>																													
	17:00	17:30	18:00	18:30	19:00	19:30	20:00	20:30	21:00	21:30	22:00	22:30	23:00	23:30	0:00	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	6:30	7:00	
21-Mar																														
22-Jun																														
23-Sep																														
22-Dez																														

Gráfico 11 Horários de funcionamento baseados nas estações do ano para a posição geográfica do Rio de Janeiro

Fonte: Elaboração própria baseado em EDP (2016) e Observatório Nacional (2019)

Nos últimos anos as tecnologias para controle dos Sistemas de Iluminação Pública têm evoluído na busca de alcançar maiores níveis de eficiência energética e da gestão e operação de todos os equipamentos componentes do sistema. As duas mais conhecidas são as Tecnologias de Regulação de Fluxo e a Telegestão (EDP, 2016).

### 3.3.1 Tecnologias de Regulação de Fluxo

Os reguladores de fluxo atuam na luminária ou no conjunto delas através da “regulação por tensão, por corrente, ou variação da frequência” (EDP, 2016) e podem ou não estar associados a outros sistemas de controle. Podem ser de dois tipos: Reguladores de fluxo de cabeceira ou Reatores eletrônicos reguláveis.

Os Reguladores de fluxo de cabeceira controlam “projeto de arranque, estabilização e

redução do consumo da potência instalada” (EDP, 2016) após um comando local (por sensor fotoelétrico ou relógio astronômico) ou remoto (por telegestão), e pode preestabelecer valores de tensão de alimentação das lâmpadas ao longo do período de operação. Esse sistema de controle pode reduzir os níveis de iluminação nas horas em que não há tanta necessidade de luminosidade, respeitados os requisitos normativos. É importante que as transições sejam lentas e imperceptíveis aos usuários. O Gráfico 12 ilustra um cenário de funcionamento desse sistema.



Gráfico 12 Exemplo de funcionamento de um Regulador de Fluxo ao longo do período noturno

Fonte: EDP (2016)

São compatíveis com as Lâmpadas HID desde que a redução não seja abaixo da tensão mínima de funcionamento de cada lâmpada do sistema, e com o LED, que é mais suscetível ao controle do fluxo de potência. A desvantagem dos reguladores de fluxo à cabeceira, dependendo da extensão do conjunto de luminárias a controlar, poderá não distribuir a tensão proporcionalmente do início ao fim do circuito, ocasionando o não acendimento ou reacendimento de parte das lâmpadas. A grande vantagem desse sistema, além de ser capaz de variar a intensidade luminosa da lâmpada no período de operação, estabilizam a tensão que chega à lâmpada e evita a tensão excessiva, aumentando o tempo de vida da lâmpada, diminuem o consumo de energia e a depreciação do fluxo luminoso (EDP, 2016).

Os Reatores eletrônicos reguláveis (ou dimerizáveis) são aqueles que regulam eletronicamente o fluxo luminoso para lâmpadas HID. Essa regulação tanto pode ser de acordo com níveis preestabelecidos ou por variação contínua em que o fluxo luminoso pode mudar suavemente. Este último utiliza um sinal analógico de tensão contínua entre 1-10V e o fluxo luminoso será proporcional à tensão. Para LED, a dimerização é cada vez mais encontrada no mercado, porém o custo ainda é elevado.

A regulação feita digitalmente pelo sistema de controle traz novas possibilidades de controle das luminárias. Esses controles “permitem comunicação bidirecional, “interrogando” a luminária acerca do seu estado operacional, e controlá-la em conformidade” (EDP, 2016). Os dois principais modelos diferem sobretudo quanto ao protocolo de transmissão de dados, são eles o DSI, sigla em inglês para *Digital Serial Interface* e DALI, sigla em inglês para *Digital Addressable Lighting Interface* e são utilizados nos Sistemas de Telegestão (EDP, 2016).

### 3.3.2 Sistemas de Telegestão

Gerir um parque de Iluminação Pública é um desafio proporcional ao seu tamanho. Os sistemas de controle da iluminação por telegestão representam um marco no setor, visto que suas possibilidades de monitoramento remoto e controle adaptativos das luminárias permitem um maior refinamento na gestão da Iluminação Pública, aumentando a eficiência energética, diminuindo os custos de manutenção e adaptando os equipamentos conforme as necessidades particulares de cada região onde se encontram. Segundo EDP (2016), a telegestão permite:

uma rede Iluminação Pública mais eficiente capaz de se adaptar às necessidades de cada momento (tráfego pedestre e viário e condições climatéricas); adaptar o fluxo luminoso em função da iluminação ambiente; detetar [sic] impactos ou derrubes dos postes de iluminação; controlar o tempo de vida dos pontos de luz e localizar eventuais falhas. (EDP, 2016)

Ainda de acordo com (EDP, 2016), os componentes mais encontrados nos sistemas de controle por telegestão são:

- Controlador de luminária (CL) que é o “aparelho que faz o controlo [sic] do balastro/driver programável da fonte de luz e de todos os sensores existentes na luminária, proporcionando um sistema de iluminação dinâmico”;
- Controlador de segmento (CS) que é o “canal de comunicação das luminárias”;
- Sistema de gestão central (SGC) que “controla os vários segmentos do sistema de Iluminação Pública, gerindo a informação transmitida pelos controladores (da luminária e de segmento)”.

A Figura 40 representa graficamente os componentes de um sistema de telegestão com diferentes tipos de rede de comunicação.

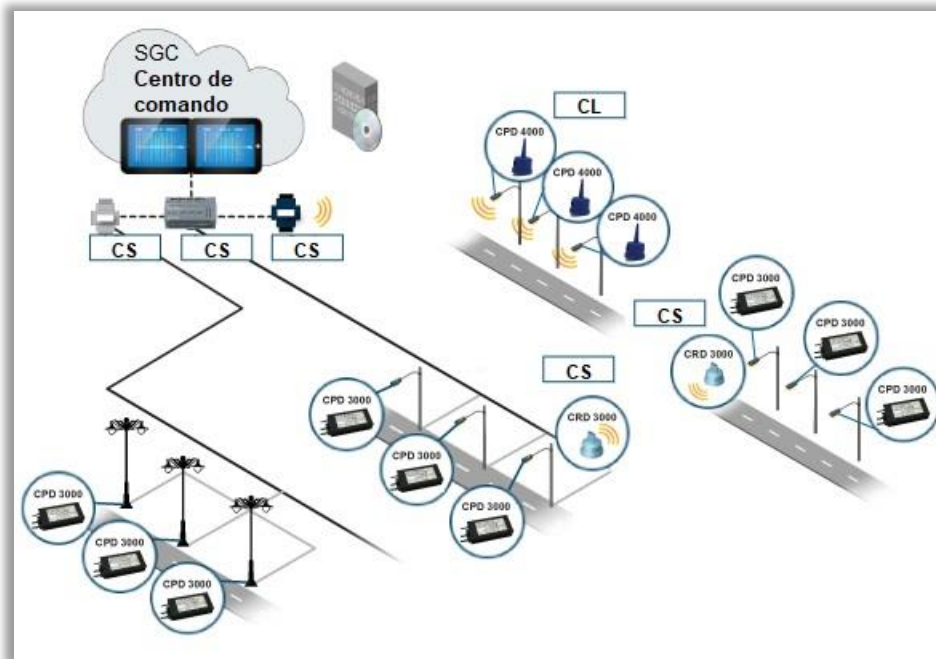


Figura 40 Componentes de um sistema de telegestão

Fonte: Digikey (2016), adaptação própria

Os sistemas de controle da Iluminação Pública através da telegestão ainda estão em fase de consolidação mundialmente. O LED possibilitou a evolução dos Sistemas de Iluminação aplicadas no meio urbano graças à sua controlabilidade.

Atualmente, novas formas de controle automático e gestão dos parques de Iluminação Pública estão sendo desenvolvidas. Com os avanços das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) que culminaram no desenvolvimento da Internet das Coisas (IoT), as tecnologias para controle, monitoramento, operação e gestão da Iluminação Pública têm evoluído e estão agregando os dispositivos conectados da IoT.

O aperfeiçoamento dos componentes ópticos e eletrônicos das luminárias de LED, dada sua maior compatibilidade com esses dispositivos eletrônicos, visto que a corrente elétrica para operação de ambos é a mesma (corrente contínua), logo, são mais suscetíveis à atuação destes (DOE, 2016), o que conferiu maiores funcionalidades às luminárias no contexto da hiperconectividade da IoT. Com a maior oferta de luminárias de LED e com maior controlabilidade, devido aos novos recursos funcionais (conectividade e monitoramento), e ajustabilidade das características ópticas (controle da intensidade, temperatura de cor, etc.), o LED proporciona um ambiente favorável para a adoção da IoT na Iluminação Pública.

O uso dos dispositivos IoT, além de melhorar o desempenho energético e operacional da rede de Iluminação Pública, permite que outros serviços urbanos se beneficiem de sua

infraestrutura. Deste modo, pode-se otimizar a utilização dos recursos municipais e a prestação dos serviços urbanos através da análise dos dados coletados, que podem também ser empregados para a gestão integrada e planejamento estratégico das cidades. Portanto, considera-se que a aplicação da IoT na Iluminação Pública é uma das mais viáveis iniciativas em direção às Cidades Inteligentes mundialmente. Com isso, a Iluminação Pública alcançou mundialmente um novo patamar no contexto das Cidades Inteligentes.

No capítulo seguinte é discutida a adoção da IoT na Iluminação Pública no contexto das Cidades Inteligentes, apresentando o conceito de Cidades Inteligentes relacionando-os com a Iluminação Pública, uma de suas vertentes, os fundamentos da IoT e por fim, será discutida a utilização da Internet das Coisas na Iluminação Pública – tanto para controle da iluminação quanto para gestão urbana integrada utilizando a infraestrutura de Iluminação Pública, seus critérios e impactos nas cidades.

## **4 A INTERNET DAS COISAS NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA PARA CIDADES INTELIGENTES**

Na última década, a busca por soluções para os problemas causados pelo crescimento acelerado e desordenado das cidades impulsionou o desenvolvimento de tecnologias que visam dar resposta a alguns problemas decorrentes da urbanização intensa. Neste contexto, a Internet das Coisas (IoT) e sua aplicação no meio urbano representa um grande avanço para as cidades pois está transformando a maneira de se gerir e planejar seu território (BNDES, 2017). O ambiente da IoT e sua aplicação nas cidades através da infraestrutura de Iluminação Pública pode auxiliar na tomada de decisão dos gestores urbanos a respeito das situações atuais e futura das cidades, tornando-as mais inteligentes e sustentáveis.

Neste capítulo, são discutidas as principais potencialidades do uso da estrutura da Iluminação Pública para utilização de dispositivos que sirvam não somente para o sistema de Iluminação Pública em si, mas que contribuam para outros sistemas urbanos. Esses dispositivos que fazem parte do ambiente hiperconectado da IoT e podem coletar, processar e transmitir dados que servirão como indicadores para monitoramento de sistemas urbanos como segurança pública, mobilidade urbana, monitoramento de desastres naturais, etc.

Nesse sentido, neste capítulo é apresentado os principais conceitos e definições de Cidade Inteligente e explica como a IoT e sua aplicação na infraestrutura de Iluminação Pública pode ser determinante na conformação de Cidades Inteligentes. Para isso, é necessário primeiramente compreender o significado do conceito de Cidades Inteligentes e de forma mais abrangente o significado da Internet das Coisas, seus conceitos básicos, elementos, características de seus componentes e suas principais aplicações com ênfase nas cidades.

Além dos aspectos técnicos da aplicação da IoT na infraestrutura de Iluminação Pública, neste capítulo é apresentado uma discussão de como essa infraestrutura pode se tornar um instrumento de gerenciamento e planejamento das cidades, alinhados aos indicadores de Cidades Inteligentes da ISO 37122:2019.

### **4.1 CIDADES INTELIGENTES E A ILUMINAÇÃO PÚBLICA**

Um dos maiores desafios das cidades ao redor do mundo reside na dificuldade de aplicação dos recursos de forma a garantir seu desenvolvimento de forma sustentável e responsável. As Cidades Inteligentes buscam a interrelação entre os serviços urbanos para que sejam prestados de forma mais eficiente (FGV, 2015).



No contexto das Cidades Inteligentes, a Iluminação Pública pode assumir outras funções além daquelas preestabelecidas pelas Normas Técnicas e legislação. Sobretudo por conta do seu posicionamento privilegiado no alto dos postes, a infraestrutura de Iluminação Pública permite hospedar dispositivos que monitoram a dinâmica da cidade que se comunicam entre si através da internet.

Os Centros de Monitoramento e Operação das cidades são exemplos da utilização da infraestrutura de Iluminação Pública para ancoragem de diversos equipamentos que ajudam a monitorar a cidade. Desde câmeras de segurança para monitoramento do tráfego e segurança nas ruas e sensores que detectam poluição ambiental, até sensores que podem detectar eventos específicos, como deslizamentos, acidentes e até disparos de armas de fogo (FGV, 2015).

Esses equipamentos coletam dados em tempo real que são transmitidos para os Centros de Controle e Monitoramento das cidades através de dispositivos conectados à internet, seja via cabo (fibra ótica, ethernet) ou redes sem fio (wireless). Os Centros de Operações e Monitoramento acompanham e processam os dados e imagens coletados pelos equipamentos acoplados à infraestrutura de Iluminação Pública e posteriormente informa a população caso haja complicações nos diversos sistemas urbanos, risco ou perigo iminente (FGV, 2015).

O volume e o fluxo contínuo de dados coletados por esses sensores só são possíveis de serem processados e transmitidos num ambiente hiperconectado (MAGRANI, 2018). A evolução da internet foi determinante para criar esse cenário onde os objetos variados têm a capacidade de interagir entre si e com as pessoas para resolução de problemas em tempo real. Além disso, a compactação dos computadores também foi determinante para permitir que objetos pudessem acolher esses dispositivos para sensoriamento, identificação, comunicação e interação.

A Internet das Coisas é o termo que traduz esse fenômeno onde os objetos possuem novas funcionalidades graças aos avanços das Tecnologias de Informação e Comunicação<sup>12</sup> (TICs). (MAGRANI, 2018). A grande quantidade de objetos conectados também gera um enorme volume de dados e capacidade de processamento desses dados. O Big Data é também um fenômeno decorrente da evolução da internet, anterior ao desenvolvimento da IoT, mas que sofre influência deste e oferece novas formas de armazenamento e processamento desses dados

---

<sup>12</sup> Segundo a ISO/IEC TR 24704:2004, as TICs podem ser definidas como um “grupo de aplicações que utilizam tecnologias de informação e comunicações (telecomunicações)” (ISO, 2004). Já a ISO/IEC 29138-1:2018, caracteriza a Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) como a “tecnologia para coleta, armazenamento, recuperação, processamento, análise e transmissão de informações” (ISO, 2018)

(MAGRANI, 2018). Combinado com os avanços na ciência que estuda o processamento e análise de dados, o Data Science, impulsionaram os sistemas de armazenamento e processamento virtual de dados, conhecido como Nuvem (*Cloud Computing*).

A partir da análise dos dados coletados pelos sensores conectados aplicados no meio urbano, é possível captar indicadores urbanos dentro de suas variáveis temporais e espaciais, já que a cidade é um organismo dinâmico. Além disso, esses sistemas permitem maior interatividade com os habitantes. Com esses dados, é possível a tomada de decisões mais efetivas por parte do poder público. Com a correta análise dos dados, pode-se gerar economia na aplicação dos recursos públicos e melhor coordenação do seu território (VERMESAN e FRIESS, 2013). A Figura 41 contém uma ilustração de uma plataforma de sistemas inteligentes com o uso da Internet das Coisas.

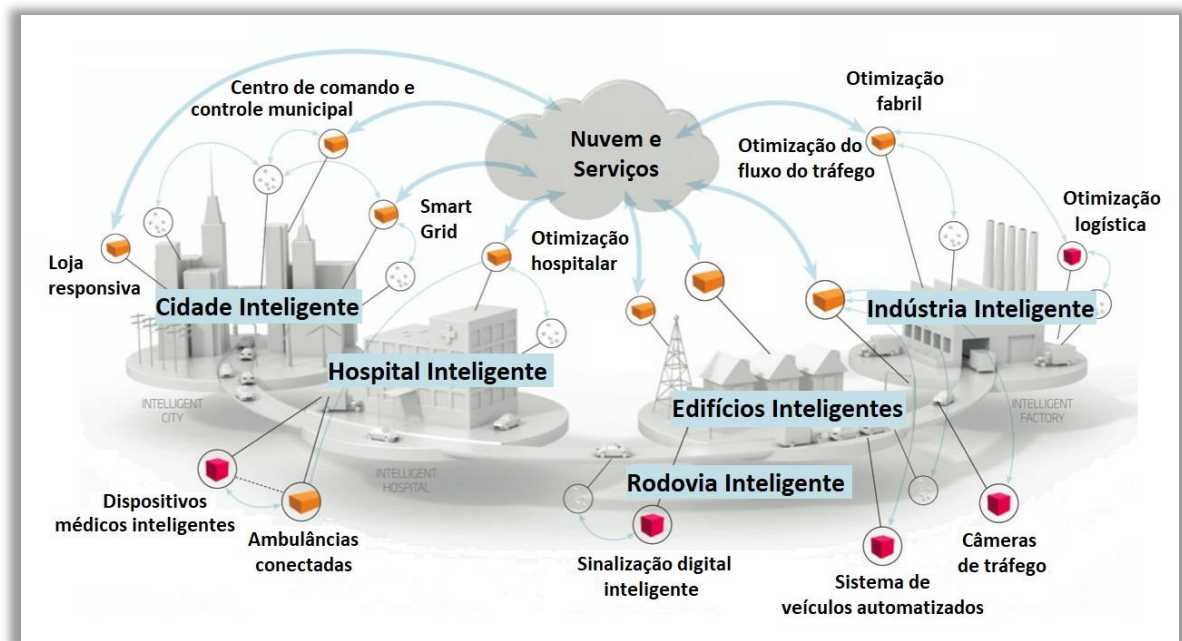


Figura 41 Internet das Coisas: Plataforma de sistemas inteligentes

Fonte: Vermesan e Friess (2013), adaptação própria a partir de NextgenLog (2012)

Contudo, surge o questionamento do que é Cidades Inteligentes, seu significado e o quanto, de forma objetiva, uma cidade pode ser considerada inteligente. A Norma ISO 37122:2019 (ISO, 2019) – Desenvolvimento Sustentável em Comunidades - indicadores de Cidades Inteligentes, norma internacional que foi publicada esse ano propõe uma definição mais abrangente de Cidades Inteligentes e inclui, entre outros indicadores a modernização da Iluminação Pública como indicador de Cidade Inteligente.

#### 4.1.1 Normas para o Desenvolvimento Sustentável em Comunidades e Cidades Inteligentes

Como forma de acompanhar a urbanização crescente das cidades, fenômeno que culmina na sobrecarga da infraestrutura e dos serviços urbanos, os gestores urbanos precisam criar políticas efetivas para planejamento e gestão do seu território baseadas em evidências confiáveis para auxiliar nas suas tomadas de decisões. Diversas metodologias para medição do desempenho das cidades foram desenvolvidas ao redor do mundo, no entanto, com tantos indicadores, as cidades continuam com dificuldade de estabelecer a melhor estratégia de desenvolvimento sustentável e de ter um ponto de referência para comparação de suas políticas em relação às melhores práticas.

Nesse contexto, a Norma ISO 37120:2018 (Indicadores para serviços municipais e qualidade de vida em comunidades) foi desenvolvida no intuito de reunir indicadores urbanos para sustentabilidade que “fornecer uma abordagem uniforme do que é medido e como” (ISO, 2018). De acordo com o portal da organização, isto significa que agora as “cidades sejam capazes de se comunicar entre si usando dados globalmente padronizados e comparáveis, permitindo-lhes obter *insights* sobre outras cidades e aprender umas com as outras” (ISO, 2018). Esta norma é complementada por duas outras normas sobre indicadores para cidades inteligentes e para cidades resilientes, esta última – ainda em fase de consulta pública.

As Normas para Desenvolvimento Sustentável em Comunidades ISO 37122:2019 indicadores para cidades Inteligentes e ISO 37123, indicadores para cidades resilientes são complementares à Norma ISO 37120:2018 como pode ser observada na Figura 42.



Figura 42 Conjunto completo de indicadores para Cidades Inteligentes

Fonte: ISO (2019)

Além disso, também foi publicada a Norma ISO 37106:2018 (Cidades e Comunidades Sustentáveis: orientação sobre o estabelecimento de modelos operacionais de Cidades Inteligentes para comunidades sustentáveis) que “fornece um conjunto de ferramentas de

práticas inteligentes para gerenciar governança, serviços, dados e sistemas em toda a cidade em uma colaboração e forma digital habilitada” (ISO, 2018), de acordo com o site da instituição. Esta norma foi criada para “dar aos líderes da cidade orientação sobre como desenvolver um modelo eficaz para sua cidade que pode ajudá-los a alcançar seus objetivos de sustentabilidade”.

Essas Normas fazem parte da série de Normas ISO 37100:2016, que ainda inclui ISO 37101:2016 (Desenvolvimento Sustentável em Comunidades: sistema de gestão para o desenvolvimento sustentável – requisitos com orientação para uso), a norma global de sistemas de gestão para o desenvolvimento sustentável nas comunidades. Por fim, contribuem para alcançar alguns Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU), incluindo o ODS11 Cidades e comunidades sustentáveis (tornar cidades e assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis) e especialmente os indicadores de Energia da ISO 37122:2019 contribuem indiretamente para o SDG7 Energia limpa e acessível (garantir o acesso à energia acessível, confiável, sustentável e moderna para todos) e diretrizes e requisitos para soluções para eficiência energética.

A Norma ISO 37122:2019 – Desenvolvimento Sustentável em Comunidades: Indicadores de Cidades Inteligentes estabelece indicadores e metodologias para medir e considerar aspectos e práticas para as Cidades Inteligentes (ISO, 2019). A norma defende que implementação de políticas de cidades inteligentes podem:

Proporcionar melhores serviços para os cidadãos; Proporcionar um melhor ambiente de vida em que políticas, práticas e tecnologias inteligentes sejam colocadas a serviço dos cidadãos; Alcançar seus objetivos ambientais e de sustentabilidade de forma mais inovadora; Identificar a necessidade de infraestrutura inteligente; Facilitar a inovação e o crescimento; Construir uma economia dinâmica e inovadora pronta para os desafios do amanhã. (ISO, 2019)

De acordo com esta Norma, uma Cidade Inteligente é definida como:

é aquela que aumenta o ritmo no qual ela fornece resultados de sustentabilidade social, econômica e ambiental. As cidades inteligentes respondem a desafios como mudança climática, rápido crescimento populacional e instabilidade política melhorando fundamentalmente a forma como envolvem a sociedade, aplicam métodos de liderança colaborativos, trabalham em disciplinas e sistemas municipais e usam dados e tecnologias modernas para oferecer melhores serviços e qualidade vida para aqueles na cidade (residentes, empresas, visitantes), agora e para o futuro previsível, sem desvantagem injusta dos outros ou degradação do ambiente natural. (ISO, 2019)

A Norma 37122:2019 foi criada para nortear e fornecer uma abordagem uniforme para definir com precisão o que é uma cidade inteligente, suas características, definindo os indicadores e metodologia para identificá-las com o objetivo de “ajudar as cidades a orientar e avaliar a gestão do desempenho dos serviços urbanos, bem como a qualidade de vida” (ISO, 2019). A lista de indicadores é baseada nos seguintes critérios:

“Integralidade: os indicadores têm de medir todos os aspectos relevantes para a avaliação da cidade inteligente; Neutralidade tecnológica: não favorecendo uma tecnologia sobre outra, existente ou futura; Simplicidade: os indicadores podem ser expressos e apresentados de forma compreensível e clara; Validade: os indicadores são uma reflexão exata dos fatos e os dados podem ser coletados usando técnicas científicas; Verificabilidade: os indicadores são verificáveis e reproduzíveis. As metodologias são suficientemente rigorosas para dar segurança ao nível de implementação dos critérios; Disponibilidade: dados de qualidade sejam disponíveis ou seja viável iniciar um processo de monitoramento seguro e confiável que será disponibilizado no futuro” (ISO, 2019)

Sobre a posse dos dados, esta Norma estabelece que:

As fontes de dados podem variar dependendo das cidades e podem ser diferentes das indicadas nesta Norma, no entanto, os dados devem ser verificáveis, auditáveis, confiáveis e justificados. As cidades podem não ter acesso a todos os dados exigidos para os indicadores dentro desta norma, como os serviços são realizados por um terceiro, no entanto, ainda é importante para as cidades para obter esses dados. Um componente importante das Cidades inteligentes é o papel das parcerias público-privadas e esta colaboração, incluindo a partilha de dados, deve ser incentivada. (ISO, 2019)

A Norma estabelece 85 indicadores distribuídos em 19 categorias, contemplando os diversos elementos estruturais das cidades como economia, transporte, educação, saúde, habitação etc. É importante ressaltar que a ISO não estabelece parâmetros para certificação de Cidades Inteligentes, pois isso compete aos organismos nacionais e subnacionais – como por exemplo as normas de desempenho de equipamentos e edifícios, mas é não apenas uma importante base de comparação para as cidades que buscam melhores formas de planejar e gerir seu território, como também procedimento metodológico para mensurar e nortear políticas urbanas mais inteligentes e eficazes.

#### **4.1.2 Indicadores sobre Iluminação Pública na ISO 37122:2019**

Os indicadores sobre Iluminação Pública Inteligente, dentre outros indicadores inclusos na categoria Energia, são:

- a) Percentagem de Iluminação Pública gerida remotamente por um Sistema de Gestão de Iluminação:

A Norma afirma que pontos de iluminação geridos remotamente “contribuem para uma maior eficiência energética e podem ser otimizados e adaptados no que diz respeito ao interruptor e ao escurecimento para utilização em qualquer área da cidade” (ISO, 2019). Além disso, “pode também potencialmente melhorar a segurança na cidade, onde qualquer falha de um ponto de luz que leva a ruas não suficientemente iluminadas pode ser imediatamente monitorado e localizado para resolver reparos rápidos” (ISO, 2019). Por fim, “O consumo de

energia real por ponto de luz pode ser medido e relatado exatamente com sistema de gestão de iluminação, a fim monitorar melhor o custo de energia e os sistemas de redução do CO<sub>2</sub>.” (ISO, 2019). O requisito desse indicador é calculado pelo número de pontos de luz que podem ser controlados por um sistema de gestão de luz remota dividido pelo número de pontos de luz total na cidade e convertido em porcentagem. Esse Sistema de Gestão de Iluminação deve ser:

Controlado por um sistema de gestão de iluminação remoto deve referir-se a interruptor desligar/ligar e dimerização de um ponto de luz que pode ser mudado individualmente e remotamente com um sistema baseado em TIC, que é conectado através de uma rede de comunicação para cada ponto de luz. Este sistema deve igualmente poder medir precisamente a energia elétrica consumida por cada ponto de luz único e indicar através do sistema baseado em TIC ao operador toda a falha ocorrida que afete o desempenho luminoso do ponto de luz. (ISO, 2019)

b) Percentagem de Iluminação Pública que foi remodelada:

Segundo a Norma, a “Iluminação Pública pode corresponder por até 15-50% do consumo total de energia elétrica dos municípios. Remodelando a iluminação urbana pode ajudar a melhorar a eficiência energética, reduzindo assim o consumo de energia com Iluminação Pública”. Além disso, a ISO 37122:2019 considera que:

A introdução recente no mercado de tecnologias eficientes energeticamente para a Iluminação Pública oferece alta economia de custo com tempos de *payback* comparativamente curtos. As economias anuais de custos de energia e manutenção podem, possivelmente, cobrir os custos de investimento e de capital. (ISO, 2019)

Esse indicador “reflete a questão da produção e do consumo econômico e sustentável contida na ISO 37101:2016. O requisito desse indicador é calculado pelo número de pontos de luz remodelados dividido pelo número de pontos de luz total na cidade e convertido em porcentagem. Considera-se remodelamento dos sistemas de Iluminação Pública existentes aquelas “atividades que têm como objetivo não só ajudar a diminuir o consumo de energia, mas também melhorar a eficiência energética do sistema de Iluminação Pública” (ISO, 2019), como por exemplo a troca dos reatores por outros mais eficientes e pode “incluem a atualização para tecnologias de iluminação de alta eficiência” (ISO, 2019), mas não se refere à remoção e/ou relocação de lâmpadas.

Esta Norma, é um importante instrumento e representa um grande avanço rumo às cidades inteligentes, pois padroniza um conjunto de indicadores, inclusive para Iluminação Pública. Apesar do LED não ser mencionado diretamente como requisito do indicador, assim como nenhuma tecnologia específica baseada em TIC para os Sistemas de gestão remota da Iluminação Pública, já que a norma possui neutralidade tecnológica, está implícito que as duas tecnologias estudadas nesse trabalho se alinham com os conceitos e indicadores da ISO

37122:2019. Nesse sentido, a aplicação do LED e da IoT na infraestrutura de Iluminação Pública é uma das mais viáveis formas de realizar projetos de Cidades Inteligentes, pois contribuem para construir seu arcabouço tecnológico base para coleta dos diversos dados.

Para compreender como as cidades podem se beneficiar da IoT através da sua aplicação tanto para controle da iluminação quanto para gestão urbana integrada utilizando a infraestrutura de Iluminação Pública é necessário conhecer o ambiente da IoT, seus elementos, suas principais características e facilitadores. O tópico a seguir aborda os fundamentos da IoT, comuns à todas as suas aplicações e introduz a discussão da sua aplicação nas cidades.

## 4.2 FUNDAMENTOS DA INTERNET DAS COISAS

A Internet das Coisas é um fenômeno possível graças à evolução de tecnologias que conformaram a base para que objetos do cotidiano se tornassem capazes de se conectar. Os principais ativadores da IoT são: ambiente hiperconectado e aumento exponencial da capacidade de processamento e armazenamento dos computadores em espaço físico cada vez menores. O aumento da velocidade e disponibilidade e diminuição do custo da Internet além da difusão da telefonia celular e ampliação da infraestrutura das telecomunicações para apoiar a crescente popularidade dos *smartphones* facilita a capacidade de objetos diversos de se conectarem a esse ambiente de hiperconectado, graças ao aumento da capacidade de processamento dos dados que trafegam na internet (MAGRANI, 2018). Outro fator importante foi a miniaturização dos microprocessadores compõem os dispositivos eletrônicos. A Tabela 3 contém a evolução da miniaturização dos transistores ao longo das últimas décadas.

Tabela 3 Miniaturização dos componentes de circuitos integrados

Tamanho	Ano	Tamanho	Ano
10 $\mu\text{m}$	1971	130 nm	2001
6 $\mu\text{m}$	1974	90 nm	2004
3 $\mu\text{m}$	1977	65 nm	2006
1.5 $\mu\text{m}$	1982	45 nm	2008
1 $\mu\text{m}$	1985	32 nm	2010
800 nm	1989	22 nm	2012
600 nm	1994	14 nm	2014
350 nm	1995	10 nm	2017
250 nm	1997	7 nm	2018
180 nm	1999	5 nm	2020

(Unidades de medida: micrômetro –  $\mu\text{m}$  e nanômetro – nm)

Fonte: Techplayon (2017), adaptação própria

Segundo hipótese formulada por Gordon E. Moore, cofundador da Intel, publicada na Revista *Electronics Magazine* em 1965 através da observação dos avanços tecnológicos na sua própria empresa, baseado na percepção das tendências emergentes na fabricação de chips na Intel, afirmou que “o número de transistores que podem ser embalados em uma determinada unidade de espaço vai dobrar a cada dois anos.” (MOORE, 1965). Para que haja o aumento do número de transistores num microchip, é necessário a diminuição de seu tamanho. A observação de Moore tornou-se uma previsão, que por sua vez tornou-se a regra de ouro conhecida como lei de Moore.

Com isso, o custo dos computadores diminui pela metade enquanto a velocidade e capacidade destes aumentará a cada dois anos. Um outro princípio da lei de Moore é que este crescimento na indústria dos microprocessadores é exponencial, o que significa que expande estável e rapidamente sobre o tempo (MOORE, 1965). Com o custo e tamanho diminuindo, a possibilidade de acoplar a objetos se torna mais viável. O Gráfico 13 mostra a evolução dos chips de circuito interno (microprocessadores) e destaca seis marcas conhecidas.

Todos esses fatores possibilitaram que os dispositivos embutidos em equipamentos (coisas) variados pudessem se comunicar massivamente entre si e com um computador central e coletar dados de acordo com os comandos configuráveis, computar padrões e até analisá-los. Ou seja, antes de se definir Internet das Coisas, é necessário compreender que esta não seria possível sem o avanço nas Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs), que já existiam antes, mas evoluíram a ponto de permitir a atual conjuntura de hiperconectividade (MAGRANI, 2018) (BNDES, 2017).

Segundo o estudo feito pelo BNDES (2017), os pré-requisitos utilizados para que sejam considerados casos de IoT são: “Recebimento de dados digitais vindos de sensores e/ou indo para atuadores; Conexão a uma rede fora do objeto; Capacidade de processar dados de forma automática (sem intervenção humana)”. O BNDES (2017) afirma que:

A diversidade de aplicações da IoT requer o desenvolvimento de inúmeras tecnologias, abrangendo desde o componente semiconductor, que permite a um sensor medir uma determinada grandeza física, passando por um chip, que transmite esse dado via radiofrequência, até um servidor que trata a informação, transformando-a em conhecimento e agregando-lhe valor. (BNDES, 2017)



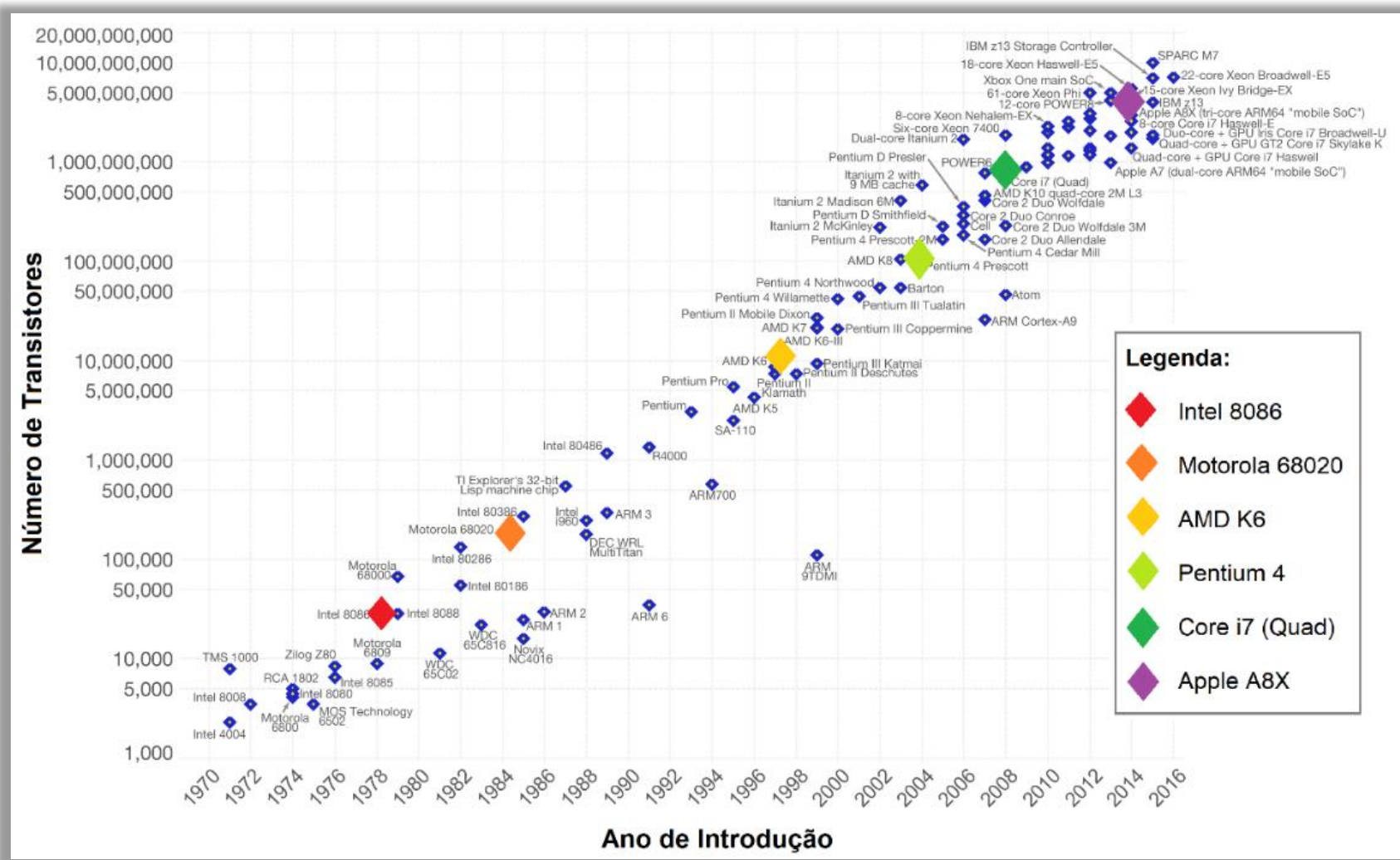


Gráfico 13 Número de transistores em Chips de Circuitos Integrados (1971-2016)

Fonte: Our World in Data (2013), adaptação própria

A evolução da Internet das Coisas foi marcada por diversas transformações no contexto da internet: desde as *tags* RFIDs e sensores, e suas respectivas redes de aquisição e transmissão de dados; passando pela criação de novos aplicativos e ferramentas de busca, processamento, análise e inteligência dos dados; pela popularização das redes sociais e dos dispositivos móveis, e conseqüentemente a ascensão do *Big Data* e Computação na Nuvem; até os dias atuais, com a explosão de dispositivos IoT em vários ambientes da sociedade, especialmente nas aplicações em ambientes de negócio e governo, demandando a análise em tempo real de um gigantesco volume de dados.

Não é objetivo desse trabalho, no entanto, realizar uma profunda análise da história da IoT, mas apresentar as suas principais definições numa perspectiva cronológica, seus elementos, características e aplicações observadas no atual contexto da sua evolução, bem como ilustrar os impactos de sua adoção.

#### 4.2.1 Definições de IoT

Existem muitas definições para o conceito “Internet das Coisas”, mas praticamente todas possuem o mesmo sentido. Entre as primeiras definições de IoT, no contexto da ascensão das *tags* RFID e das primeiras tecnologias pertencentes ao ambiente conceitual da IoT, inclui-se a convergência de diferentes perspectivas. De acordo com Aztori et al. (2010), as diferentes visões a respeito da IoT são provenientes das abordagens de diversos intervenientes do ambiente da Internet das Coisas. Alguns definiam a IoT sob a perspectiva das “coisas” e outros a definiam a partir de uma visão da “internet”, ou seja, da sua conectividade. Uma terceira visão, incorpora a vertente orientada pela “semântica<sup>13</sup>” dos dados. A Figura 43 contém um diagrama dessas diferentes visões da IoT numa das primeiras tentativas de definição da IoT.

---

<sup>13</sup> A semântica é um conceito utilizado no contexto da internet tradicional como forma de uniformizar os dados para serem facilmente analisados e processados pelos mecanismos de busca e bancos de dados. A Web Semântica criada por Tim Berners-Lee (1998), um sistema de dados ligados (*Linked Data*), que consiste numa solução em que os dados têm uma estrutura predefinida através de ontologias, que, por sua vez, são coleções de informações, uma espécie de vocabulário, contendo um formato específico para aquisição e processamento dos dados que formalmente define as relações entre os termos, organizados em forma de esquema que propõe definir essa estrutura de dados, separando-os por seus atributos (classes, subclasses, propriedades e subpropriedades) (BERNERS-LEE, 1998) (BERNERS-LEE, HENDLER e LASSILA, 2001)e (TOMA, SIMPERL e HENCH, 2009)

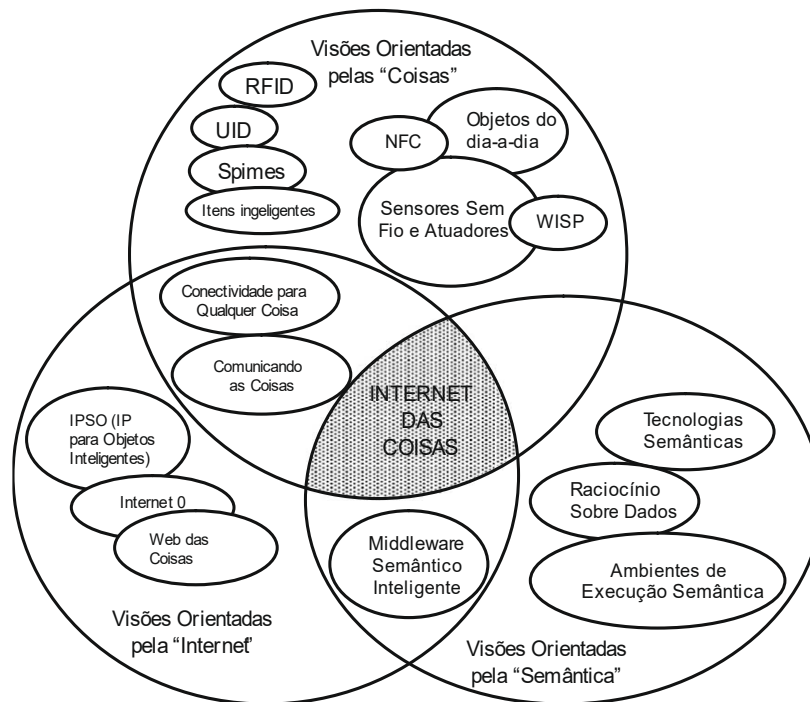


Figura 43 Convergência das Visões da Internet das Coisas

Fonte: Aztori et al. (2010)

Em sua forma mais simples, a IoT é a conexão de dispositivos e objetos a uma rede – normalmente a Internet – que lhes dá a capacidade de se comunicar uns com os outros, com pessoas e com sistemas adicionais. Embora o termo tenha surgido pela primeira vez na década de 1990<sup>14</sup>, não foi até os últimos 10 anos que houve uma tentativa formal de criar uma definição mais ampla que é aceita pela indústria.

Para este trabalho, as principais e mais significativas definições de IoT consideradas foram a da União Internacional das Telecomunicações – ITU<sup>15</sup>, do Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos – IEEE e da Organização Internacional para Normalização – ISO.

A definição de IoT feita pela ITU e citada por Vermesan e Friess (2013) e pelo BNDES (2017), é uma das mais consolidadas no mundo e ainda permanece atual. Para a instituição, a IoT é definida como: “uma infraestrutura global para a sociedade da informação, que habilita serviços avançados por meio da interconexão entre coisas (físicas e virtuais) baseada em Tecnologias de Informação e Comunicação interoperáveis existentes e em evolução” (ITU, 2012). Já a IEEE definiu a Internet das coisas como “uma rede de itens — cada um incorporado com sensores — que estão conectados à Internet” (IEEE, 2015), no entanto, essa definição só considera o aspecto físico da IoT.

<sup>14</sup> A expressão “Internet das Coisas” foi cunhada por Kevin Ashton em 1999 (ASHTON, 2009).

<sup>15</sup> Agência das Nações Unidas para as Tecnologias da Informação e da Comunicação.

De acordo com a definição mais ampla e consistente contida na recente Norma Internacional ISO/IEC 20924:2018 (ISO, 2018), a Internet das coisas é uma “infraestrutura interconectada de entidades, pessoas, sistemas e recursos de informação em conjunto com serviços que processam e reagem a informações do mundo físico e do mundo virtual”.

Sobre o tema, o principal banco brasileiro de fomento, o BNDES reconheceu que este movimento não se trata “apenas de conectar coisas, mas também de dotá-las do poder de processar dados, tornando-as “inteligentes”. O banco afirma ainda que: “a Internet das Coisas vem ganhando momento não devido ao surgimento de tecnologias disruptivas, mas sim por conta da evolução de um conjunto de tecnologias já disponíveis, que estão se tornando mais acessíveis, possibilitando sua adoção em massa” (BNDES, 2017).

As soluções e serviços possibilitados pelo ambiente da Internet das Coisas são habilitadas pela conectividade dos dispositivos. Essa estrutura de soluções foi desenvolvida em conjunto com a Internet para permitir um mecanismo consistente para as máquinas se conectarem e interajam umas com as outras e com sistemas remotos, fornecendo dados que possam ser interpretados e utilizados pelos seres humanos. Por sua vez, esses humanos e sistemas remotos podem atuar nos dispositivos remotos, ativando mudanças remotamente. Magrani (2018) complementa que essas dados coletados e processados fornecem informações e diagnósticos úteis às máquinas e seres humanos com o objetivo de facilitar os processos que movem a sociedade.

#### 4.2.2 Elementos da IoT

De um modo geral, três elementos são fundamentais para distinguir um objeto como pertencente ao ambiente da Internet das Coisas: é necessário que o objeto tenha **dispositivos** embutidos passíveis de identificação única que interajam com o ambiente físico onde o objeto está inserido (como sensores e atuadores), que possua uma interface de conexão com as **redes de comunicação** para transmissão dos dados captados, e o sistema que fornece **serviços e aplicações** que tem a capacidade de que processar e armazenar desses dados (ITU, 2012) (IEEE, 2015) (BNDES, 2017) (ISO, 2018). Adicionalmente, deve-se considerar, num nível mais aprofundado, o entendimento sobre os **dados** e como eles são interpretados e compreendidos pelas máquinas, especialmente no contexto do *Big Data* e da Computação na Nuvem. Além dos dados, há um elemento também importante para a Internet das Coisas: a **interoperabilidade semântica**.

Esses elementos transitam entre o ambiente físico e virtual e depende da conexão entre eles (ITU, 2012) (IEEE, 2015) (BNDES, 2017). Além disso, outros elementos relacionados à gestão

e segurança dos dispositivos (ITU, 2012) (IEEE, 2015) (BNDES, 2017). Faz-se necessário definir alguns termos que são base para o entendimento da IoT, seus componentes e estrutura física e conceitual. Para tanto, utilizou-se os termos e definições contidos na ISO/IEC 20924:2018 (ISO, 2018), as principais são:

- **Entidade física:** entidade que possui existência material no mundo físico;
- **Entidade virtual:** entidade digital que representa uma entidade física;
- **Entidade digital<sup>16</sup>:** elemento computacional e / ou de dados;
- **Componente:** parte modular, implantável e substituível de um sistema que encapsula a implementação e expõe um conjunto de interfaces;
- **Rede:** infraestrutura que conecta um conjunto de terminais, permitindo a comunicação de dados entre as entidades digitais alcançáveis por meio deles;
- **Sistema IoT<sup>17</sup>:** sistema provendo funcionalidades da Internet das Coisas;
- **Dispositivo IoT<sup>18</sup>:** Entidade de um sistema IoT que interage e se comunica com o mundo físico através da detecção ou ativação;
- **Sensor:** dispositivo IoT <Internet das coisas> que mede uma ou mais propriedades de uma ou mais entidades físicas e gera dados digitais que podem ser transmitidos por uma rede;
- **Atuador:** dispositivo IoT <Internet das Coisas> que altera uma ou mais propriedades de uma entidade física em resposta a uma entrada válida;
- **Gateway IoT:** entidade de um sistema IoT que conecta uma ou mais redes de proximidade e os dispositivos IoT nessas redes entre si e a uma ou mais redes de acesso;
- **Confiabilidade de IoT:** propriedade de fazer jus a confiança durante todo o ciclo de vida de uma implementação da Internet das Coisas para garantir segurança, privacidade, confiabilidade e resiliência;
- **Usuário IoT<sup>19</sup>:** usuário de um sistema IoT.

O sentido amplo da definição de IoT dada pela a ISO/IEC 20924:2018 (ISO, 2018) sumariza a essência do ambiente da IoT, onde são tecidas novas formas de interação entre o mundo virtual e físico. Nesse sentido, é importante conhecer como essa interação é feita entre as ‘entidades’, ou seja, os elementos da IoT. A Figura 44 contém uma ilustração dessa interação.

---

<sup>16</sup> Uma entidade digital pode existir como um serviço de nuvem ou como um serviço em um data center, ou como um elemento de rede ou como um acesso IoT (ISO, 2018)

<sup>17</sup> “O sistema IoT inclui dispositivos IoT, gateways IoT, sensores e atuadores.” (ISO, 2018)

<sup>18</sup> “Um dispositivo de IoT pode ser um sensor ou um atuador.” (ISO, 2018)

<sup>19</sup> “Um usuário da IoT pode ser um usuário humano ou um usuário digital.” (ISO, 2018)

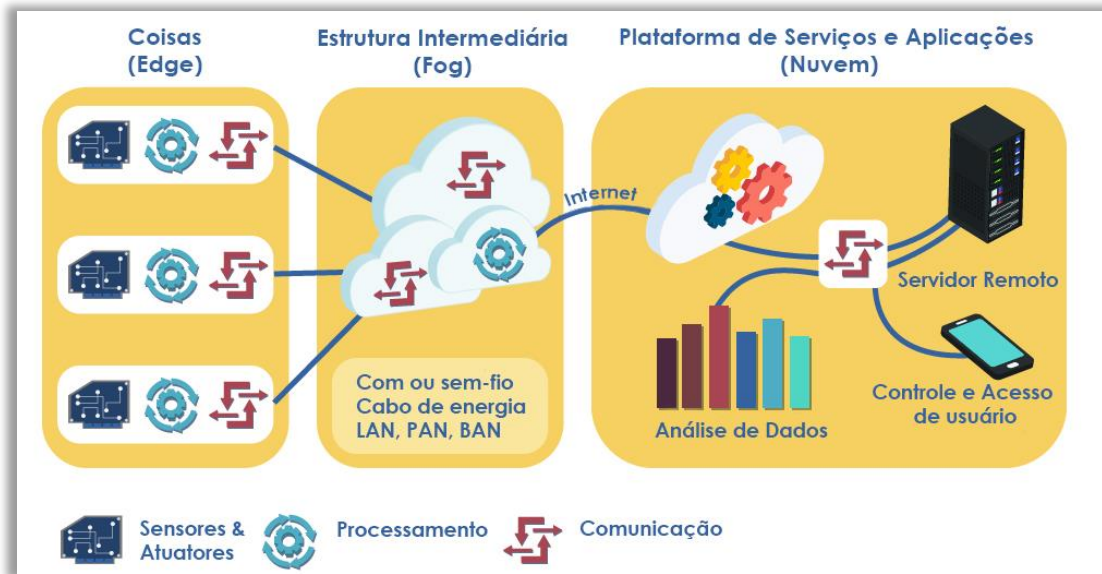


Figura 44 Sistema básico IoT

Fonte: Curtin University (2018)

O que habilita essa interação não é apenas a conectividade, mas as capacidades dos componentes físicos de se comunicar com o ambiente e com o mundo virtual. Segundo (ITU, 2012), “as coisas são objetos do mundo físico (coisas físicas<sup>20</sup>) ou do mundo da informação (mundo virtual<sup>21</sup>) que são capazes de ser identificados e integrados em redes de comunicação”. Os objetos físicos são representados no mundo virtual, que se converte em um ou mais objetos virtuais, e ambos possuem “informações associadas, que podem ser estáticas e dinâmicas” (ITU, 2012).

Para isso, é preciso que os elementos sejam configurados para transferir, armazenar e processar as informações geradas por essa interação. Os dados digitais no contexto da IoT são essas informações que são transferidas através das estruturas (interfaces) de comunicação. Os componentes estruturais da IoT podem ser embutidos e substituídos nas coisas e realizam determinadas funções. Esses componentes são os Dispositivos IoT e os Gateways IoT.

Segundo a (ITU, 2012), a estrutura básica da Internet das Coisas pode ser representada tecnicamente pela Figura 45, que ilustra a interrelação entre os ambientes físicos e informacionais. É possível observar os principais elementos e interações (comunicação) entre os objetos (entidades). Apesar da figura mostrar interações no mundo físico, as interações também podem ser feitas no ambiente informacional e entre os dois.

<sup>20</sup> “As coisas físicas existem no mundo físico e são capazes de serem detectadas, ativadas e conectadas. Exemplos de coisas físicas incluem o ambiente ao redor, robôs industriais, bens e equipamentos elétricos.” (ITU, 2012)

<sup>21</sup> “Coisas virtuais existem no mundo da informação e são capazes de serem armazenadas, processadas e acessadas. Exemplos de coisas virtuais incluem conteúdo multimídia e software de aplicativo”. (ITU, 2012)

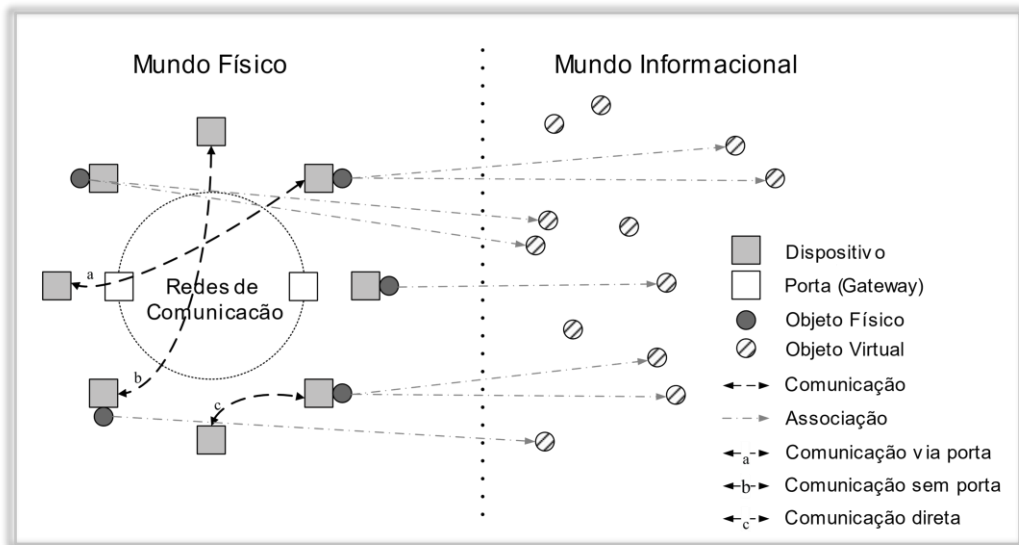


Figura 45 Visão geral técnica da IoT

Fonte: ITU (2012)

a) Dispositivos:

Os dispositivos de IoT estão na borda (*edge*) do sistema IoT, conectando o mundo físico ao virtual. Para conseguir isso, os dispositivos de IoT devem, no mínimo, ter pelo menos a capacidade de se comunicar. Com a comunicação, esses dispositivos podem interagir com o mundo físico de várias maneiras. Um dispositivo pode ler informações do sensor, armazenar ou processar esses dados e depois transmiti-los por uma rede de comunicação para processamento adicional. Também é possível que o dispositivo contenha atuadores, permitindo que ele atue no mundo externo com base nas instruções recebidas em uma rede. Por fim, um dispositivo pode receber atualizações pela rede, alterando sua programação para permitir uma funcionalidade aprimorada. Conseqüentemente, dispositivos IoT são melhores definidos como “um equipamento com as capacidades obrigatórias de comunicação e os recursos opcionais de detecção, atuação, captura de dados, armazenamento de dados e processamento de dados.” (ITU, 2012).

A ITU fornece quatro classificações para dispositivos IoT (ITU, 2012). Os **dispositivos de transporte de dados** são anexados a uma entidade física e armazenam dados de outros dispositivos ou fornecem dados sobre essa entidade a outros dispositivos. Os **dispositivos de captura de dados** podem interagir com entidades físicas, seja lendo diretamente da entidade ou de um dispositivo de transporte de dados anexado à entidade. Os **dispositivos de detecção e acionamento** contêm sensores (que convertem informações físicas ou medidas em sinais elétricos), atuadores (que convertem sinais elétricos em ações) ou ambos. Os dispositivos

podem se comunicar entre si ou com outros sistemas para transmitir dados coletados ou receber solicitações de ações. A classificação final, **dispositivos gerais**, inclui dispositivos que possuem recursos de processamento e comunicação para aplicativos específicos. Essa classificação inclui telefones inteligentes, aplicativos industriais e aparelhos inteligentes. Para IEEE (2015), dispositivo também pode ser considerado como “componente físico (hardware<sup>22</sup>)” (IEEE, 2015). A Figura 46 esquematiza a relação entre os objetos (entidades físicas), os dispositivos acoplados aos objetos e as redes de comunicação, e a Figura 47 ilustra a configuração básica dos dispositivos IoT.

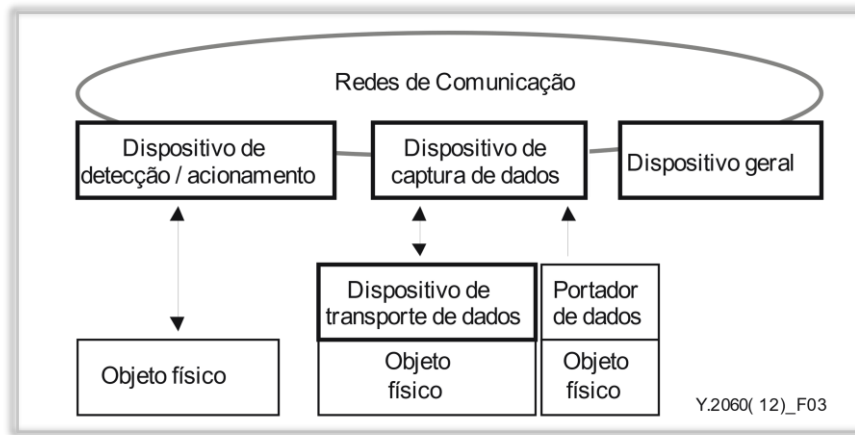


Figura 46 Tipos de dispositivos e sua relação com coisas físicas

Fonte: ITU (2012)

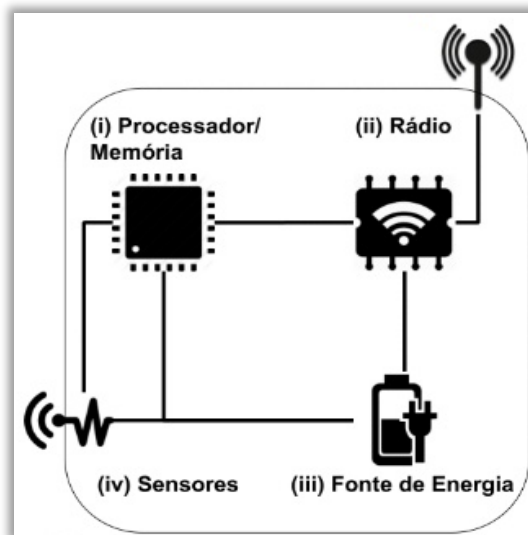


Figura 47 Configuração Básica dos Dispositivos IoT

Fonte: Souza (2018)

<sup>22</sup> O *hardware* são as partes físicas dos computadores, sensores, atuadores, interfaces de comunicação, “Todo ou parte dos componentes físicos de um sistema de processamento de informações. Nota 1 à entrada: exemplo: computadores, dispositivos periféricos”. (ISO, 2015)



Placa principal genérica é uma base de dispositivo IoT geralmente com um processador com memória RAM que executa o código, a memória de armazenamento de dados e um rádio embutido, mas não faz o trabalho em si, possui conectores para acoplamento de módulos que possuem funcionalidades. Além disso, precisa de uma fonte de energia para funcionar. A Figura 48 contém um esquema de como os dispositivos IoT são configurados em placa base e módulos.

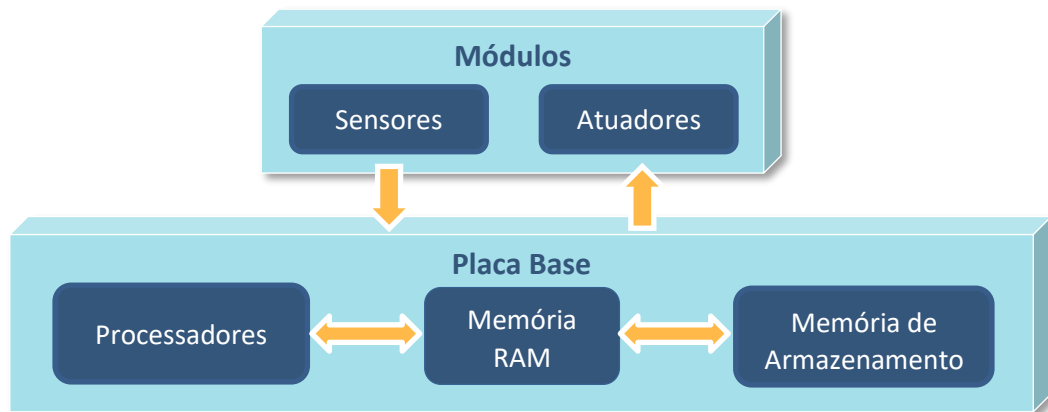


Figura 48 Esquema de Base e Módulo de Dispositivos IoT

Fonte: Elaboração Própria

Atualmente estão disponíveis no mercado diversos modelos de placas e Kits para desenvolvimento de Dispositivos IoT, as marcas mais populares são a Arduino e Raspberry Pi, que são utilizados para prototipagem e fins educacionais e a ESP32. Essas placas contém os conectores para a fonte de energia e para interface com os computadores e com os módulos. A Figura 49 contém exemplos de placas de desenvolvimento.



Figura 49 Placa base de Arduino Uno WiFi REV2, Raspberry Pi 3 e ESP32-DevKit

Fontes: Arduino (2019), Arrow (2019) e Trobotics (2019)

No entanto as placas de desenvolvimento não são escaláveis, para o mercado são mais utilizados os módulos profissionais, como o ESP 32 WROOM Series. A Figura 50 contém um exemplo desses módulos.



Figura 50 Módulos ESP32 WROOM Series

Fonte: Espressif (2019)

Essas placas são configuradas para receber os módulos (sensores e atuadores) que de fato irão prover as funcionalidades que as placas genéricas irão processar. Os principais componentes dos dispositivos que fazem interface com o ambiente físico são os Sensores e os Atuadores. A maioria dos módulos são compatíveis com a maioria das placas base. Essas placas e módulos necessitam de uma fonte de energia para funcionar, geralmente possuem baixa tensão (V) de funcionamento e baixa quantidade de energia a depender da quantidade e do tipo dos sensores e atuadores utilizados. A Figura 51 contém um diagrama que ilustra a conexão dos circuitos de um dispositivo IoT.

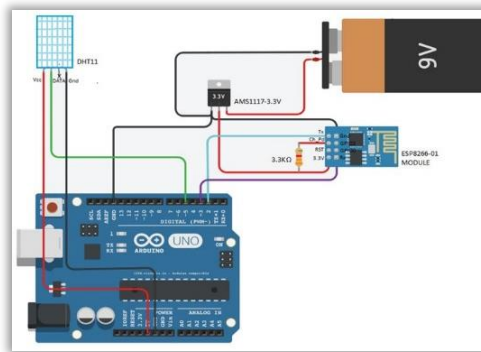


Figura 51 Diagrama para monitoramento de Umidade e Temperatura com Arduino






Fonte: Pantech Solutions (2018)

Os Sensores e atuadores conforme definidos por IEEE (2015) e ISO (2018) são os dispositivos que possuem as reais funcionalidades da IoT com capacidade de interação com o meio físico e oferta de soluções para as questões para as quais o dispositivo IoT foi projetado para resolver. Os sensores têm a função de converter informação do meio físico em dados digitais, enquanto que os atuadores utilizam esses dados para interferir no meio físico com a função de alterar ou dar resposta a uma determinada necessidade. Diferentemente dos dispositivos tradicionais de automação, os Dispositivos IoT necessariamente devem possuir a capacidade de transmitir esses dados pelas redes de comunicação.

b) Redes de Comunicação:

De um modo geral, as Redes de Comunicação permitem que a informação e dados sejam transferidos entre os componentes que pertencem a essa rede interconectada. Uma rede simples é basicamente composta de: Dispositivos (abrange computadores, impressoras, roteadores e servidores); Meio (abrange cabeamento ou conexões sem fio); Serviços (abrange o *software* que dá suporte às operações, como hospedagem de e-mails). A maneira que a informação será transferida depende de fatores como a distância que os dados precisam percorrer, o ambiente pelo qual percorrem, o volume e velocidade dos dados, o custo de material e instalação dos meios de transferência desses dados, e da energia consumida pelo dispositivo para transferi-los. A depender de cada aplicação, um meio de conexão poderá ser mais apropriado que outro. (VERMESAN e FRIESS, 2013).

No ambiente da IoT, a eficiência energética é um quesito a ser considerado (IEA, 2016). De acordo com Vermesan e Friess (2013), “A comunicação é a tarefa mais consumidora de energia em dispositivos”, particularmente nas redes de comunicação sem fio. Ainda que consumam pouca energia para operar, os dispositivos IoT possuem restrições energéticas. Sendo assim, várias tecnologias de comunicação de baixa potência foram propostas de diferentes organismos de normalização, cujas principais são resumidas no Quadro 5:

Tecnologias	Características
<b>Zigbee</b> 	Norma: Baseado em IEEE802.15.4 Frequência: 2.4GHz Faixa: 10 a 100 m Taxas de dados: 250 Kbps
<b>WiFi</b> 	Norma: Baseado em 802.11n (uso mais comum em residências hoje) Frequências: bandas de 2,4 GHz e 5 GHz Alcance: Aproximadamente 50m Taxas de dados: máximo de 600 Mbps, mas 150-200 Mbps é mais típico, dependendo da frequência de canal usada e do número de antenas (o mais recente padrão 802.11-ac deve oferecer de 500 Mbps a 1 Gbps)
<b>Bluetooth</b> 	Norma: especificação do núcleo do Bluetooth 4.2 Frequência: 2.4GHz (ISM) Faixa: 50-150m (Smart / BLE) Taxas de dados: 1 Mbps (Smart / BLE)
<b>2G/3G/4G</b> 	Norma: GSM / GPRS / EDGE (2G), UMTS / HSPA (3G), LTE (4G) Frequências: 900/1800/1900 / 2100MHz Alcance: 35km máx. para GSM; 200km máx. para HSPA Taxas de dados (download típico): 35-170kps (GPRS), 120-384Kbps (EDGE), 384Kbps-2Mbps (UMTS), 600Kbps-10Mbps (HSPA), 3-10Mbps (LTE)
<b>LoRaWAN</b> 	Norma: LoRaWAN Frequência: várias Faixa: 2-5km (ambiente urbano), 15km (ambiente suburbano) Taxas de dados: 0,3-50 Kbps.

Quadro 5 Exemplos de tecnologias de comunicação de baixa potência

Fonte: Design Spark (2015), adaptação própria

Algumas soluções energeticamente eficiente para dispositivos IoT utilizam as funções ‘despertadores’ (modo *sleep*) que “permanecem ativos permanentemente em um consumo de energia muito baixo e podem acionar um sinal para acordar um receptor completo/padrão” (VERMESAN e FRIESS, 2013). Atualmente, a tecnologia de comunicação mais conhecida que utiliza essa função é o BLE. Ainda é possível utilizar a estratégia de coletar energia presente no ambiente, como energia mecânica, energia térmica, energia radiante e energia química, de acordo com o local: “Para ambientes internos externos ou luminosos, a colheita de energia solar é a solução mais adequada. Em um ambiente fechado térmico ou mecânico energia pode ser uma alternativa melhor” (VERMESAN e FRIESS, 2013).

Os dispositivos podem ser os dispositivos finais ou intermediários. Os primeiros oferecem ao usuário uma forma de interagir com a rede (computadores, smartphones, sensores) e podem tanto ser fonte e/ou destinatário dos dados através da rede. No ambiente da rede mundial de computadores, cada dispositivo deve ser identificado através de um endereço de IP para que possa ser distinguível. Já os dispositivos intermediários interconectam dispositivos finais: transmitem os dados através dos *Gateways* (VERMESAN e FRIESS, 2013).

A importância da identificação única na comunicação entre máquinas (M2M), entre máquinas e pessoas (M2P) e entre pessoas (P2P) é essencial para que as informações sejam transmitidas de forma correta, sem desvios. Essas formas de interações são descritas pelas seguintes siglas e estão demonstradas na Figura 52.

- **M2M**: máquinas para máquinas;
- **M2P**: máquinas para pessoas;
- **P2P**: pessoas para pessoas

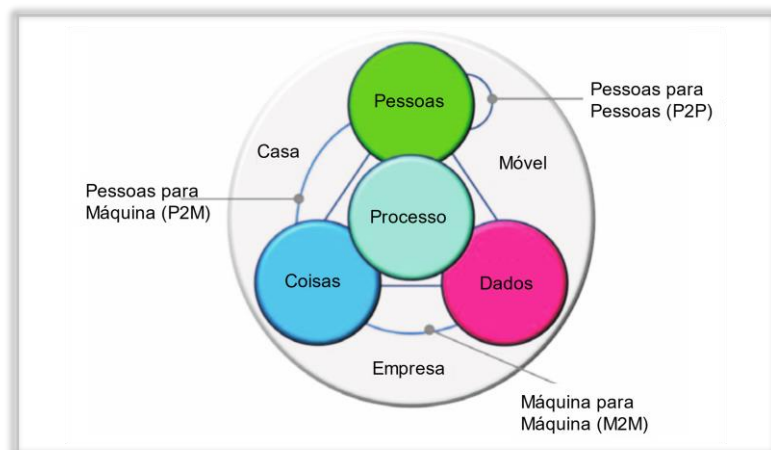


Figura 52 Internet de Todas as Coisas (IoE – sigla em inglês)

Fonte: Cisco (2012) citado e adaptado por Vermesan e Friess (2013)

Os protocolos da internet são um procedimento convencionado num padrão de como os dados são enviados de um lugar para outro. Os endereços usados para enviar dados em redes são chamados Endereços de IP (*Internet Protocol*). Atualmente a versão utilizada é a versão 4 (IPv4), o IPv6 já foi desenvolvido, mas ainda está em fase de implementação, ou seja, ainda não houve conversão total do IPv4 para IPv6.

No âmbito da IoT, as redes de comunicação têm a função de “transferir dados capturados por dispositivos para aplicativos e outros dispositivos, bem como instruções de aplicativos para dispositivos, além de fornecer recursos para transferência de dados confiável e eficiente” (ITU, 2012). A capacidade de comunicação de um dispositivo é essencial para considerar um objeto como pertencente ao ambiente IoT. Segundo a ITU (2012), “A infraestrutura de rede IoT pode ser realizada através de redes existentes, como redes convencionais baseadas em TCP / IP e / ou redes em evolução, como redes de próxima geração”.

c) Dados:

Os Dados são elementos muito importantes no ambiente da IoT, é em torno dos dados que os Dispositivos IoT exercem sua função. Esses dados podem ser estáticos ou dinâmicos, variam de acordo com o tipo e em função do tempo e espaço e dependem de uma característica fundamental da IoT, a identificação das entidades. Na Figura 53 são ilustrados os tipos de dados.

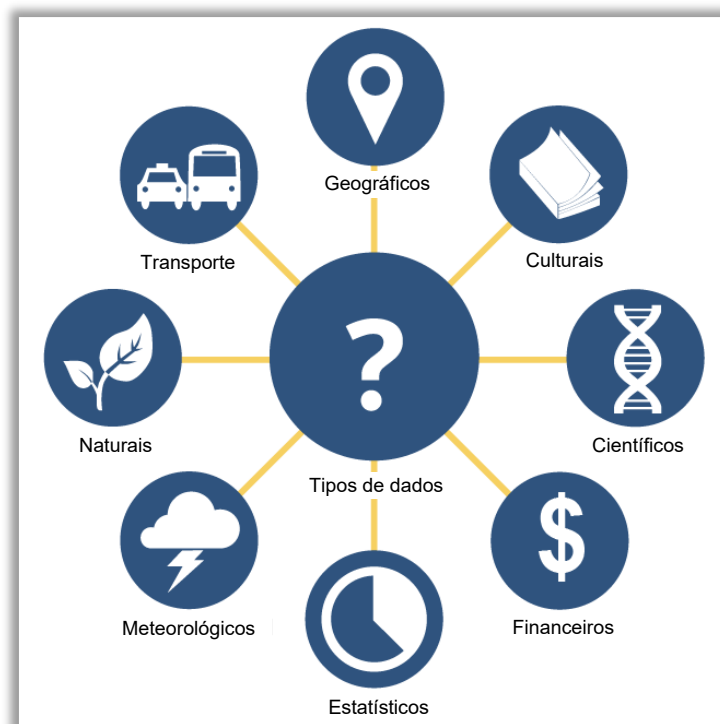


Figura 53 Tipos de Dados

Fonte: Curtin University (2018)

Outra questão em relação aos dados está relacionada ao volume de dispositivos IoT que cresce exponencialmente. Conforme Magrani (2018, p. 24), projeções indicam que em 2020, “a quantidade de objetos interconectados passará dos 25 bilhões, podendo chegar a 50 bilhões de dispositivos inteligentes”. Com isso, é importante considerar o volume de dados gerados no contexto da IoT onde milhões de objetos estarão conectados e coletando dados em tempo real.

Segundo Conforme Magrani (2018, p. 22), *Big Data* “é um termo em evolução que descreve qualquer quantidade volumosa de dados estruturados, semiestruturados ou não estruturados que têm o potencial de ser explorados para obter informações”. Deve-se considerar três aspectos relacionados ao *Big Data*: a capacidade de armazenamento de informação disponível atualmente no mundo; a velocidade de produção desses dados e a variedade de formatos de dados. O Gráfico 14 mostra que apesar do crescimento da oferta de armazenamento de dados ter crescido, não alcança o crescimento da demanda.

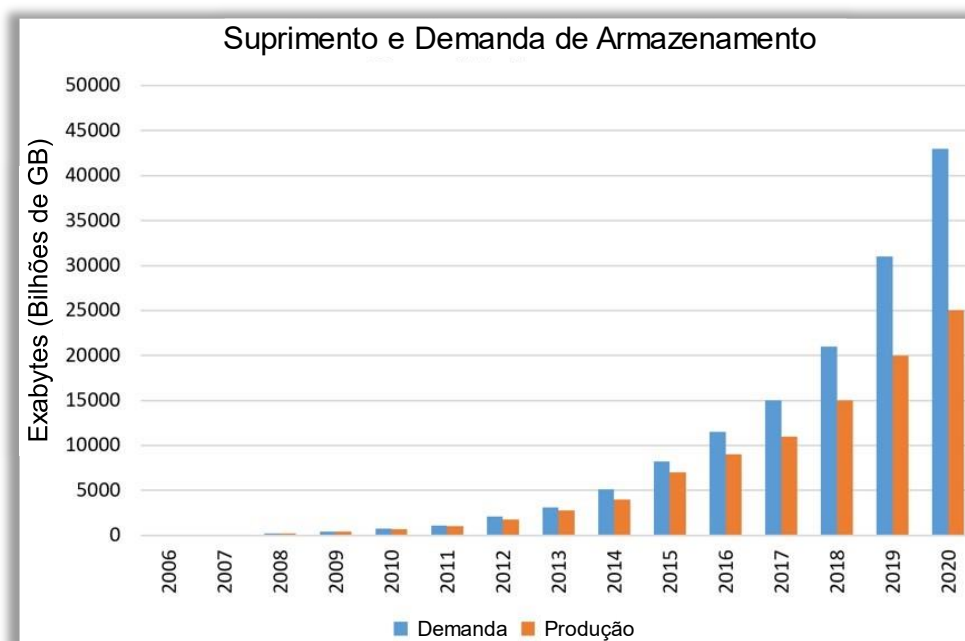


Gráfico 14 Fornecimento de armazenamento e crescimento da demanda

Fonte: Rizzatti (2016)

A análise dos dados visa dar respostas mais precisas aos problemas para os quais os dispositivos foram desenvolvidos e implantados e esse é uma das principais razões da aplicação da IoT nas diversas atividades da sociedade (MAGRANI, 2018). De acordo com a Microsoft (2019), as soluções IoT coletam enorme quantidade de dados brutos (RAW) em tempo real. Esses dados precisam ser agregados e estruturados para melhor capacidade analítica. Conforme ilustrado no Gráfico 15, a proporção de dados estruturados e não estruturados tem aumentado.

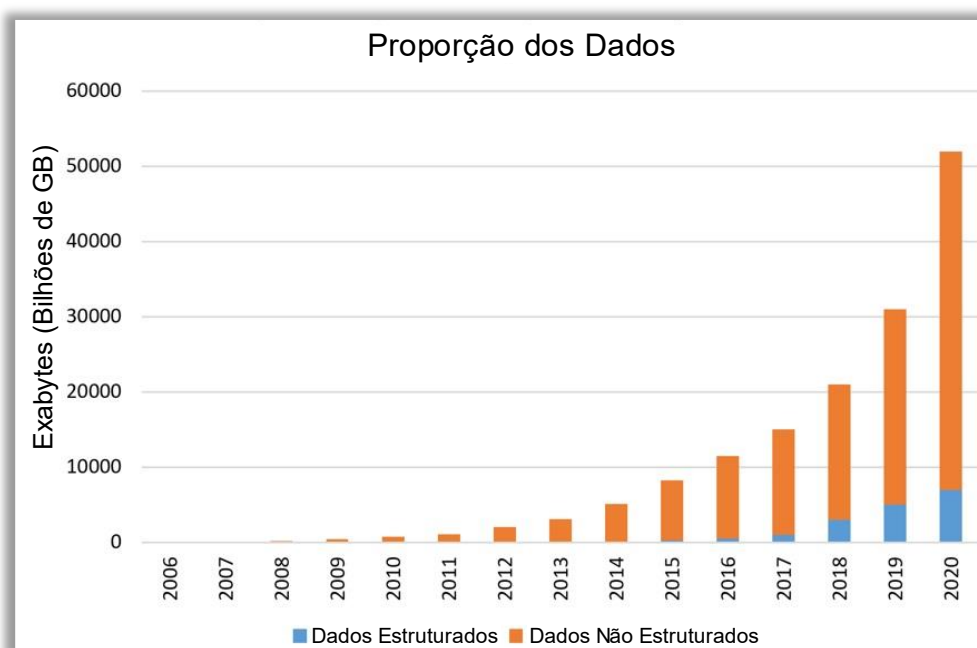


Gráfico 15 Crescimento dos dados estruturados e não-estruturados

Fonte: Rizzatti (2016)

Ambos possuem suas funções e plataformas de visualização específicas. Por exemplo, os dados não estruturados (*blob data*) são armazenados em pastas de conteúdo bruto e são importantes para identificar se um sensor está enviando ou não os dados (dados de entradas) ou para manter o histórico dos dados como são capturados. Os dados estruturados são visualizados e consultados através de Interfaces de Programação de Aplicativos (APIs, sigla em inglês) e de aplicativos de banco de dados (*Databases*), como, por exemplo, o SQL<sup>23</sup>, onde é possível selecionar facilmente os dados através de *queries*<sup>24</sup> para reportar uma informação desejada entre as que foram coletadas pelos dispositivos.

Os sistemas IoT demandam uma grande quantidade de capacidade de processamento e armazenamento. Contudo, infraestrutura tradicional de *data centers* particulares de cada instituição pode não acompanhar a quantidade de dados nem a velocidade que precisam para processar os dados<sup>25</sup> coletados pelos dispositivos IoT. Nesse sentido, a Computação em Nuvem se torna uma das principais soluções no contexto da IoT para armazenamento, processamento e análise dos dados.

<sup>23</sup> *Structured Query Language*: “O escopo do SQL é a definição da estrutura de dados e as operações nos dados armazenados nessa estrutura. (ISO, 2016)

<sup>24</sup> Termo que significa uma pergunta, questionamento ou consulta. Dentro do âmbito das TICs, são executadas para endereçar um objetivo de visualização de determinadas informações-alvo entre o universo de dados coletados.

<sup>25</sup> A capacidade de processamento do volume de dados gerados pela IoT pelos computadores, servidores & data centers de propriedade de cada empresa ou governo, pode não ser suficiente. O custo e a periodicidade de aquisição, manutenção e atualização desses equipamentos tornam essas alternativas insustentáveis.



d) Serviços e Aplicações:

Alternativamente, o desenvolvimento da Computação na Nuvem (*Cloud Computing*) é positivo nesse cenário do aumento exponencial do volume e capacidade de processamento dos dados e do *Big Data*. A Computação na Nuvem consiste na habilidade de utilizar arquivos e aplicações hospedados de acordo com a demanda por uma empresa terceirizada (por exemplo, Microsoft Azure, AWS<sup>26</sup> ou GCP<sup>27</sup>) ao invés de armazenar e processá-los num hardware local (MAGRANI, 2018). O processamento desses dados na nuvem é um dos facilitadores do desenvolvimento e escalada da IoT, tornando-se uma superestrutura de processamento que acolhe as mais diversas interações. A Figura 54 ilustra as possibilidades de processamento que a Computação na Nuvem oferece.

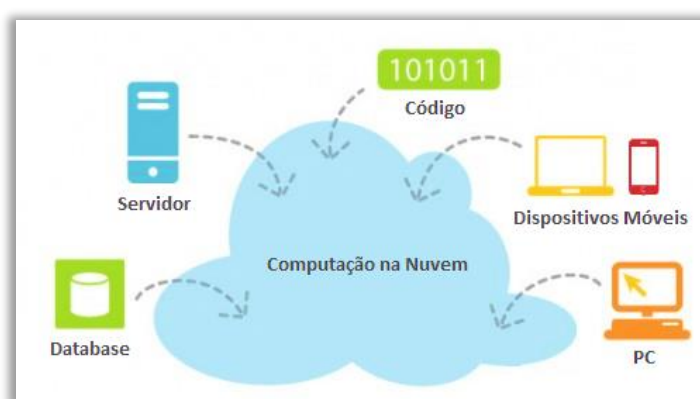


Figura 54 Computação na Nuvem

Fonte: Manchester (2013), adaptação própria

Os Sistemas de IoT devem servir a um propósito específico dependendo de onde e para que será aplicado. O que permite que os dispositivos executem um serviço através dos objetos físicos é a programação<sup>28</sup>, o conjunto de instruções que dizem a um componente de processamento como executar uma tarefa ou sequência de tarefas para solucionar um problema, ou seja, comandos são executados para conferir funcionalidades aos objetos. Em outras palavras, a aplicação (*software*) é a maneira de organizar as tarefas e ordene ao dispositivo quando e o que fazer. Para isso, é necessário de uma plataforma de suporte a serviços e aplicações no dispositivo, ou seja, um Sistema Operacional<sup>29</sup> que simplifica a programação necessária para aplicação para interagir com o *hardware*.

<sup>26</sup> Amazon Web Services

<sup>27</sup> Google Cloud Platform

<sup>28</sup> “programar <termos fundamentais> projetar, escrever, modificar e testar programas” (ISO, 2015)

<sup>29</sup> Atualmente, os dispositivos IoT tem um pequeno Sistema operacional que abstrai (esconde) o caminho para o hardware. Segundo (IEEE, 2015), “Os sistemas operacionais IoT são projetados para serem executados em componentes de pequena escala da maneira mais eficiente possível, ao mesmo tempo em que fornecem funcionalidades básicas para simplificar e apoiar o sistema global de IoT em seus objetivos e propósitos”



Os aplicativos no dispositivo IoT servem a finalidade de coletar os dados e transmiti-lo para a nuvem para armazenamento e processamento. Enquanto os aplicativos na nuvem servem para selecionar e analisar os dados que serão úteis para sua finalidade. Adicionalmente, a nuvem pode enviar instruções de volta para o atuador do dispositivo para que este possa executar uma ação no ambiente físico ou instruir o sistema operacional para atualizar-se (no dispositivo) automaticamente entre outros comandos. O processamento pode ser feito de duas formas: processamento em tempo real (camada de processamento rápido) e processamento de uma série de dados armazenados (camada de processamento em lote). De acordo com Marz e Warren (2015, p. 28), “os dados nas visualizações em tempo real das camadas de velocidade têm uma alta taxa de rotatividade, portanto, quaisquer erros são rapidamente substituíveis”. A Figura 55, é demonstrado como usualmente são feitos os dois tipos de processamento.

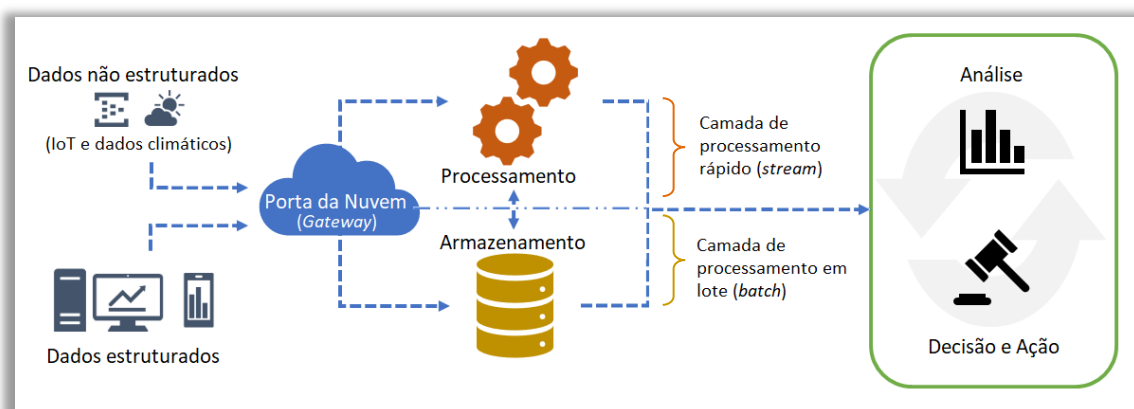


Figura 55 Processamento de dados na nuvem

Fonte: Microsoft (2019), adaptação própria baseada em Microsoft (2018)

Para que o proprietário dos dados possa ler os dados compilados, esses dados de saída podem ser apresentados em formato de relatório através de aplicativos de visualização de dados (*dashboards*), onde o consumidor pode ver as informações pertinentes de maneira mais concisa e objetiva, conforme ilustrado na Figura 56.



Figura 56 Exemplo de uma *Dashboard* para Cidades Inteligentes

Fonte: Switzer Cloud (2019)

Nesse sentido, a IoT em conjunto com essas plataformas endereça o problema em tempo real, criando soluções e ações autonomamente, baseados nos limites preestabelecidos ou criando tarefas e planejando manutenções ou respostas para o time operacional. As *dashboards* podem mostrar detalhes dos alertas e análise dos impactos, mostrando quando e onde ocorreram e os prováveis impactos, utilizando os dados numa forma mais efetiva. (MICROSOFT, 2019). Todos os dados, seja qual for a camada, são analisados a partir de técnicas de processamento conhecidas como *machine learning*<sup>30</sup> que podem identificar padrões, apresentar tendências e prever erros.

Alguns aplicativos de visualização de dados já interagem com diferentes sistemas de *Databases* e com sistemas de análise espacial, como os Sistemas de Informações Geográficas GIS (sigla em inglês), conforme ilustrado na Figura 57 e na Figura 58.

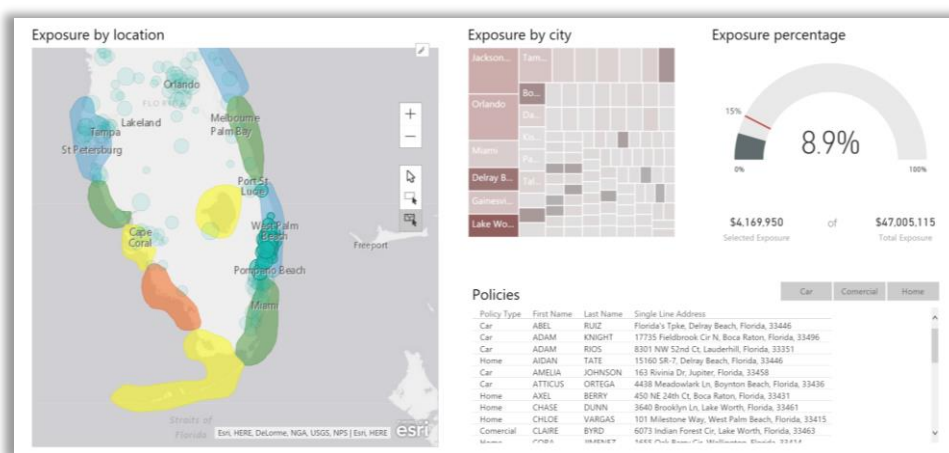


Figura 57 Exemplo de uma *Dashboard* com uso de GIS

Fonte: Microsoft (2016)

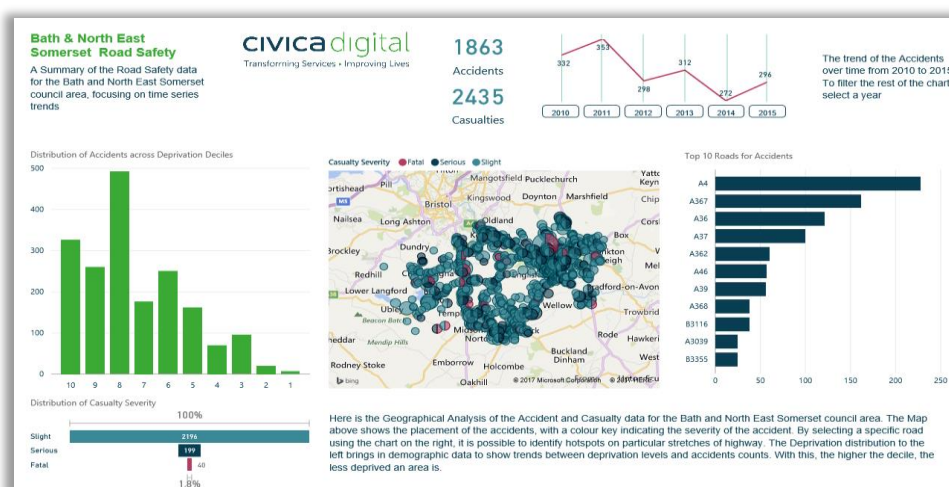


Figura 58 Exemplo de uma *Dashboard* para monitoramento da segurança no tráfego

Fonte: Microsoft (2019)

<sup>30</sup> “processo pelo qual uma unidade funcional melhora seu desempenho adquirindo novos conhecimentos ou habilidades, ou reorganizando o conhecimento ou habilidades existentes.” (ISO, 2015)

e) Interoperabilidade Semântica:

Diante do surgimento da IoT, acreditou-se que os mesmos conceitos envolvidos na Web semântica pudessem ser incluídos no ecossistema da Internet das Coisas. Segundo Toma et al. (2009), as tecnologias semânticas podem desempenhar um papel fundamental no enfrentamento dos desafios da IoT, “desde como representar e armazenar essas informações até como interconectar, pesquisar e organizar informações geradas” pelos dispositivos IoT. De acordo com Vermesan e Friess (2013), à época da publicação de seus estudos, havia um “esforço para definir ontologias<sup>31</sup> e criar plataformas para aplicar tecnologias da Web Semântica para redes de sensores”. Ainda de acordo com os autores, a Web Semântica para Sensores (SSW, sigla em inglês) “propõe adicionar informações ao sensor com metadados<sup>32</sup> espaciais, temporais e semânticos-temáticos”.

Em um cenário ideal, os dispositivos IoT se baseariam em metodologias semelhantes à Web Semântica para interagir com o mundo externo e com sistemas remotos. Esses dispositivos compartilhariam uma abordagem comum para relatar seus dados de sensor e receber comandos para atuadores. Por muitos anos, isso foi considerado um requisito importante para a compreensão dos dados coletados pela IoT. Os dispositivos precisariam depender da semântica compartilhada, como os propostos para a Web Semântica, a fim de possibilitar a avaliação dos grandes volumes de dados capturados. Com o objetivo de incentivar e facilitar a interoperabilidade<sup>33</sup> entre os diversos sistemas e soluções IoT, são propostos acordos sobre a estruturação dos dados entre os sistemas integrantes.

A interoperabilidade de dados semânticos, serve para que “o significado do modelo de dados no contexto de uma área temática seja entendido pelos sistemas participantes” (ISO, 2017). Com base nisso, as entidades de normalização, como o W3C<sup>34</sup>, tentaram criar ontologias e práticas que permitem esse nível de interoperabilidade semântica. A Interoperabilidade Semântica é uma das tecnologias semânticas que está associada ao sentido do conteúdo dos dados. Dentro dessa lógica, a semântica permite que “máquinas interpretem as conexões e relações entre diferentes atributos<sup>35</sup> de uma descrição de um sensor” (VERMESAN e FRIESS, 2013) bem como

---

<sup>31</sup> Uma ontologia representa um entendimento compartilhado do formato de dados específico.

<sup>32</sup> Os dispositivos podem conter metadados para fornecer algumas informações além dos valores em si coletados pelos dispositivos. Essas informações contidas nos metadados têm o objetivo de indicar como lidar e interagir com os dados adquiridos.

<sup>33</sup> “capacidade de interoperabilidade de dois ou mais sistemas ou aplicações para trocar informações e para usar mutuamente as informações que foram trocadas” (ISO, 2017)

<sup>34</sup> Consórcio *World Wide Web* (W3C, 2013)

<sup>35</sup> O atributo de dados são representações das características ou recursos do objeto, cujos valores são descritos por

que esses atributos de dados podem ser cruzados ou adicionados a outros dados da internet que podem ser compreendidos por diferentes aplicativos, serviços de interface de usuários *front-end* (dashboards e websites) e consumidores dos dados.

Em última análise, essas abordagens não conseguiram uma adoção generalizada, em parte devido ao crescimento do *Big Data* e das técnicas de processamento relacionadas. Antes do *Big Data*, a maioria dos repositórios de dados eram analisados estaticamente. Atualmente, os dados cada vez mais são analisados em tempo real, o que demanda uma menor complexidade dos dados em si. O *Big Data*, através de novas estruturas de processamento e análise de dados, permite analisar tanto os dados estruturados (*Linked Data*) quanto os dados RAW, provenientes dos sensores, IoT, redes sociais, etc... (CASADO e YOUNAS, 2015). Os sistemas modernos de *Big Data* permitem a consulta e a geração de relatórios sobre dados não estruturados e semiestruturados, que podem ser refinados após a coleta de dados. Como a estrutura de dados de um determinado dispositivo é geralmente consistente e controlada pelos mesmos fornecedores responsáveis por fornecer acesso aos dados para análise, há uma necessidade limitada de ter um esquema compartilhado e predefinido que seja consistente com qualquer padrão específico.

Por sua vez, isso permite que os fornecedores inovem seus produtos e serviços em um ritmo mais rápido e forneçam ou vendam acesso a APIs que fornecem acesso estruturado aos conjuntos de dados derivados. Isso também proporciona uma vantagem comercial, já que a falta de interoperabilidade promove o aprisionamento do fornecedor (a incapacidade de deixar o ecossistema do fornecedor com risco de perda de dados ou funcionalidade). Isto significa que, no ambiente da IoT, os dados são entendidos e coletados sob uma lógica completamente diferente da internet tradicional. A IoT busca solucionar questões previamente estipuladas pelo ‘cliente’ da solução. Por exemplo, a coleta da temperatura do local onde o dispositivo IoT está implantado, dentro do contexto preestabelecidos pelos desenvolvedores da solução. Não necessariamente a IoT estará fornecendo dados para toda a Web, mas apenas para aquele grupo (empresa, cidade, indústria, etc...) para quem interessa a informação. Além disso, a IoT busca mecanismos de segurança para impedir que esses dados sejam acessados e corrompidos por quem não tem permissão para acessar aquele sistema.

Destaca-se que isso não significa que os dados provenientes da IoT não possam ser abertos, mas que majoritariamente esses dados não são disponibilizados sem algum tipo de processamento

---

metadados. “é uma característica dos dados que o diferencia de outros dados, como localização, tamanho ou tipo. O termo atributo é usado às vezes como sinônimo de “elemento de dados” ou “propriedade”.” (ERDM, 2019).

prévio, que resulte em uma plataforma de visualização desses dados (dashboards, como por exemplo o Data.Rio<sup>36</sup>). Para algumas aplicações, a IoT pode requerer a abertura dos dados, é até consonante ao interesse público, mas atualmente poucas são as iniciativas que mantêm aberto o acesso aos dados da IoT nas Cidades Inteligentes.

Apesar da interoperabilidade semântica ser considerada até hoje por especialistas em IoT como um requisito importante para mais precisão na análise dos dados, com o *Big Data* e as novas ferramentas de mineração e análise dos dados, sejam eles estruturados ou não, e a ascensão da Inteligência Artificial e do *machine learning*, a estruturação dos dados dentro da lógica da web semântica, tornou-se secundária, ou seja, não é crítica para o funcionamento da IoT. De acordo com Bennet e Baclawski (2017), da comunidade científica da ontologia aplicada:

Em aplicativos de *Big Data*, as ontologias parecem ter tido pouco impacto. Essas comunidades, juntamente com a comunidade *Linked Data*, compartilham a necessidade de uma compreensão semântica comum e uma representação formal dos domínios sendo estudados, mas eles adotaram abordagens muito diferentes para lidar com os desafios das aplicações em larga escala e ligação de vastos dados heterogêneos.

Atualmente, através das soluções de cada empresa desenvolvedora de soluções IoT, os dispositivos IoT transmitem dados para a nuvem utilizando uma ontologia acordada, isso permite que os relatórios sejam criados a partir desses dados porque os significados são bem conhecidos e aceitos pelos profissionais da área. Como muitos dos fabricantes de dispositivos também fornecem os serviços hospedados em nuvem, há muito pouca concordância entre os fornecedores em uma ontologia comum compartilhada.

Esses conceitos são importantes, mas é fundamental que se diferencie interoperabilidade com compatibilidade (SHI, LI, *et al.*, 2018), pois cada empresa ou organização personaliza os dispositivos de IoT de acordo com suas necessidades e, por isso, eles entendem os atributos (detalhes) dos dados que estão sendo capturados. Os dispositivos são projetados para resolver um problema e geralmente programados para enviar dados para um sistema em nuvem para análise por uma equipe de especialistas no assunto.

Houveram muitas tentativas de definir uma única ontologia compartilhada que pode ser usada por todos os dispositivos e sistemas em nuvem para sistemas IoT, como IOT-Lite, LOV4IoT, IoT-O, OpenIoT e CityPulse (SHI, LI, *et al.*, 2018). Embora todos tenham tido algum

---

<sup>36</sup> Armazém de Dados, projeto inicialmente criado em 2001 pelo Instituto Pereira Passos (IPP) com informações estatísticas, mapas, estudos e pesquisas com foco na Cidade do Rio de Janeiro. De acordo com o site do projeto, “Em 2017, o Armazém de Dados passou por uma grande reformulação gráfica e também de conteúdo. Agora chamado Data.Rio, o portal reúne o que tem de mais avançado em termos de tecnologia, possibilitando um acesso à informação mais ágil e interativo para toda população.” (RIO PREFEITURA, 2017)



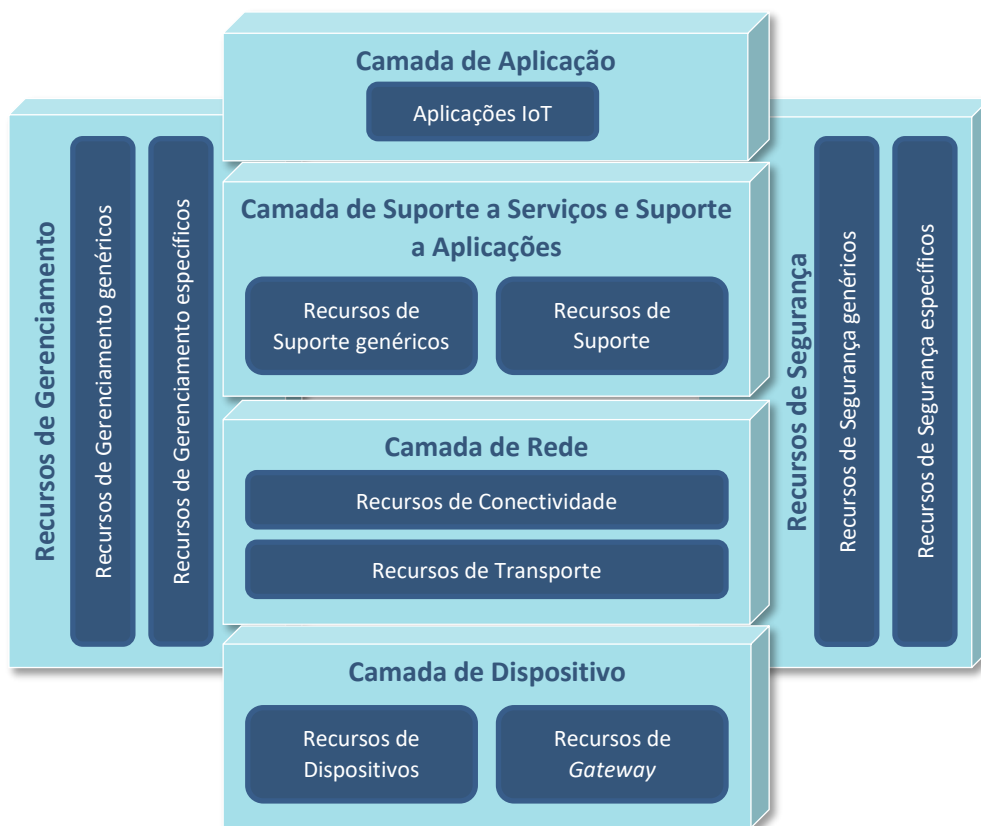


Figura 60 Modelo de referência de IoT de acordo com ITU

Fonte: ITU (2012), adaptação própria

O estudo do BNDES (2017) se baseia no modelo de referência da ITU e ilustra na Figura 61 as camadas tecnológicas da IoT.

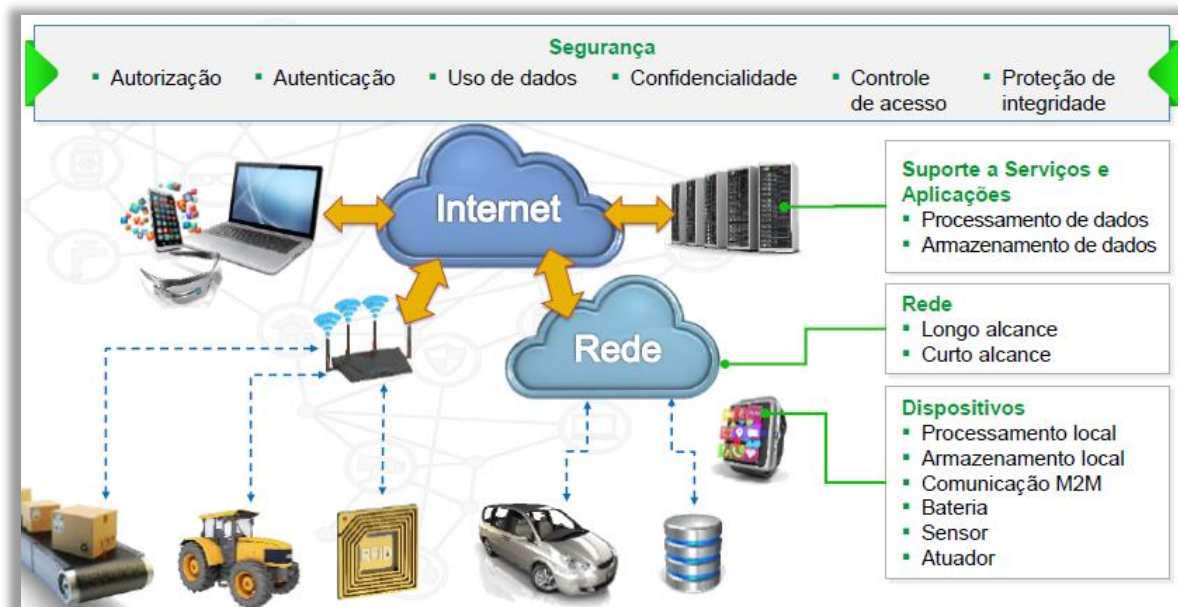


Figura 61 Principais camadas tecnológicas definidas pela ITU

Fonte: BNDES (2017)

Para IEEE (2015), a estrutura da IoT incorpora tanto aspectos tecnológicos quanto sociais. A Figura 62 contém um esquema dos aspectos tecnológicos e sociais da IoT segundo a IEEE.

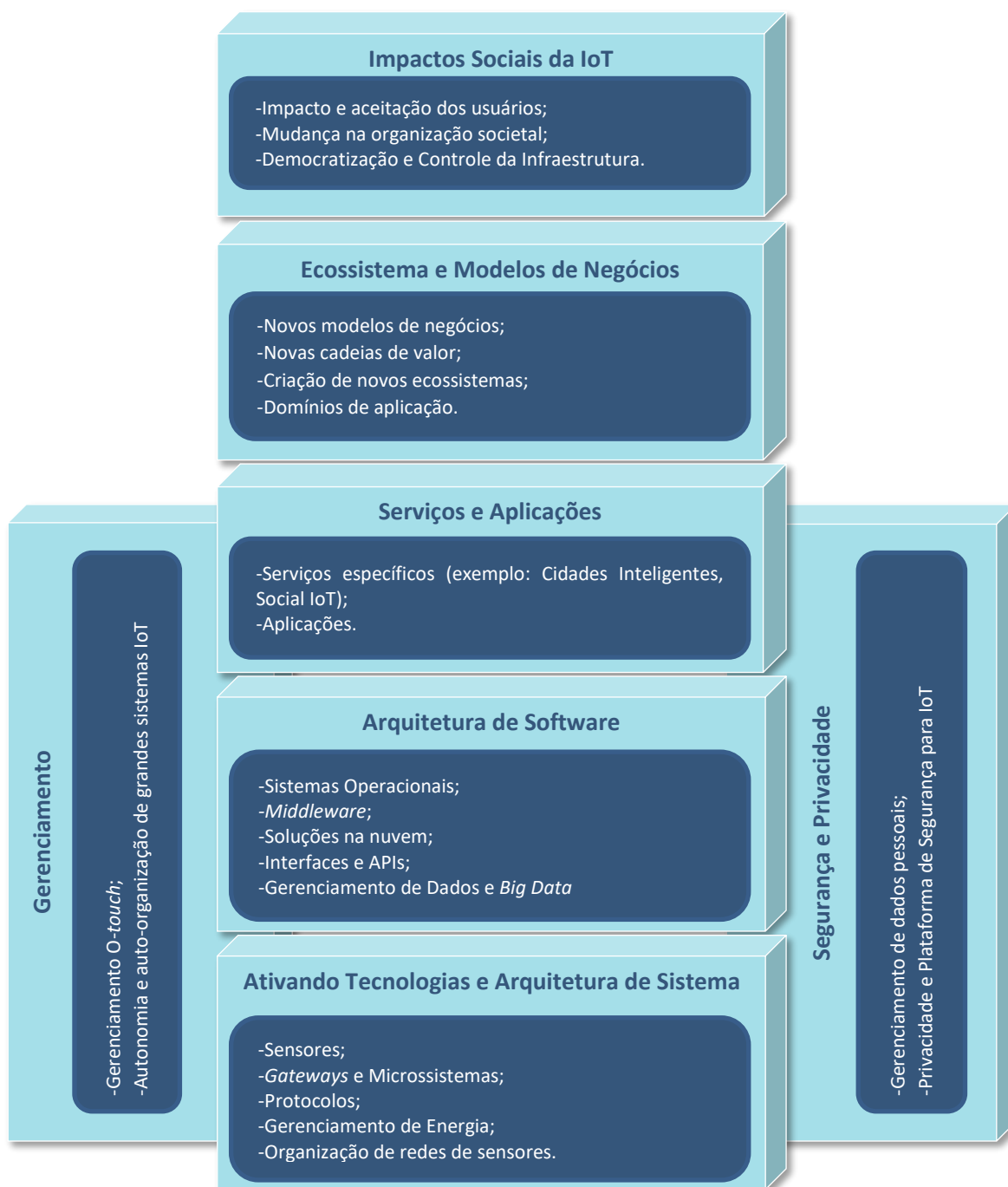


Figura 62 Aspectos tecnológicos e sociais relacionados à IoT

Fonte: IEEE (2015), adaptação própria

De acordo com a IEEE (2015), esses aspectos incluem: **Arquitetura de Software**: abrange os Sistemas Operacionais, a programabilidade – em termos de APIs – e o gerenciamento de dados; **Recursos de gerenciamento**: compreende os comportamentos autônomos para sistemas IoT grandes e complexos, como autogestão e auto otimização de cada componente individual



e/ou subsistema. Dado o cenário de potencial crescimento exponencial de milhões de componentes diferentes, esses recursos são necessários para lidar adequadamente com sistemas dessa escala; Segurança de dados e a privacidade: envolve a proteção das informações de identificação pessoal coletadas pelos sistemas IoT, sendo um aspecto crítico; Serviços e aplicações: está relacionado com serviços reutilizáveis (genéricos) e/ou específicos para satisfazer as necessidades de cada implantação particular; Novos modelos de negócios: diz respeito às aplicações viáveis para a IoT e à criação de ecossistemas que envolvam e relacione os intervenientes; Impacto sobre as pessoas e a sociedade: deve ser concebida e conduzida dentro das restrições e regulamentações de cada país. A Norma IEEE 2413-2019 (IEEE, 2019) propõe uma estrutura de arquitetura para a IoT, porém esta não foi analisada neste trabalho.

Finalmente, a ISO/IEC 30141:2018 (2018) normaliza internacionalmente a arquitetura de referência para a IoT, o que confere homogeneidade para o conceito e para a determinação de um sistema IoT. Antes, a falta de normalização da arquitetura da IoT acarretava numa imprecisão, sem uma definição clara de um sistema de IOT de acordo com a IEEE (2015). Esta norma configura um marco para a caracterização e conceituação da Internet das Coisas e oferece “a estrutura geral dos elementos da arquitetura” (ISO, 2018) para sistemas IoT e possui entre seus objetivos a promoção de um “ponto de referência tecnologicamente neutro para definir padrões para IoT” (ISO, 2018).

Conforme a ISO/IEC 30141:2018 (2018), existem características e modelos conceituais que são respectivamente consideradas e de onde deriva o Modelo de Referência (MR) descrito pelas determinadas visões da arquitetura dos sistemas IoT. De acordo com a Norma (2018), os Modelos de Referências podem ser baseados nas Entidades ou nos Domínios, conforme representada na Figura 63, os quadros azuis ilustram as interações entre as principais entidades, enquanto que os quadros e setas rosas descrevem as interações entre os domínios do sistema IoT. A relação entre MR baseada em entidade e MR baseada em domínio está representada na figura abaixo e mostra que cada domínio tem diferentes tipos de entidades.

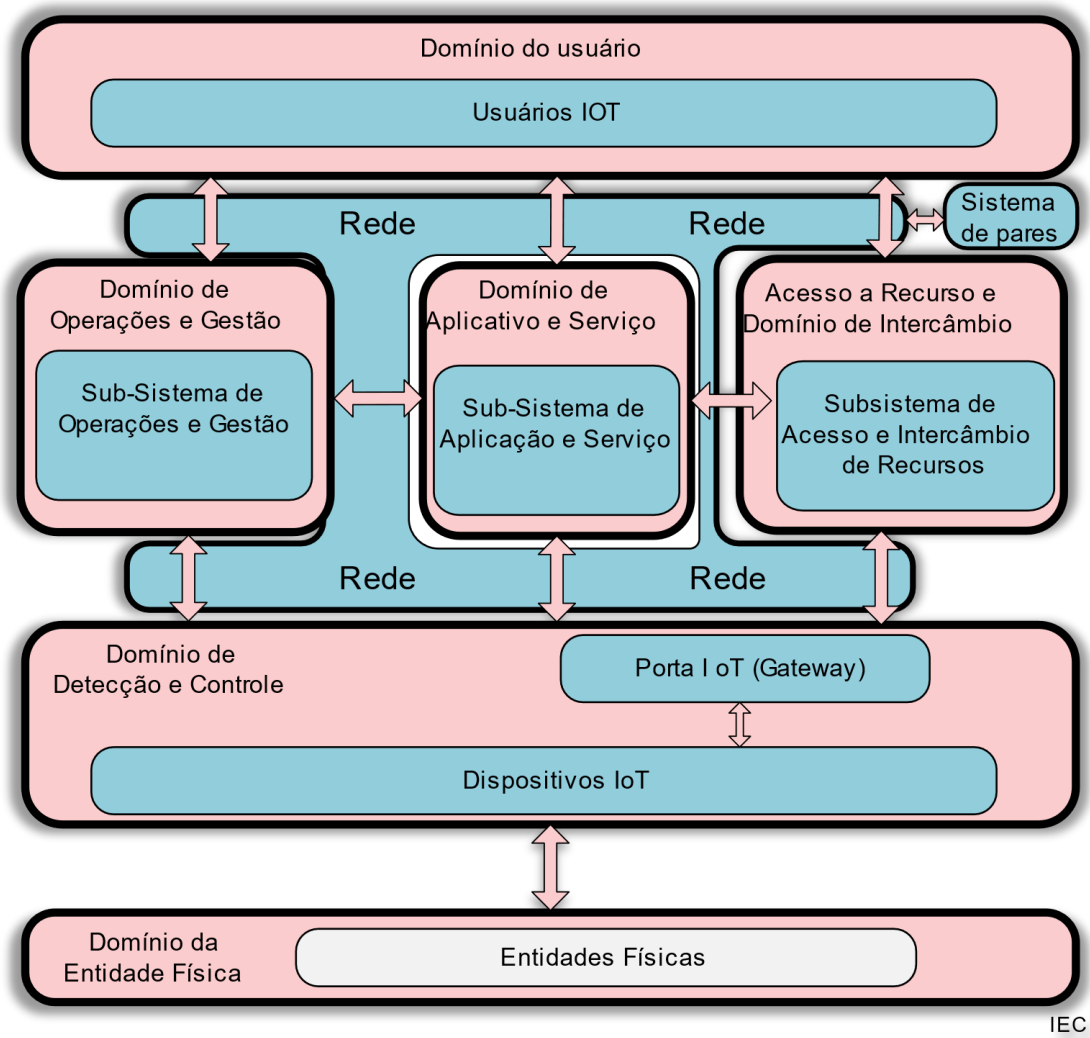


Figura 63 Modelos de referência da ISO/IEC 30141:2018 baseados nas Entidade (azul) e nos Domínios (rosa)

Fonte: ISO (2018), adaptação própria

#### 4.2.4 Características dos Sistemas IoT

Segundo a ISO/IEC 30141:2018 (2018), as características / Propriedades-chave dos sistemas IoT são divididas em três categorias: funcionais, de confiabilidade e estruturais (arquitetura). O Quadro 6 classifica as características de acordo com a essas três categorias.

<b>Categorias</b>	<b>Características relacionadas</b>
Características de Confiabilidade do sistema IoT	Disponibilidade
	Confidencialidade
	Integridade
	Proteção de informações de identificação pessoal
	Confiabilidade
	Resiliência
	Segurança
Características da Arquitetura do sistema IoT	Habilidade de composição
	Separação funcional e de capacidade de gestão
	Heterogeneidade
	Sistemas altamente distribuídos
	Suporte herdado
	Modularidade
	Conectividade de rede
	Escalabilidade
	Compartilhabilidade
	Identificação única
	Componentes bem definidos
Características Funcionais do sistema IoT	Precisão
	Configuração automática
	Conformidade
	Percepção de conteúdo
	Percepção do contexto
	Características dos dados - volume, velocidade, veracidade, variabilidade e variedade
	Detectabilidade
	Flexibilidade
	Gerenciamento
	Comunicação de rede
	Gerenciamento e operação de rede
	Capacidade em tempo real
	Autodescrição
	Subscrição de serviço

Quadro 6 Características dos sistemas IoT segundo a ISO/IEC 30141:2018

Fonte: ISO (2018)

Segundo a Norma, as Características de confiabilidade do sistema IoT devem garantir um grau de confiança de que o sistema funcione conforme esperado “em face a perturbações ambientais, erros humanos, falhas e ataques do sistema” (ISO, 2018). De acordo com esta classificação, as características de confiabilidade do Sistema IoT são: Disponibilidade, Confidencialidade, Integridade, Proteção de informações de identificação pessoal, Confiabilidade, Resiliência e Segurança e são brevemente definidas no Anexo 5A.

As Características da Arquitetura do sistema IoT, ou seja, o “conjunto de conceitos fundamentais ou propriedades de um sistema” (ISO, 2018), de acordo com esta Norma (2018) são: Habilidade de composição; Separação de capacidades funcionais e de gestão; Heterogeneidade; Sistemas altamente distribuídos; Suporte Herdado; Modularidade; Conectividade de rede; Escalabilidade; Compartilhabilidade; Identificação única; Componentes bem definidos e são brevemente definidas no Anexo 5B.

As características funcionais do sistema IoT de acordo com esta Norma (2018) são: Precisão; Configuração automática; Conformidade; Percepção de conteúdo; Percepção do contexto; Características dos dados<sup>37</sup>; Detectabilidade; Flexibilidade; Gerenciamento; Comunicação de rede; Gerenciamento e operação de rede; Capacidade em tempo real; Autodescrição; Subscrição de serviço e são brevemente definidas no Anexo 5C.

#### **4.2.5 Áreas de Aplicações da IoT**

O potencial de aplicação da IoT nas diversas esferas da sociedade cresceu dramaticamente nos últimos anos, graças à evolução tecnológica e do mercado do setor e diminuição dos custos de implantação dessas tecnologias. Este item foi fundamentado no trabalho de Vermesan e Friess (2013).

De acordo com os autores, o potencial econômico da aplicação da IoT e seu impacto na abordagem das tendências e desafios da sociedade, (tais como saúde e bem-estar; transportes e mobilidade; segurança e segurança; energia e ambiente; comunicação e sociedade), se beneficiaram diretamente pelo desenvolvimento das tecnologias de semicondutores, comunicações, redes e de softwares, criando oportunidades significativas nos mercados de eletrônica de consumo, eletrônica automobilística, aplicações médicas, comunicação, etc. O Gráfico 16 contém uma projeção da evolução da IoT.

---

<sup>37</sup> “volume, velocidade, veracidade, variabilidade e variedade”

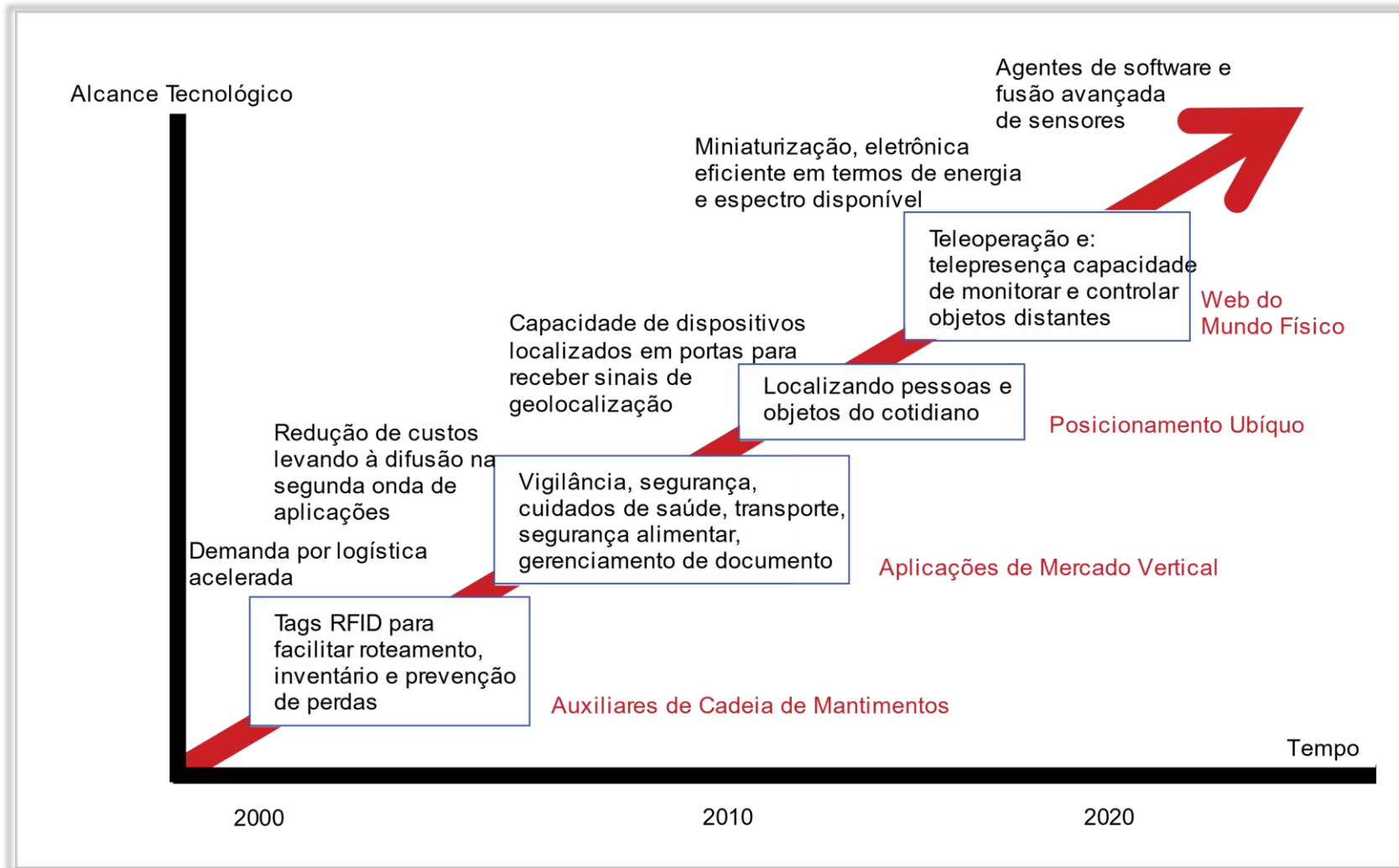


Gráfico 16 *Roadmap* tecnológico da Internet das Coisas

Fonte: SRI (2008)

Vermesan e Friess (2013) afirmam que as diversas aplicações da IoT podem estar presentes em qualquer área da vida cotidiana dos indivíduos, das empresas e da sociedade como um todo. De acordo com Vermesan, Friess et al. (2011), a agenda 2010 de Pesquisa Estratégica sobre Internet das Coisas identificou e descreveu suas principais aplicações, que abrangem inúmeros domínios de aplicações – que podem ser referidos como ‘verticais’.

Segundo os autores, essas verticais podem ser: “transporte, construção, cidade, estilo de vida, varejo, agricultura, indústria, cadeia de suprimentos, emergência, cuidados de saúde, interação do usuário, cultura e turismo, meio ambiente e energia”. A Figura 64 ilustra as necessidades da sociedade versus segmentos de mercado para algumas dessas verticais.



Figura 64 Matriz de aplicações: necessidades da sociedade versus segmentos de mercado

Fonte: Elaboração própria baseada em Vermesan e Friess (2013)

Essas verticais são atravessadas pelos domínios horizontais (VERMESAN e FRIESS, 2013), através de uma estrutura comum que o sistema IoT possui (arquitetura de referência) – este atravessamento contribui para que as diversas verticais (áreas de aplicação) interajam através de uma linguagem em comum.

De acordo com a Microsoft (2019), cada vertical terá necessidades específicas e problemas que precisam ser resolvidos. Logo a implementação de sistemas IoT terão as especificidades de cada vertical. Apesar de haver diversas sobreposições entre as verticais, é fundamental analisar as necessidades de customização da solução IoT.

Cada vertical deve escolher quais dados são importantes para suas áreas de aplicação e em que dados poderão encontrar os Indicadores de Desempenhos Chaves (KPI<sup>38</sup>, sigla em inglês). Pelo monitoramento dos dispositivos IoT, é possível, através das dashboards, visualizar e acompanhar as telemetrias, informações sobre dispositivos, alertas e KPIs (MICROSOFT, 2019). Para este trabalho, o enfoque das aplicações da IoT será nas áreas que tangem a gestão urbana: energia, edifícios, mobilidade e cidades. No caso das Cidades, a IoT pode ser aplicada no monitoramento e intervenção em tempo real e remotamente em diversas áreas da dinâmica urbana. A Figura 65 ilustra a pervasividade (atravessamento) da arquitetura básica da IoT nas diversas áreas de aplicação que tangem a gestão urbana.

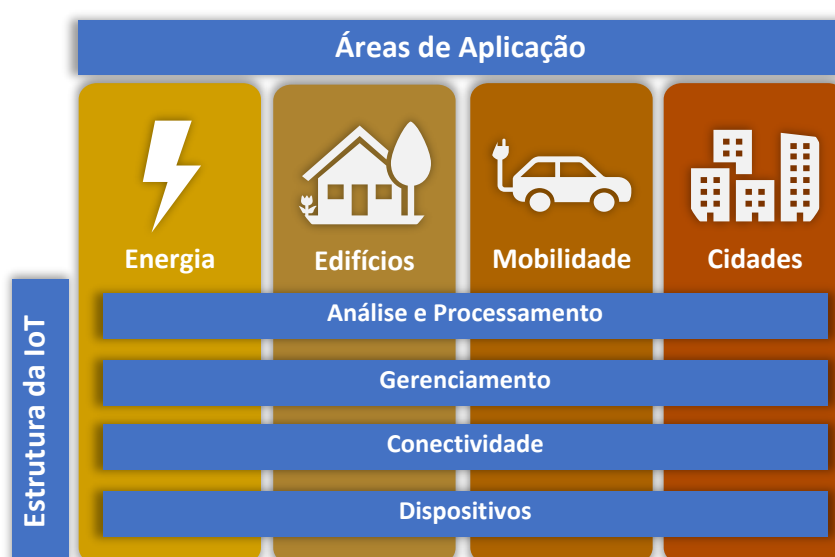


Figura 65 Áreas de Aplicações e Estrutura da IoT

Fonte: Elaboração própria baseada em Vermesan e Friess (2013) e Microsoft (2019)

Como exemplificam Vermesan e Friess (2013), a IoT pode ser aplicada: no acompanhamento da disponibilidade de vagas de estacionamento ao longo das vias; na identificação de vibrações que possam afetar estruturas como edifícios e pontes; do ruído urbano; no tráfego de veículos e pedestres; na Iluminação Pública e no gerenciamento dos resíduos sólidos, oferecendo respostas imediatas a cada uma dessas áreas de acordo com as condições climáticas e eventos inesperados, como acidentes ou engarrafamentos, etc.

As diversas aplicações da IoT servem a diferentes usuários e cada um deles tem diferentes necessidades e propósitos. Esses usuários são classificados pelos autores dentro das seguintes categorias: os cidadãos individuais, as comunidades de cidadãos (cidadãos de uma cidade,

<sup>38</sup> “As KPIs fornecem uma estrutura para definir cálculos do lado do servidor que medem seus negócios e padronizam como as informações resultantes são exibidas. Os KPIs podem ser exibidos em relatórios, portais e dashboards, por meio de APIs de acesso a dados.” (MICROSOFT, 2019)

região, país ou sociedade como um todo) e empresas.

Segundo os autores, para os cidadãos individuais, a IoT pode ser aplicada para atender diversas necessidades particulares, seja para aumentar sua segurança ou a segurança de seus membros da família, para permitir a realização de determinadas atividades de forma mais conveniente, para melhorar geralmente o estilo de vida, saúde e bem estar, ou ainda para diminuir o custo de vida.

Esta aplicação influencia no meio urbano visto que a otimização do monitoramento dos recursos pelo consumidor final gera um impacto positivo no consumo e diminui a pressão no fornecimento dos serviços urbanos como abastecimento de água e energia, ou ainda, através das tendências de compartilhamento de serviços de mobilidade como os aplicativos de compartilhamento de veículos (*carpool*) favorece a mobilidade urbana.

Enquanto que para a sua aplicação na sociedade, como cada usuário tem motivações diferentes, “está preocupado com questões de importância para toda a comunidade, muitas vezes relacionadas a desafios de médio a longo prazo” (VERMESAN e FRIESS, 2013), conforme exemplificado pelos autores: para garantir a segurança pública – ao prever eventos como catástrofe nuclear, o tsunami, terremotos, ataques terroristas o quanto antes e tornar as missões de resgate e recuperação mais eficientes; para proteger o meio ambiente – ao monitorar e estipular medidas de controle de poluentes no ambiente, em particular no ar e na água e as emissões de carbono e gases de efeito estufa, ao gerenciar os resíduos comuns e os resíduos de dispositivos elétricos e produtos perigosos, ao promover a utilização eficiente de várias energias e recursos naturais; e finalmente para criar novos empregos e garantir que os já existentes sejam sustentáveis. Todas essas questões são importantes e necessárias para manter um alto nível de qualidade de vida do cidadão e da sociedade.

Com relação à necessidade das empresas, a aplicação da IoT visa o aumento da produtividade e da rentabilidade da empresa. Segundo os autores, a diferenciação de mercado num contexto de competitividade em um mercado saturado de produtos e soluções similares e a eficiência de custos e melhor aproveitamento dos recursos, melhor informação utilizada no processo decisório ou redução de tempo de inatividade.

Essa aplicação influencia no meio urbano pois as empresas, seja de manufatura, seja de comércio e serviços se utilizam da infraestrutura urbana para sua logística e transporte de suprimentos, interferido na mobilidade. Uma gestão mais eficiente das empresas significa otimização dos processos que interfiram no meio urbano.



Outro ponto importante a discutir a respeito das aplicações da IoT, segundo os autores, é como as necessidades estão mudando em todo o mundo é a lógica do negócio por trás de cada aplicação, ou seja, é importante considerar qual o valor que sua aplicação gera, quem absorve o custo de criar a cadeia de valor da IoT e quais são os modelos de receitas e incentivos para participar, utilizar ou contribuir para o desenvolvimento do mercado da IoT. Para Vermesan e Friess (2013), “devido à diversidade do domínio de aplicativo de IoT e diferentes forças de condução por trás de diferentes aplicações, não é possível definir um modelo de negócios universal”. No caso do indivíduo, pode haver a cobrança de uma taxa por um serviço, mas no caso de serviços para a comunidade/sociedade, essa cobrança é mais complexa pois envolve orçamentos públicos, barreiras regulatórias e prazos específicos, devendo-se considerar formas possíveis de implantação e execução desses serviços alternativos.

Ainda que a IoT tenha se desenvolvido velozmente nos últimos cinco anos especialmente, as suas aplicações ainda enfrentam desafios técnicos, institucionais e econômicos, e estão atreladas às questões da necessidade e de aceitação da sociedade. As cidades inteligentes particularmente carregam barreiras e ao mesmo tempo possuem um potencial enorme de aplicação da Internet das Coisas.

Segundo Vermesan e Friess (2013), com mais de 60% da população mundial vivendo em áreas urbanas até 2025, o impacto da urbanização intensa nas cidades emergentes e megacidades será proporcional na vida das pessoas e na infraestrutura e forçando a expansão urbana para áreas rurais causando impactos no meio ambiente e fornecimento de recursos essenciais para a vida nas cidades e serviços urbanos. Para os autores, isso levará à necessidade de buscar soluções de cidades inteligentes com oito eixos principais: “economia inteligente, edifícios inteligentes, mobilidade inteligente, energia inteligente, comunicação e tecnologia de informação inteligente, planejamento inteligente, cidadão inteligente e governança inteligente”.

O papel dos governos locais será crucial para a aplicação da IoT nas cidades. Segundo Vermesan e Friess (2013), “a execução das operações do dia-a-dia da cidade e a criação de estratégias de desenvolvimento urbano impulsionarão o uso da IoT”. Por outro lado, o desenvolvimento da IoT dependerá do estudo dos critérios específicos das cidades e dos serviços urbanos para desenvolvimento de soluções e dispositivos através da IoT.

A Figura 66 ilustra exemplos de aplicações da Internet das Coisas na Vertical Cidades.



Figura 66 Exemplos de aplicações da Internet das Coisas na Vertical Cidades

Fonte: BNDES (2018)

É importante considerar, no entanto, a limitação dos recursos financeiros das cidades, sobretudo das em desenvolvimento. A eficácia da aplicação da IoT nas cidades se dá através da busca de soluções que atravessem horizontalmente as diversas demandas urbanas, com “o uso de tecnologias de comunicação subjacentes heterogêneas e impõe que o usuário interaja com vários serviços de IoT contínua e onipresente” (VERMESAN e FRIESS, 2013). Ainda de acordo com os autores, os maiores desafios para aplicação da IoT nas cidades são:

- Superação da organização tradicional das cidades baseadas em silos ou serviços, em que cada prestadora de serviço urbano é responsável pelas suas próprias demandas;
- Criação de algoritmos e esquemas para descrever informações criadas por sensores em diferentes aplicações para possibilitar a troca de informações úteis entre diferentes serviços municipais;
- Criação de mecanismos para a implantação e manutenção das instalações de dispositivos IoT que seja econômica e inclusive buscando a eficiência energética;
- Garantir leituras confiáveis e calibração eficiente de uma infinidade de sensores implantados ao redor da cidade;
- Protocolos e algoritmos de baixa energia;
- Algoritmos para análise e processamento de dados adquiridos na cidade e fazendo leituras fora dos dispositivos;
- Implantação e integração em grande escala de IoT.

A IoT pode ser aplicada às cidades e aos sistemas que as compõem. No Sistema de Iluminação Pública, a IoT pode ser utilizada seja para controlar as funcionalidades da luminária e monitoramento da operação do sistema, seja para agregar equipamentos que monitoram os serviços urbanos utilizando a infraestrutura de Iluminação Pública.

#### 4.3 INTERNET DAS COISAS APLICADA À ILUMINAÇÃO PÚBLICA

A Iluminação Pública tem sido mundialmente o ponto de partida para implantação de projetos de Cidades Inteligentes. Já existem no mercado diversas soluções para aplicação da IoT na Iluminação Pública. Essas tecnologias são desenvolvidas de acordo com as necessidades específicas da cidade ou do serviço urbano, assim como dependem das condições em que serão implantadas. A tomada de decisão sobre o tipo de dispositivo IoT e a tecnologia de transmissão de dados e que possa ser implantado na infraestrutura urbana deve considerar uma série de questões técnico-normativas, sociais, econômicas, regulatórias e ambientais de cada local onde

serão implantadas.

Um dos maiores desafios para aplicação da Internet das Coisas na Iluminação Pública é o seu impacto na cidade e na sociedade. Considera-se necessário assumir as seguintes premissas para aplicação desta tecnologia no meio urbano: A segurança cidadã deve ser requisito inegociável para aplicação de qualquer sistema automatizado no meio urbano. Em segundo lugar, a privacidade dos dados dos cidadãos deve ser garantida. O terceiro ponto, é a confiabilidade do sistema de Iluminação Pública conectada, que deve ser livre do risco de interrupção do fornecimento desse serviço urbano essencial para a segurança nas cidades e dos cidadãos.

Quanto aos aspectos técnicos, deve-se considerar: o tipo de dados que se pretende coletar e como será transmitido, processado, armazenado e protegido e a capacidade de atuação e resposta no sistema; o consumo e fonte de energia dos equipamentos; o posicionamento e exposição às intempéries (áreas externas); e a dimensão da cidade, no caso da Iluminação Pública, o tamanho do parque. Além disso, num nível mais profundo, é importante considerar a transversalidade de dados para outros serviços urbanos e também a adição e reposição de módulos IoT, a interoperabilidade.

#### **4.3.1 Iluminação Pública Inteligente**

As soluções para gerenciamento remoto dos parques de Iluminação Pública nas cidades são uma tendência forte no setor intensificada com a evolução das tecnologias IoT. Também chamada no setor de telegestão, pode proporcionar redução nos custos da operação através da identificação automática de problemas, do controle das funcionalidades ópticas (dimerização dinâmica e mudança na temperatura de cor das luminárias) e da medição do consumo energético em tempo real (ANTUNES, 2017), (BNDES, 2017).

De acordo com o BNDES (2017), a identificação automática de problemas impacta na tomada de decisão quanto ao momento de executar a troca e manutenção dos componentes da infraestrutura de Iluminação Pública assim como no perfil da mão de obra que identifica esses problemas. Enquanto que o controle das funcionalidades ópticas impacta não somente na redução do consumo energético, mas também no conforto do cidadão, segurança e ambiência urbana. E a medição do consumo energético em tempo real visa evitar erros na cobrança das despesas com energia elétricas pelas concessionárias que fornecem energia.

Com a implantação de dispositivos de controle nas luminárias, além da redução do

consumo de energia em determinados horários e condições de luminosidade e fluxo de pedestres e veículos do ambiente, poderá haver forte redução da poluição luminosa em horários em que a maioria da população está dormindo. Além disso, a capacidade de mudar a temperatura de cor da fonte de luz ao longo do seu período de funcionamento pode impactar na saúde e no bem estar humano como discutido nos itens 3.2.2 e 3.2.3.

Quanto à verificação do consumo energético, os sensores de medição de tensão e corrente garantem que os gastos com energia elétrica sejam controlados pelo município e o pagamento pelo uso da energia às concessionárias seja correspondente ao consumo real, e não esteja indexado à uma estatística de horários de funcionamento fixos.

Com relação ao gerenciamento de falhas no sistema, os dispositivos aumentam a responsividade do gestor da Iluminação Pública para resolver o problema ou falha em qualquer que seja o componente do sistema, ou seja, diminuem o tempo para executar a solução do problema. Além disso, a equipe de manutenção terá mais informações da natureza da falha e levará os instrumentos e pessoal necessário para fazer a troca ou conserto do equipamento. A Figura 67 ilustra um sistema de Iluminação Pública conectado à nuvem.

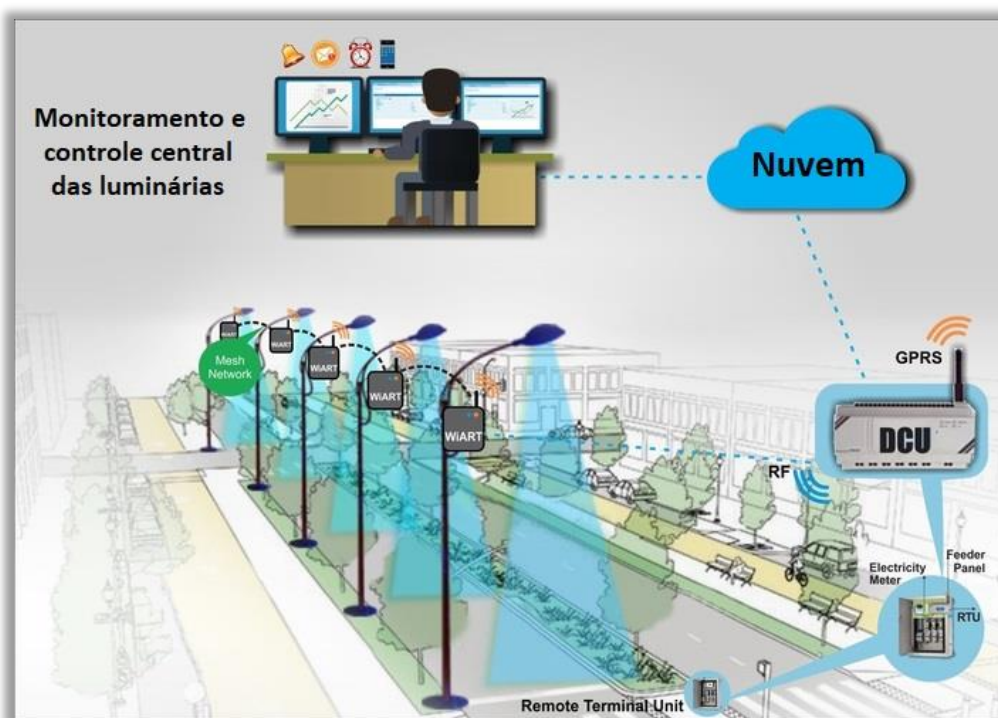


Figura 67 Representação de um Sistema de Iluminação Pública Inteligente com a utilização de Nuvem.

Fonte: IEC eTech (2016)

A Figura 68 contém uma visão sistêmica da Iluminação Pública Inteligente, apresentando os principais componentes da solução.

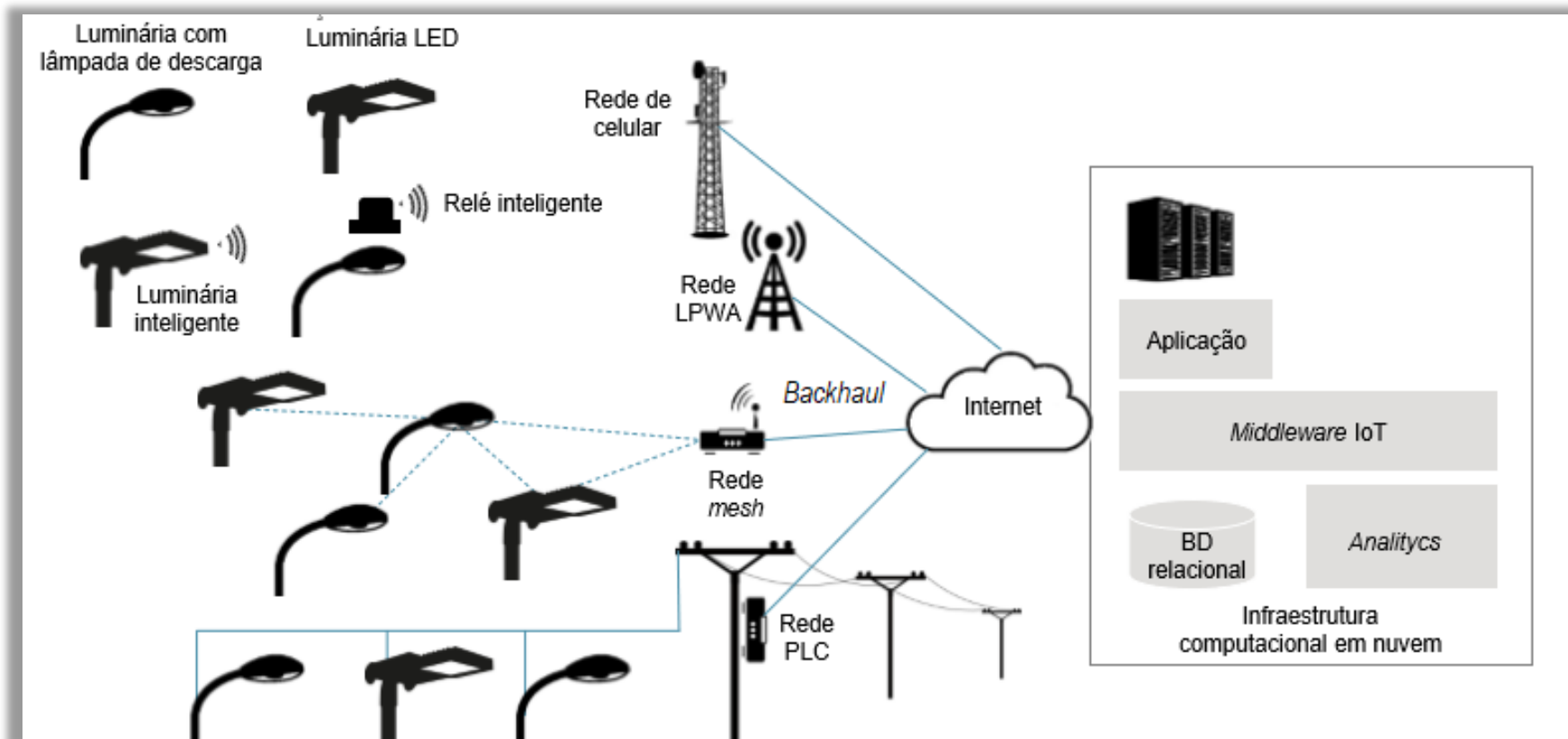


Figura 68 Iluminação pública inteligente - Visão sistêmica da solução

Fonte: BNDES (2017)



Observa-se a mesma lógica de camadas da IoT para essa solução específica, contendo dispositivos, redes para transmissão de dados e a camada de processamento e análise dos dados. Segundo o BNDES (2017), a solução consiste dispositivos com capacidade de processamento e conectividade embarcados em luminárias ou relés fotoelétricos para monitorar informações relevantes para a operação do parque, enviando-as à uma central de processamento através de uma rede de comunicação, para que possam ser analisadas e a partir dessa análise, atuar na luminária ou tomar decisões para contenção de problemas. Segundo o BNDES (2017), essa solução deve ser escalável, contar com fonte de energia tanto para a iluminação quanto para os dispositivos (sensores e atuadores) constante, é necessário que as atualizações dos dispositivos sejam feitas remotamente e que os dados sejam seguramente transmitidos e processados numa plataforma central de serviços e aplicação (central de controle remoto).

a) Dispositivos:

Os dispositivos IoT para controle da luminosidade ou medição do consumo energético ou identificação de falhas podem vir acoplados internamente na luminária ou no relé fotoelétrico que facilita sua implantação em larga escala, já que as luminárias existentes já vêm equipada com a tomada padrão para o acoplamento de relés fotoelétricos em conformidade com a Norma ANSI C136.41. (BNDES, 2017)

Em ambos os casos, os dispositivos podem conter módulos de sensores e atuadores. Os primeiros podem medir a tensão e corrente elétricas – gerando dados com os quais são possíveis calcular o consumo real e a degradação e tempo de vida estimado da lâmpada ou LED – e detectar os níveis de luminosidade do ambiente – que podem ativar os controles de acendimento da luminária localmente (em caso de falha ou perda da conexão com a central) ou fornecer dados para acendimento e dimerização remota através da central. (BNDES, 2017)

Ao passo que os atuadores são aqueles que controlam a luminária em si, ligando-as e desligando-as ou controlando a intensidade da iluminação (*dimmers*) de acordo com as necessidades do ambiente ou de eventos que provoquem sua ativação (BNDES, 2017). As luminárias LED conforme discutido no item 3.1.5 são mais ajustáveis e controláveis, permitindo diversos cenários em questão de segundos. Ressalte-se que esse ajuste pode ser também na temperatura de cor da luminária, dependendo da escolha do LED (*color tuning*). Segundo o BNDES (2017), “A decisão sobre o nível de dimerização pode ser feita a partir de informações provenientes de outros sistemas, como o atual fluxo de carros em uma determinada via”, por exemplo.

Por estarem conectados à internet, o sistema de Iluminação Pública Inteligente está sujeito à ataques cibernéticos. Como forma de prevenir ataques ao sistema, “os dispositivos devem implantar mecanismos de segurança da informação, em especial, atualização remota de *firmware* para a correção de eventuais bugs, controle do acesso remoto ao dispositivo e prevenção à negação de serviço.” (BNDES, 2017)

b) Redes de Comunicação:

Para que os dispositivos de iluminação se comuniquem entre si e com a nuvem, eles devem ser capazes de transmitir dados em um meio de rede. A lógica para rede de comunicação na eliminação pública segue a mesma estrutura conforme descrito no tópico anterior 4.2.

A comunicação ocorre em vários níveis, a primeira delas é a camada física. Esta é a camada que é fisicamente responsável por transportar um sinal que representa dados para o dispositivo de iluminação da nuvem ou da iluminação para a nuvem. A camada física pode ser implementada usando uma das muitas tecnologias: fibra ótica, transmissão de linha de energia, fios de *ethernet*, frequências de rádio não licenciadas ou frequências de rádio licenciadas. A tomada de decisão deve ser baseada na localização das luzes e (nas condições) dos ambientes no entorno.

Acima da camada física existe uma camada de rede, isso fornece mecanismos padronizados para rotear os sinais para os dispositivos. Geralmente, isso depende de IPv4 ou IPv6 para conectar os dispositivos a uma rede hospedeira. A comunicação entre os dispositivos ou dois dispositivos pode ocorrer como comunicação direta ou via *peer-to-peer* ou malha dos dados para o dispositivo. É fundamental que cada dispositivo tenha sua identificação única no ambiente virtual.

No topo da camada física existe uma camada de protocolo, que representa um formato específico de dados para comunicar informações aos dispositivos. Para que várias luzes e controladores de iluminação interajam com sucesso, eles precisam poder se comunicar usando um protocolo padrão. Existem inúmeros protocolos disponíveis para Iluminação Pública. Enquanto a indústria de iluminação doméstica padronizou um número limitado de protocolos, a indústria de Iluminação Pública ainda está lutando para criar um padrão para a interoperabilidade entre os dispositivos de iluminação. Na escala da cidade é necessário considerar tecnologias sem fio com baixo consumo de energia e longo alcance, sendo convencionalizada a tecnologia LoRaWAN como a tendência mais forte no setor de Iluminação Pública e Cidades Inteligentes (MUTHANNA, MUTHANNA, *et al.*, 2018)



Para a Conectividade na Iluminação Pública Inteligente, destacam-se os critérios da segurança da conectividade, o meio de transmissão dos dados e a dimensão da área de aplicação contendo pontos espalhados por toda a cidade.

c) **Processamento e Análise dos Dados (Suporte à aplicação):**

Os dados transmitidos provenientes dos dispositivos são executados num ambiente virtual onde são processados e analisados. A partir desse sistema central programado para atuar em tempo real tanto na luminária quanto na determinação de ações de planejamento, operação e manutenção do sistema de Iluminação Pública. Nesse ambiente de suporte à aplicação, algoritmos analisam os dados recebidos dos sensores que identificam anormalidades e falhas nas luminárias gerando relatórios para subsidiar ações de operação e manutenção em campo (BNDES, 2017), assim como determinam as ações de controle da luminária através do envio de comandos atuadores.

Além dessa solução, outros sistemas IoT podem ser incorporados à infraestrutura de Iluminação Pública para auxiliar na gestão e planejamento urbano integrada e de outros sistemas e serviços urbanos.

#### **4.3.2 Gestão Urbana Integrada Utilizando a Infraestrutura de Iluminação Pública**

Uma pesquisa recente feita por uma empresa baseada no Reino Unido, Juniper Research (2019) constatou que muitas cidades estão agora se afastando de soluções pontuais, para a aquisição de plataforma de gestão integrada. Nesse sentido as soluções de Iluminação Pública Inteligente servem de ponto de entrada para uma série de cidades que procuram implantar projetos de cidades inteligentes. A altura dos postes é uma das justificativas para o uso da infraestrutura de Iluminação Pública para os dispositivos IoT – sensores, atuadores, câmeras para reconhecimento facial e de placas de veículos, etc., pois favorece a transmissão dos dados em redes sem fio.

De acordo com Antunes (2017), a Iluminação Pública é uma infraestrutura de serviço público que está presente em todo o território urbano e possui fonte de energia constante e posicionamento privilegiado dos postes (no que tange à altura de montagem dos equipamentos). Com a tendência recente de gerir os parques de Iluminação Pública com equipamento de telegestão, a infraestrutura de iluminação poderá dispor de uma infraestrutura secundária de transmissão de dados seja via cabeamento seja por transmissão de dados via wireless (sem fio).

Além disso, poderá agregar outros dispositivos não somente aqueles que controlam e gerem o sistema de Iluminação Pública em si, mas também possibilita que essa infraestrutura possa adquirir outras funções, tornando-se local onde podem ser instalados sensores, câmeras de monitoramento e outros equipamentos que coletam dados da dinâmica urbana em tempo real e permitindo que essas informações sejam utilizadas para gestão de outros serviços e utilidades públicas municipais que envolvam equipamentos situados nas vias públicas e que possam ser melhoradas ou utilizadas a partir da gestão remota em tempo real (ANTUNES, 2017). A Figura 69 e a Figura 70 contêm exemplos de equipamentos com dispositivos IoT embutidos.



Figura 69 Exemplo de luminária com câmera embutida

Fonte: LEDInside (2018)

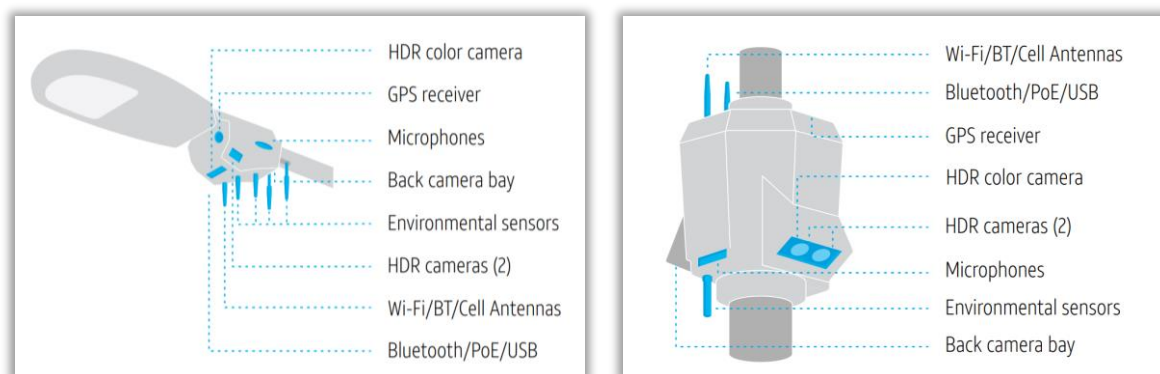


Figura 70 Exemplo de luminária e poste de iluminação com Dispositivos e Gateways IOT embutidos

Fonte: AT&T (2017)

Segundo Antunes (2017, p. 56), a infraestrutura da Iluminação Inteligente assistida dessa infraestrutura de transmissão de dados “possibilitou-se o trânsito dos dados e informações necessários à gestão inteligente de múltiplas e distintas utilidades públicas municipais, todas monitoradas por um único Centro de Controle Operacional”. Viabilizando novos serviços e recursos a sociedade, podendo acarretar em melhorias na segurança pública e na qualidade de vida da população.

A Gestão Urbana Integrada através da IoT contribui para a otimização da gestão eficiência e melhor aproveitamento dos recursos das cidades pois habilita potencialidades e implicações como o gerenciamento e transversalidade dos dados, a geração de indicadores urbanos temporais e espaciais, que contribuem para aumento da resiliência urbana e responsividade, a participação e interatividade cidadã e a oferta de WiFi Público e Conectividade. Essas potencialidades e suas implicações são detalhadas a seguir:

a) Gerenciamento e Transversalidade dos Dados:

A transversalidade dos dados no contexto das Cidades Inteligentes é a capacidade que diversos dispositivos de sensoriamento do ambiente físico têm de intercambiar informações através da compatibilidade desses dados, dessa forma o gerenciamento destes dados no contexto de sua aplicação (cidades e serviços urbanos) possa se dar de forma integrada e eficaz em termos de compartilhamento de informações sincronizadas e que possam servir para múltiplas demandas da gestão urbana.

A interoperabilidade permite descrever informações criadas por sensores em diferentes aplicações para possibilitar a troca de informações úteis entre diferentes serviços municipais (VERMESAN e FRIESS, 2013). A Figura 71 exemplifica as formas de interoperabilidade nas Cidades Inteligentes.

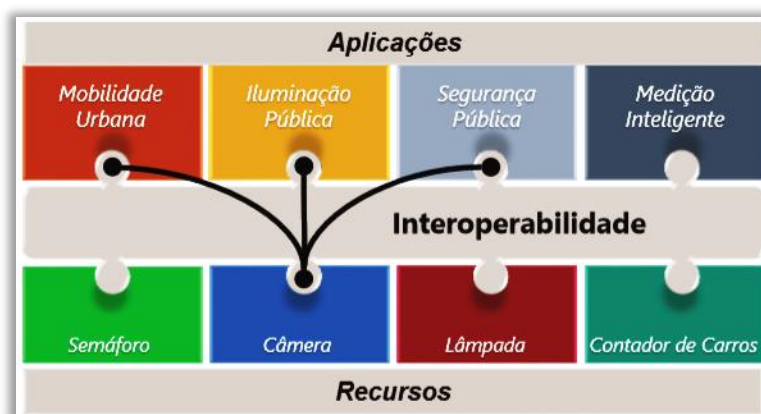


Figura 71 Formas de interoperabilidade nas Cidades Inteligentes

Fonte: BNDES (2018)

É importante considerar a limitação dos recursos financeiros das cidades, sobretudo das cidades em desenvolvimento. A eficácia da aplicação da IoT nas cidades se dá através da busca de soluções que atravessem horizontalmente as diversas demandas urbanas, com “o uso de tecnologias de comunicação subjacentes heterogêneas e impõe que o usuário interaja com vários serviços de IoT contínua e onipresente” (VERMESAN e FRIESS, 2013).

#### b) Indicadores Urbanos Temporais e Espaciais:

De acordo com Vermesan e Friess (2013), os dados coletados pelos sensores no meio urbano podem gerar indicadores imediatos, dentro de suas variáveis temporais e espaciais. Isto permite que a etapa de diagnóstico das cidades, indispensáveis para tomada de decisão e formulação de planos de ação, seja feita de forma dinâmica. Os indicadores podem ser principalmente geográficos, temporais, mas também podem ser cruzados com indicadores meteorológicos e de vulnerabilidade detalhados a seguir:

- **GEOGRÁFICOS:** identificam onde estão localizados os objetos ou os eventos atípicos (acidentes, disparos de arma de fogo, índices de criminalidade);
- **TEMPORAIS:** identificam o momento do evento e os horários em que há maior probabilidade de ocorrerem eventos repetidos (engarrafamentos, acidentes);
- **METEOROLÓGICOS:** identificam o ambiente local e os padrões climáticos horários;
- **DE VULNERABILIDADE:** identificam no espaço geográfico as áreas suscetíveis a riscos em função das condições de clima e horários.

Esses indicadores configuram o maior benefício e justificativa para da implantação da IoT na infraestrutura de Iluminação, já que a ‘fotografia’ do cenário da cidade em tempo real, aumenta a responsividade do poder público frente às diversas situações cotidianas. Este benefício também passa a adquirir um caráter econômico já que pode atrair mais investimentos para a cidade, contudo será feita uma ponderação sobre o uso ético e responsável dos dados.

Dentre os benefícios da sinergia entre a interatividade das cidades inteligentes, possibilitada também pelo uso de IoT na Iluminação Pública, e a responsividade frente às problemáticas das cidades está a melhoria da resiliência urbana, tão essencial em diversas escalas da sociedade.

#### c) Resiliência Urbana e Responsividade:

As cidades podem se beneficiar dos dados coletados pelos dispositivos IoT tanto para dar resposta aos eventos do dia a dia ou de ameaças e situações de emergências que podem sofrer, aumentando assim a sua Resiliência. A Responsividade do poder público diante dessas situações dependem muito da correta leitura desses dados (análise) e segundo o ex-prefeito de Nova Iorque (EUA), Michael Bloomberg:

A ascensão das cidades coincide com uma revolução tecnológica que está capacitando os líderes locais para encontrar novas formas inovadoras de melhor servir o público. No centro dessa revolução está nossa crescente capacidade de usar dados para

melhorar os serviços que o governo oferece. Os governos há muito tempo estão no negócio de manter registros e, cada vez mais, estão usando esses registros - bilhões de pontos de dados - para melhorar tudo, desde a resposta de emergência (GOLDSMITH e CRANFORD, 2014, p. V).

No caso das cidades, as tecnologias podem otimizar o fornecimento dos serviços urbanos através da análise em tempo real dos dados coletados pelos sensores conectados, por exemplo, através dos Centros de Controle e Monitoramento. Com os sensores conectados, espalhados pela cidade, é possível diagnosticar as mais diversas situações e em cenários críticos, aumentar a Responsividade do poder público para proteção da população e proteção do meio ambiente.

#### d) Participação e Interatividade Cidadã:

O gestor urbano pode contar com a Internet das Coisas mediante a sua conectividade pode habilitar um canal de múltiplas vias, tanto dar oportunidade de a população conhecer e executar seus direitos e deveres na cidade, quanto informar o poder público das suas necessidades, e assim dar uma resposta compartilhada a essas demandas.

Para que o exercício da governança urbana seja mais eficaz é necessário que todos os intervenientes tenham. através de abordagens inovadoras de educação urbana e cidadania, visando a melhoria da qualidade de vida e atendimento de suas necessidades. Segundo Vermesan e Friess (2013), o Sensoriamento Participativo é uma tendência que envolve o conceito de “conhecimento da comunidade para observação automatizada de eventos no mundo real”, baseada na sabedoria da comunidade e na contribuição consciente das pessoas e suas opiniões a respeito das suas vivências e atividades cotidianas.

Com o desenvolvimento da IoT e das TICs, e sobretudo da comunicação móvel, tanto as pessoas através dos seus aparelhos celulares conectadas à rede de dados móveis (3G/4G/5G – o último em fase de desenvolvimento), quanto veículos que equipados com sensores que capturam tanto dados de funcionamento do veículo, quanto as condições de tráfego. Ainda segundo o autor,

As aplicações de sensoriamento participativo visam a utilização de cada pessoa, telefone celular, carro e sensores associados como estações sensoriais automáticas, captando um instantâneo com vários sensores do ambiente imediato. Ao combinar esses instantâneos individuais de maneira inteligente, é possível criar uma imagem clara do mundo físico que pode ser compartilhado e, por exemplo, usado como uma entrada para os processos de decisão de serviços da cidade inteligente. (VERMESAN e FRIESS, 2013)

Por outro lado, o uso da IoT para participação e interatividade cidadã oferece desafios relacionados às condições em que os sensores estão capturando informações do ambiente, ou seja, se os dados são precisos e assegurando a apropriadas identificação e autenticação das

fontes de dados. Além disso, deve-se observar como esses dados serão processados e analisados em larga escala e como serão transformados em ações concretas de resposta à sociedade. Por fim, deve-se assegurar a privacidade dos usuários desses dispositivos, e que haja um termo de concordância e autorização do uso dos dados.

#### e) Conectividade e WiFi Público

Segundo estudo da IDC (2017), “Wi-Fi [sic] público é a conectividade sem fio fornecida por uma cidade, instituição pública como uma biblioteca ou aeroporto ou provedor de serviços, para o público em geral”. Através da provisão de WiFi público, ocorre um movimento de democratização do acesso à internet e eleva o ambiente de conectividade para as cidades e cidadãos.

A Figura 72 contém uma representação de um Sistema de Iluminação Pública para Cidades Inteligente, ilustrando algumas das potencialidades das soluções habilitadas pela infraestrutura.

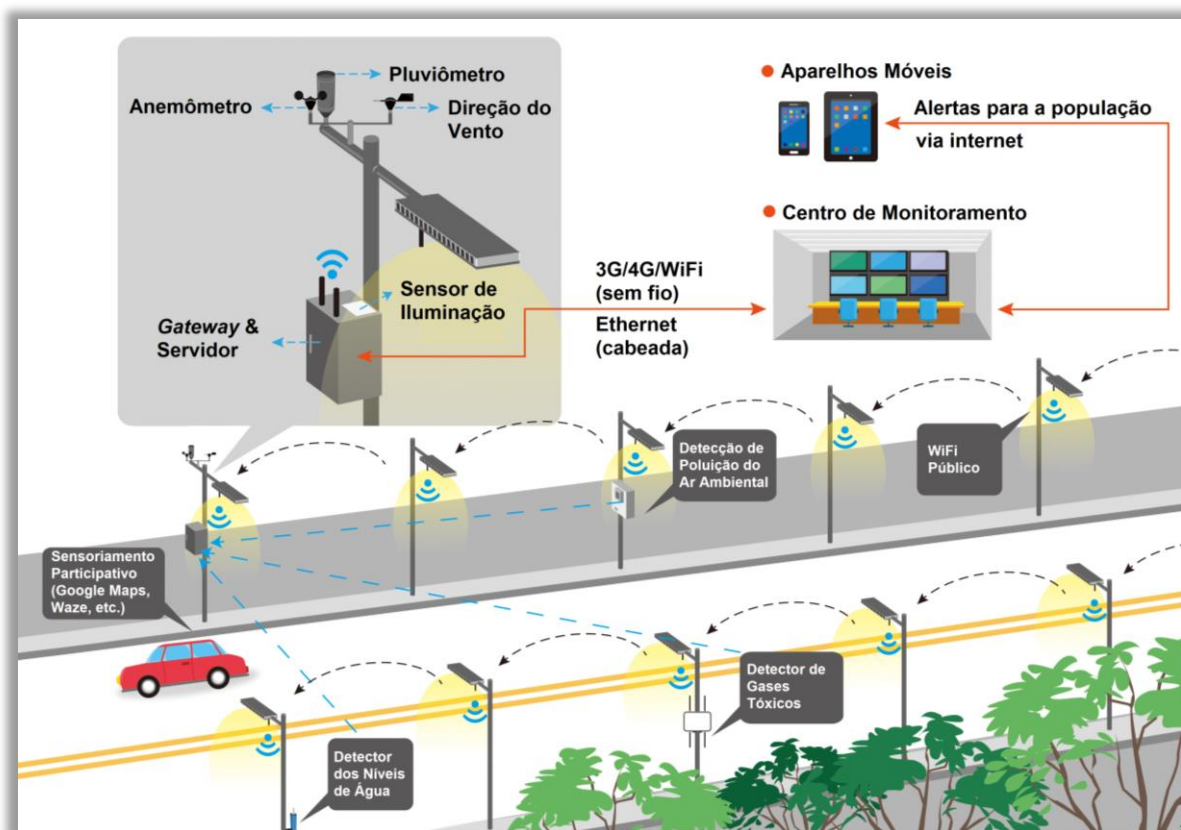


Figura 72 Representação de um Sistema de Iluminação Pública para Cidades Inteligentes

Fonte: Green Ideas Technology (2015), adaptação própria

### 4.3.3 Requisitos técnicos para aplicação da IoT na Iluminação Pública

Os principais requisitos técnicos que devem ser considerados na aplicação da IoT na infraestrutura de Iluminação Pública estão relacionados à arquitetura do sistema IoT para essas aplicações específicas, que serão desenvolvidas de acordo com o serviço objetivado. Especificamente para o gerenciamento remoto da Iluminação Pública e a gestão urbana integrada através de sua infraestrutura, alguns requisitos são essenciais para aplicação dessa tecnologia. São eles:

- **Precisão dos dados:** deve-se garantir que os sensores capturem precisamente os dados do ambiente no local onde o dispositivo IoT está inserido e da própria operação da luminária. A acurácia dessas informações assegura ações mais apropriadas;
- **Segurança e Acesso ao Sistema:** os dados devem contar com níveis de segurança e a proteção do acesso ao seu conteúdo, evitando ataques ao sistema IoT e ao Sistema de Iluminação Pública;
- **Confiabilidade e ininterruptibilidade:** é fundamental assegurar que o sistema de iluminação permaneça funcionando corretamente ainda que o sistema IoT embarcado na luminária falhe, ou seja, que garanta a ininterruptibilidade do serviço de Iluminação Pública e do serviço de coleta de dados (falha segura);
- **Autonomia e Eficiência Energética do Dispositivo:** ainda que a Infraestrutura de Iluminação Pública esteja servida de energia elétrica constantemente, é essencial considerar o quanto de energia que o dispositivo IoT consome para coletar e transmitir os dados do ambiente e da luminária;
- **Manutenção e Atualizações Automáticas:** deve-se considerar a criação de mecanismos para a implantação e manutenção das instalações de dispositivos IoT. Essas manutenções devem ser feitas preferencialmente em paralelo funcionamento do sistema de Iluminação Pública e do sistema de gestão urbana integrada em segundo plano para que se houver algum problema possa haver a recuperação para a versão anterior sem afetar o serviço.

### 4.3.4 Possíveis impactos da implantação da IoT na Iluminação Pública na sociedade

Devem-se considerar todos os aspectos envolvidos na implantação da IoT na Iluminação Pública e os seus possíveis impactos no sistema e na cidade, dentre eles a mudança na demanda e perfil de mão de obra, a possibilidade da ocorrência de *Cyberattacks*.

No que tange à mudança na demanda e perfil de mão de obra, o gerenciamento remoto da Iluminação Pública impacta na necessidade de monitoramento presencial (rondas) e das centrais telefônicas para informações de falhas no Parque de Iluminação – que por um lado acarreta na redução dos custos de mão de obra e veículos, mas por outro causa uma redução das vagas de emprego não especializado. Quanto à gestão urbana integrada, as novas tecnologias requerem mão de obra especializada, ligada ao setor de TIC, que são mais caras e escassas.

Os ataques cibernéticos podem ter como alvo desde a aquisição de dados institucionais que demandam confidencialidade até a ameaça de interrupção do serviço urbano ou do sensoriamento, podendo acarretar no risco de ‘apagão’. Isto é uma das ameaças mais graves ao aplicar a IoT no serviço de Iluminação Pública, pois impacta diretamente na segurança da população, tanto nas vias de trânsito de veículos quanto aos pedestres. Quanto à gestão urbana integrada, os *cyberattacks* podem desestabilizar ou interromper a coleta das séries de dados e no pior cenário até eliminar os dados coletados dos bancos de dados. Além disso, os *hackers* podem se apropriar do comando dos serviços de alerta e emergência e intencionalmente provocar terror na população.

#### **4.3.5 Aspectos Regulatórios para utilização da IoT na esfera urbana**

A utilização da IoT na esfera urbana implica em discussões dos aspectos regulatórios específicos dos países, sobretudo no que diz respeito à legislação de proteção de dados e na forma de contratação dos serviços pelo poder público.

O primeiro está associado à proteção de uso de dados e privacidade. Diversos países (ou conjunto de países) já criaram sua própria regulação para o assunto. É o caso do GDPR, sigla em inglês para o Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados da União Europeia (UE) - Regulamento 2016/679 (UNIÃO EUROPEIA, 2016) do Parlamento Europeu e do Conselho, que “estabelece as regras relativas ao tratamento, por uma pessoa, uma empresa ou uma organização, de dados pessoais relativos a pessoas na UE”. Já os Estados Unidos ainda não têm um conjunto único de leis de proteção à privacidade, mas possui leis específicas. No Brasil, o instrumento regulatório para proteção de dados é a Lei nº 13.709/2018 (BRASIL, 2018), conhecida como Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD), que dispõe sobre “o tratamento de dados pessoais (...) com o objetivo de proteger os direitos fundamentais de liberdade e de privacidade”.

Quanto à forma de contratação dos serviços pelo poder público, a utilização da



infraestrutura de Iluminação Pública tanto para gestão remota da iluminação para Gestão Urbana Integrada com Sistemas IoT tem sido viabilizada economicamente através das concessões administrativas e Parcerias Público-Privadas (PPPs) (ANTUNES, 2017). A regulação dessa modalidade de negócios com o poder público varia de acordo com cada país, entretanto, a prática das PPPs apresenta muitas similaridades mundialmente.

Quanto à apropriação dos dados, as empresas que oferecem as soluções IoT podem se recusar a fornecer os dados coletados, caso a propriedade não seja compartilhada ou definida em contrato. Como detentora da tecnologia, as empresas podem impedir o acesso ou a transferência dos dados ou ainda superfaturar o valor estipulado, caso o contrato contenha brechas jurídicas. Esse risco deve ser mitigado ou eliminado, pois amarra o setor público aos interesses de empresas privadas.

Assim como os aspectos regulatórios variam de acordo com o local onde as tecnologias para Iluminação Pública e cidades inteligentes são implantadas, os aspectos técnico-normativos, sociais, econômicos e ambientais também variam. Deste modo, os critérios para adoção do LED e da IoT na Iluminação Pública deve ser analisado sob a perspectiva do cenário brasileiro.

A Iluminação Pública no contexto das Cidades Inteligentes como foi apresentado neste capítulo envolve uma série de aspectos técnicos, econômicos, sociais, ambientais e regulatórios. A infraestrutura de Iluminação Pública fornece a infraestrutura perfeita para implantação da Internet das Coisas no espaço urbano. Os postes de luz podem alimentar uma grande variedade de dispositivos IoT e já estão distribuídos pela paisagem urbana. O fato de estarem posicionados acima da rua significa que eles estão bem posicionados para hospedar sensores que rastreiam o movimento e uma gama de condições dentro de uma área urbana. Desta forma, a iluminação conectada em toda a cidade é ideal para hospedar uma rede de comunicações que possa suportar aplicativos IoT disponíveis atualmente e aqueles que ainda estão sendo desenvolvidos. Particularmente no Brasil, a modernização da infraestrutura da Iluminação Pública oferece aos municípios brasileiros muitas oportunidades e desafios para a utilização dessas novas tecnologias (LED e IoT), que serão discutidos no capítulo 5.

## 5 A ADOÇÃO DO LED E DA IOT NO BRASIL

Atualmente, ao redor do mundo muitos projetos de Iluminação Pública Inteligente estão sendo ou foram executados e estão em operação e o Brasil já possui algumas iniciativas nessa direção. Faz-se necessário, no entanto, discutir os critérios e parâmetros para a implantação mais apropriada dessas tecnologias nos sistemas de Iluminação Pública das cidades brasileiras, e avaliar seus possíveis impactos na sociedade. Alinhado ao Objetivo Geral, neste capítulo, descreve-se o processo de transformação do setor de Iluminação Pública no Brasil e as principais tendências, iniciativas e políticas de incentivo relativas a adoção do LED e da IoT e, em seguida, faz-se uma análise qualitativa dos critérios de adoção dessas tecnologias no país.

### 5.1 O CENÁRIO BRASILEIRO

No Brasil, a Iluminação Pública é considerada um serviço de utilidade pública<sup>39</sup> essencial para garantir o conforto e a segurança de bens e pessoas nas áreas urbanas. Este serviço visa garantir visibilidade nas vias de veículos e pedestres no período noturno ou em vias que no período diurno não são servidas de iluminação natural, como os túneis e devem estar em conformidade com as Normas Brasileiras. Também devem promover vantagens econômicas e sociais para a população, inclusive prover segurança, melhores condições de vida e eficiência energética, dentre outros requisitos de norma (ABNT, 2018).

O Art. 30 da Constituição Federal de 1988 estabelece que os Municípios têm a competência de “organizar e prestar, diretamente ou sob regime de concessão ou permissão, os serviços públicos de interesse local” (BRASIL, 1988). Nacionalmente, parte deste serviço era prestado pelas distribuidoras de energia elétrica<sup>40</sup>, que também fornecem a energia elétrica para o sistema mediante cobrança nas faturas de energia das unidades consumidoras. Com a Resolução Normativa nº 414/2010 (ANEEL, 2010) e posteriores alterações<sup>41</sup>, os ativos da Iluminação Pública foram transferidos “à pessoa jurídica de direito público competente”, ou seja, os municípios, considerando que a iluminação urbana pode ser caracterizada como essencial. Esta instrução normativa estipulou que o prazo da transferência<sup>42</sup> desses equipamentos fosse feito até 2014.

---

<sup>39</sup> Os Serviços de utilidade pública no Brasil são aqueles prestados pelos entes federativos diretamente ou por delegação.

<sup>40</sup> “Em levantamento realizado pela ANEEL em julho de 2011, 63,8% dos municípios brasileiros já faziam a gestão dos ativos de IP.” (ANEEL, 2019)

<sup>41</sup> Resolução Normativa nº 479/2012 da ANEEL (2012) e Resolução Normativa nº 587/2013 da ANEEL (2013)

<sup>42</sup> De acordo com os procedimentos de transferência estabelecidos pela REN 480/2012 (ANEEL, 2012)

De acordo com a ANEEL (2019), “dados mais recentes mostram que a regularização da posse dos ativos de IP já atingiu 94% dos municípios brasileiros”. Entre os Estados que possuem municípios que ainda não transferiram os ativos de Iluminação Pública, destaca-se o Estado de São Paulo, conforme descrito na Tabela 4.

Tabela 4 Transferência dos ativos de Iluminação Pública – Municípios não regularizados

UF	Qtd. Municípios	%
CE	9	2,50
MG	36	10,10
MS	1	0,30
PE	6	1,70
PR	3	0,80
RJ	1	0,30
SC	3	0,80
SE	36	10,10
SP	261	73,30
<b>Total Geral</b>	<b>356</b>	

Fonte: ANEEL (2019)

Com a regularização de posse, os municípios brasileiros enfrentam um desafio de administrar seus parques de Iluminação Pública especialmente pela carência de informações técnicas e de medição do consumo de energia mantidas pelas concessionárias de energia elétrica. Por outro lado, representa uma oportunidade de modernização deste serviço através da adoção de novas tecnologias, visando a eficiência energética e aperfeiçoamento da sua operação e manutenção.

De acordo com as últimas estatísticas oficiais da Eletrobrás<sup>43</sup> publicadas pelo Ministério de Minas e Energia (MME, 2011), no Brasil, as lâmpadas mais aplicadas na Iluminação Pública até 2008 foram as Lâmpadas de Vapor de Sódio e as de Vapor de Mercúrio, na ordem de mais de 9 milhões e 4,5 milhões de unidades respectivamente, representando juntas 94,7% das lâmpadas utilizadas até aquele ano, conforme Tabela 5.

Tabela 5 Tipos Lâmpadas empregadas na Iluminação Pública no Brasil até 2008

Tipo de lâmpada	Quantidade	Participação
Vapor de Sódio	9.294.611	62,9%
Vapor de Mercúrio	4.703.012	31,8%
Outras	771.686	5,3%
<b>Total</b>	<b>14.769.309</b>	

Fonte: MME (2011), adaptação própria.

<sup>43</sup> A autora entrou em contato com o PROCEL Reluz para obter um quadro atualizado com o número absoluto de lâmpadas e luminárias utilizadas na Iluminação Pública no Brasil, preferencialmente até 2018, já que a última estatística foi lançada em 2008 e não contabilizava a tecnologia LED. Em resposta a instituição alega que novas estatísticas sobre o uso do LED na Iluminação Pública estão sendo aferidas e que a ANEEL e a Eletrobrás estão trabalhando nas estatísticas, mas a publicação do estudo está prevista para novembro de 2019.

No entanto, a Nota Técnica nº 0043/2019 (ANEEL, 2019) apresenta dados mais recentes: mostram que o número de pontos de Iluminação Pública, contabilizados pelo Sistema de Informação Geográfica Regulatório – SIG-R, já são mais de 17 milhões. De acordo com o Sistema de Acompanhamento de Informações de Mercado para Regulação Econômica – SAMP, em 2018 o consumo de energia com Iluminação Pública chegou a quase 1,4 milhões de MWh, representando cerca de 5% do mercado consumidor das distribuidoras (ANEEL, 2019). Para o BNDES (2017), este número sobe para aproximadamente 19 milhões de pontos.

A Iluminação Pública representa 4% do consumo energético total do Brasil (EPE, 2017). Segundo estudo do Banco Mundial (2016) apud (ANEEL, 2019), o LED pode representar uma alternativa viável para a Iluminação Pública no Brasil, técnica e comercialmente, já que “são entre 40 e 60% mais eficientes em termos de energia do que as tecnologias atualmente instaladas no parque brasileiro”. De acordo com o Plano Anual de Aplicação de Recursos do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL (PAR 2017)<sup>44</sup>, entende-se que o LED é “uma alternativa mais eficiente para a modernização da Iluminação Pública, sendo esta tecnologia considerada o estado da arte em economia de energia elétrica em equipamentos de iluminação em geral” (PROCEL, 2017).

Sabe-se do enorme potencial de conservação de energia elétrica com o uso do LED na Iluminação Pública, mas a Eletrobrás ainda não possui um dado oficial do número de pontos já substituídos por LED no país, e apenas com uma análise dos números atuais incluindo a adoção do LED nos municípios brasileiros, será possível avaliar a dimensão dessa economia de energia.

### **5.1.1 Ações para adoção do LED na Iluminação Pública no Brasil**

Nesse contexto, a Eletrobras tem incentivado a substituição gradativa dos sistemas de iluminação atuais por sistemas de LED (CEPEL, 2015), inclusive para Iluminação Pública, por meio de programas governamentais como o PROCEL<sup>45</sup> e o PROCEL Reluz. A Lei nº 13.280, de 3 de maio de 2016<sup>46</sup> aumentou em 0,5% o percentual de destinação da Receita Operacional

---

<sup>44</sup> O PAR 2017 determinou a realização de “estudos específicos de eficiência energética na iluminação pública municipal do País para: identificação do seu atual parque instalado, assim como das barreiras do setor e dos potenciais de redução do consumo; e apoio para atualização das normas técnicas brasileiras relacionadas ao tema” (PROCEL, 2017).

<sup>45</sup> Desde a criação do PROCEL, entre o período de 1986 a 2017, a economia total obtida com as suas ações foi de 128,6 bilhões de kWh (PROCEL INFO).

<sup>46</sup> Lei que alterou a Lei 9.991, de 24 de julho de 2000, com o objetivo de disciplinar a aplicação dos recursos destinados a programas de eficiência energética, determina que 0,1% da Receita Operacional Líquida das distribuidoras de energia elétrica sejam destinados ao PROCEL. (ELETROBRAS, 2017)

Líquida das distribuidoras de energia elétrica para o PROCEL, para aplicação em programas de eficiência energética. (ELETROBRAS, 2017)

Com um orçamento dedicado de 20 (vinte) milhões de reais (PROCEL, 2017) garantido pela lei, em 2017, o PROCEL Reluz lançou o Edital de Chamada Pública – 01/2017<sup>47</sup> “para seleção de projetos de eficiência energética em Iluminação Pública, com tecnologia LED” (ELETROBRAS, 2017). De acordo com o PAR 2018 do PROCEL (2018), os resultados<sup>48</sup> da primeira Chamada Pública do PROCEL Reluz contabilizaram “R\$ 17,5 milhões em recursos não reembolsáveis para investimento em municípios brasileiros”. Este plano ainda propõe uma nova chamada pública “com ampliação dos recursos para R\$ 30 milhões”.

De acordo com o Banco Mundial (2016) apud (ANEEL, 2019), no Brasil, “a penetração da tecnologia LED ainda é muito baixa, embora diversas cidades tenham projetos em andamento para implementar a tecnologia.”. Este cenário representa uma enorme oportunidade de negócios para o setor privado – por conta dos incentivos governamentais para eficiência energética no setor, das novas regras de municipalização da gestão da Iluminação Pública e pelo expressivo número de pontos de Iluminação ainda não foram substituídos por LED – quanto para o setor público, que terá mais controle em relação à qualidade do serviço e eficiência energética sob sua responsabilidade, entre outras vantagens.

Além dos aspectos regulatórios em relação ao LED, houve também progresso nos aspectos técnico-normativos, especialmente na atualização e adaptação das Normas técnicas internacionais para o Brasil, através da ABNT, e das Normas de Qualidade, Desempenho e Eficiência Energética para Iluminação Pública. Uma lista com as Normas Técnicas relacionadas à Iluminação Pública no Brasil é apresentada no Quadro 12 contido nos Anexo 1.

Em 2017, o Inmetro publicou a Portaria nº 20 (15 de fevereiro de 2017) aprovando a obrigatoriedade do cumprimento do Regulamento Técnico da Qualidade para Luminárias para Iluminação Pública Viária que estabelece os requisitos de desempenho e segurança das Luminárias LED. Um dos requisitos é a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia ENCE. (INMETRO, 2017). O PROCEL, por sua vez, estendeu a abrangência da concessão do Selo de Economia de Energia às Luminária LED para Iluminação Pública (PROCEL, 2017),

---

<sup>47</sup> “A chamada pública tem o objetivo de promover a implementação de projetos de Iluminação Pública com tecnologia LED e desenvolver a capacidade das administrações municipais de modelar e operacionalizar, seja individualmente ou através de parcerias, a gestão do seu parque de Iluminação Pública.” (PROCEL INFO, 2017)

<sup>48</sup> Foram “mais de 1.100 municípios inscritos das cinco regiões do país, dos quais 132 submeteram propostas, sendo selecionados 22 projetos.” (PROCEL, 2018).

estabelecendo os critérios que as fabricantes devem atender para serem comercializados no país. Os pontos mais relevantes deste regulamento constam no Anexo 2.

Atualmente, existem 182 luminárias certificadas pelo Inmetro para serem comercializadas no país, portanto, atendem aos requisitos de segurança e eficiência da Portaria nº20 da entidade. O Gráfico 17 apresenta a dispersão espacial dos valores das eficiências luminosas em função das classes de potência. Apesar dos dados contidos no site do Instituto não fornecerem todos as características das luminárias certificadas, foi possível identificar dentro da gama de potências das luminárias que as eficiências luminosas estão em sua maioria entre 102 e 133 lm/W (desvio padrão<sup>49</sup> da eficiência das luminárias – linhas vermelhas). Além disso, observa-se uma tendência crescente da eficiência luminosa conforme aumenta a potência da luminária (linha laranja). A tabela que serviu de base para confecção desse gráfico consta no Anexo 3.

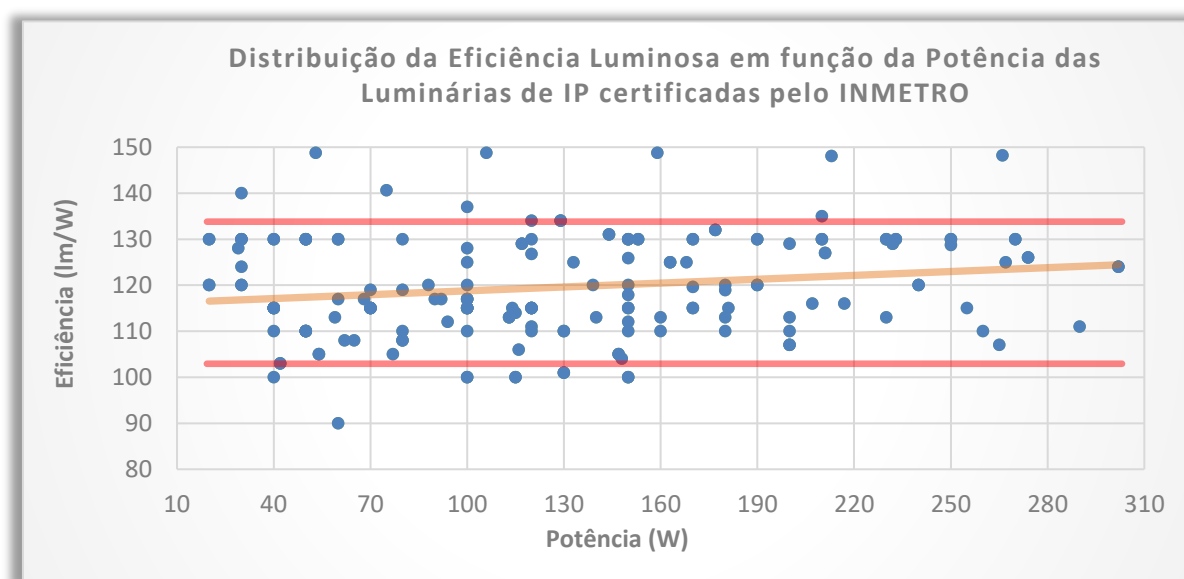


Gráfico 17 Eficiência Luminosa em função da Potência das Luminárias de IP certificadas pelo INMETRO

Fonte: Elaboração própria baseada em INMETRO (2018)

Quanto ao aspecto econômico, o custo das luminárias LED ainda é elevado. Apesar dos preços caírem desde então, a diferença de preços em comparação às outras tecnologias é expressiva. É necessário calcular os benefícios não monetários do LED para melhor avaliar o retorno do investimento. A Tabela 6 contém um comparativo dos preços de aquisição médio das lâmpadas e luminárias para Iluminação Pública e seus respectivos parâmetros de desempenho, baseada em um estudo do Banco Mundial de 2015.

<sup>49</sup> O desvio padrão mede a dispersão dos valores individuais em torno da média.

Tabela 6 Comparação dos tipos de lâmpada e luminárias para Iluminação Pública com base no custo e desempenho

<b>Tipo de lâmpada</b>	<b>Eficiência (Lumens/W)</b>	<b>IRC</b>	<b>Tempo de vida (horas)</b>	<b>Preço (BRL)</b>
Vapor de Sódio de Alta Pressão	80-150	24	15.000-24.000	\$316
Vapor metálico	70 - 130	96	8.000 - 12.000	\$320
Vapor de mercúrio	35 - 65	40	10.000 - 15.000	\$285
LEDs	70 - 160	70 - 90+	40.000 - 90.000	\$1.500

Fonte: MME (2018) baseada em Banco Mundial, 2015

Com relação à capacidade técnica do município, muitos ainda não possuem corpo técnico treinado para avaliar os projetos que adotam LED, visto que essa tecnologia tem diferentes especificações das tecnologias tradicionais. Além disso, a manutenção dos equipamentos também necessita de uma equipe treinada, e muitos municípios com a transferência ainda não possuem esses profissionais.

Nesse contexto, a terceirização da gestão da operação e manutenção dos parques de Iluminação Pública no Brasil coloca-se como alternativa, tanto pelos custos de aquisição das luminárias, quanto pela falta de capacidade técnica dos municípios em relação à gestão deste serviço. Com isso, muitos municípios recorrem à própria concessionária<sup>50</sup> de energia responsável pela distribuição no seu Estado, outras buscam novas formas de contrato administrativo. Além disso, as novas tecnologias para gerenciamento remoto da Iluminação Pública também têm sido consideradas pelos municípios.

### 5.1.2 Sistemas para Gerenciamento Remoto da Iluminação Pública no Brasil

Atualmente, o dispositivo vastamente utilizado para controle do acionamento das luminárias no Brasil é o Relé Fotoelétrico, que conta com normalização técnica oficial no país (IBAM, 2018). Esse equipamento, porém, não serve para medir o consumo de energia das luminárias. Para aferir o consumo de energia com Iluminação Pública no Brasil, as distribuidoras de energia elétrica utilizam uma metodologia de cálculo por estimativa<sup>51</sup>. De acordo com dados da ANEEL (2019), quanto ao sistema de cobrança do fornecimento de energia elétrica para Iluminação Pública por parte das distribuidoras ao município, cerca de 81% consumo de energia

<sup>50</sup> “em apenas 340 municípios a distribuidora é contratada pelo município para as atividades de operação e manutenção do parque de IP”. (ANEEL, 2019)

<sup>51</sup> “faturamento é feito por estimativa ou avença” com base no período de utilização e na carga instalada (ANEEL, 2019). Este método consiste em calcular o consumo multiplicando os dias do mês pelo tempo estipulado pela REN nº414/2010 de 11 horas e 52 minutos, multiplicado pela potência das lâmpadas somadas às perdas do reator, como reforça Casagrande (2016).

dos pontos de Iluminação Pública não é medido<sup>52</sup>, sendo muito poucos os pontos que têm telegestão (BNDES, 2017).

Segundo a Nota Técnica nº43 da ANEEL (2019), a relação entre as distribuidoras de energia e os municípios quanto ao faturamento e cálculo do consumo de energia apresenta algumas questões<sup>53</sup>. A Tabela 7 contém a caracterização das formas de prestação das informações do cálculo e da medição do consumo do município.

Tabela 7 Caracterização das informações prestadas pelas distribuidoras de energia aos municípios

Descrição	Não	Sim
Disponibiliza mensalmente ao município o demonstrativo com a memória de cálculo do faturamento por estimativa	62%	38%
Existência de algum sistema de Telegestão da IP no município ainda que parcial	99%	1%
Apuração das informações de DIC e FIC para o parque de IP faturado por estimativa	97%	3%
Redução do tempo utilizado no faturamento por estimativa considerando o DIC apurado do parque de IP	96%	4%
Compensação em caso de violação dos limites individuais de continuidade	90%	10%

Fonte: ANEEL (2019)

A Resolução Normativa nº 587/2013 da ANEEL (2013) que altera a redação dos incisos 3º e 4º e incluir os incisos 6º e 7º no art. 218 da REN nº 414/2010, trouxe um pouco mais de segurança jurídica para os municípios que irão receber esses ativos e precisam conhecer as condições dos equipamentos, obrigando as distribuidoras assinarem um termo de responsabilidade onde declaram que o sistema de Iluminação Pública estão em perfeitas condições de operação e conformidade com as normas e padrões, além de terem que entregar dos dados sobre o sistema de Iluminação Pública. Contudo, segundo a ANEEL (2019), apenas “cerca de 70% dos municípios foi realizado algum levantamento em campo nos últimos três anos para atualização do cadastro do parque de IP faturado por estimativa”.

Quanto ao instrumento de captação de recursos para Iluminação Pública, no Brasil, a principal fonte de financiamento da gestão e operação da infraestrutura de Iluminação Pública nos municípios é a COSIP. A arrecadação com a COSIP tem sido cada vez mais expressiva desde a sua implantação, e está majoritariamente concentrada nos municípios com mais de 200 mil habitantes segundo a FNP (2018). Segundo dados de 2015 do IBGE (FNP, 2018), aproximadamente 74% dos municípios brasileiros já haviam instituído a contribuição. A arrecadação com a COSIP em 2016 considerando todos esses municípios chegou a R\$8

<sup>52</sup> Apenas “cerca de 60 mil unidades consumidoras de baixa tensão classificadas como iluminação pública com medição” (ANEEL, 2019).

<sup>53</sup> De acordo com o art. 72 da RN 414/2010 as distribuidoras não são obrigadas a instalar equipamentos de medição do fornecimento de energia para iluminação pública, fundamentada no art. 128 do decreto 41.019/1957, assim como estabelece e descreve o método de cálculo por estimativa. (ANEEL, 2010) apud (ANEEL, 2019)



milhões, conforme Tabela 8 e a Tabela 9 contém as 10 maiores arrecadações de COSIP (2016).

Tabela 8 Arrecadação da COSIP nos municípios por faixa populacional

<b>Municípios por faixa populacional</b>	<b>COSIP (em R\$ milhões)</b>	<b>Participação no total (%)</b>
Até 50 mil habitantes	1.768,37	21,80
De 50 mil a 100 mil hab.	903,1	11,10
De 100 mil a 200 mil hab.	916,35	11,30
Acima de 200 mil hab.	4.521,36	55,80
<b>Total dos municípios</b>	<b>8.109,17</b>	<b>100,00</b>

Fonte: FNP (2018)

Tabela 9 As 10 maiores arrecadações de COSIP - 2016

<b>Posição</b>	<b>População</b>	<b>Municípios</b>	<b>COSIP (R\$)</b>
1º	12.038.175	São Paulo	535.964.473,38
2º	6.498.837	Rio de Janeiro	256.288.033,92
3º	2.609.716	Fortaleza	195.237.096,20
4º	2.094.391	Manaus	152.042.822,27
5º	2.513.451	Belo Horizonte	128.600.788,29
6º	1.893.997	Curitiba	111.179.922,87
7º	1.446.042	Belém	104.852.934,55
8º	2.938.092	Salvador	100.114.084,34
9º	863.982	Campo Grande	83.867.700,90
10º	1.625.583	Recife	79.525.979,08

Fonte: FNP (2018)

Segundo a ANEEL (2019), conforme dados informados pelas distribuidoras, 87% dos municípios arrecadam a COSIP através da cobrança nas faturas de energia elétrica ao consumidor. Em 2018, essa cobrança correspondeu a um montante de R\$10,5 bilhões, sendo que parte desse valor é descontado pelas distribuidoras para realizar essa operação, em média 2,7% (R\$281 milhões em 2018).

Além disso, entre as distribuidoras de energia e os municípios existe hoje uma prática administrativa no setor chamado “encontro de contas”, pelo qual os valores devidos pelos municípios à distribuidora para pagamento da energia consumida<sup>54</sup> são descontados diretamente dos valores arrecadados com a COSIP pelas distribuidoras, sendo repassado aos municípios apenas os saldos (se houverem).

Essa prática tem sido questionada pelo Ministério Público Federal (FNE, 2018) e por outras entidades do setor, por entenderem que se trata de uma prática inconstitucional e ilegal, com violação do artigo 149-A da constituição Federal de 88. Para a FNE segundo a ANEEL (2019), essa prática é considerada abusiva, “em que a distribuidora utiliza de um recurso público

<sup>54</sup> Ressalte-se que a maior parte do cálculo do consumo é feito baseado em estimativas.

de origem tributária em que é mera arrecadadora para que se efetue o pagamento para si própria”. Ainda segundo a FNE, as distribuidoras compõem os gestores públicos municipais à praticar ato de improbidade administrativa, já que são obrigados à realizar o “pagamento de despesas sem a sua regular liquidação, portanto, sem a necessária verificação do direito adquirido pelo credor” (ANEEL, 2019). No entanto, em resposta à FNE, a Procuradoria Federal junto à ANEEL emitiu o Parecer nº 00279/2016/PFANEEL/PGF/AGU, no qual concluiu que “(a) é possível o procedimento de encontro de contas desde que haja lei expressa que autorize a compensação de créditos tributários; e (b) a ANEEL não dispõe de competência para regular e fiscalizar este procedimento” (ANEEL, 2019).

Ainda sobre a COSIP, a agência avalia a possibilidade da obrigatoriedade do repasse das informações pelas distribuidoras aos municípios que permitam que estes realizem um acompanhamento dos valores arrecadados e dos gastos com consumo de energia, bem como possam estipular a base de cálculo para seus contribuintes que sejam suficientes para atender a demanda consumo e valores necessários para faturamento (ANEEL, 2019). Nesse contexto, é de interesse dos municípios buscar soluções que auxiliem no gerenciamento dos seus parques de Iluminação Pública, visto que o controle sobre a medição do consumo energético garantiria ao município o poder de verificar se o valor pago à distribuidora condiz com o valor efetivamente consumido, considerando que a metodologia de estimativa ignora as especificidades geográficas e climáticas conforme explicado no tópico 3.3.

Segundo o BNDES (2017), neste cenário “surge a possibilidade de investimento em integração de componentes [de telegestão]” aos parques de Iluminação Pública no país. De acordo com Antunes (2017), dentro do novo ambiente regulatório do setor os municípios têm a oportunidade de melhorar a qualidade dos serviços públicos através da gestão municipalizada da Iluminação Pública, não somente adotando luminárias mais eficientes e econômicas, mas também pela utilização de dispositivos remotos para gestão inteligente do parque de Iluminação Pública. Além disso, segundo o Banco Mundial (2016), a Iluminação Pública inteligente ainda contribui para redução da criminalidade e aumento da percepção de segurança pelos cidadãos”.

Através do gerenciamento remoto da Iluminação Pública, os municípios terão mais controle dos seu consumo de energia e gastos públicos com o serviço, além de aumentar a eficácia das ações de operação e manutenção, através da identificação de falhas em tempo real.

A tecnologia de telegestão também está se desenvolvendo concomitantemente com a Internet das Coisas, que tem avançado e apresentado soluções para Iluminação Pública. No contexto nacional, de acordo com o BNDES (2017), a aplicação da IoT nos municípios

brasileiros pode gerar benefícios como “economias com Iluminação Pública, monitoramento do tráfego em tempo real e redução da mortalidade causada pela violência”. No entanto, para que esses sistemas funcionem e o gerenciamento remoto seja possível, é necessária uma infraestrutura de comunicação que dê suporte aos equipamentos incorporados nessa infraestrutura. No Brasil, discute-se o compartilhamento da infraestrutura de Iluminação Pública<sup>55</sup> com as de redes de telecomunicações (ANEEL, 2019).

### 5.1.3 IoT e soluções de Cidades Inteligentes na infraestrutura de Iluminação Pública no Brasil

A incorporação de dispositivos IoT na privilegiada infraestrutura de Iluminação Pública no Brasil pode ser uma oportunidade excelente, não somente para gerenciamento remoto do sistema de Iluminação Pública, mas também para gestão urbana integrada impactando em diversos aspectos da gestão urbana, como os aspectos socioeconômicos. Seguindo a tendência das Cidades Inteligentes e da telegestão, a IoT pode se incorporar à infraestrutura de Iluminação Pública para auxiliar no monitoramento, planejamento e gestão das cidades brasileiras.

Os problemas decorrentes do padrão de crescimento urbano das cidades brasileiras, sem um planejamento adequado, ocasionaram uma sobrecarga nas suas infraestruturas. O Gráfico 18 contém os dados da evolução do crescimento da população urbana brasileira.



Gráfico 18 Evolução da taxa de urbanização no Brasil

Fonte: BNDES (2017)

<sup>55</sup> “De acordo com o inciso V do art. 68 da REN 414/2010, o contrato de IP deve conter as condições e procedimentos para o uso de postes e da rede de distribuição para a prestação do serviço público de IP” (ANEEL, 2019)

Segundo estudo do BNDES (2017), as responsabilidades dos municípios brasileiros com as diversas demandas da sociedade são altas. Os municípios no país devem fornecer os serviços básicos e essenciais<sup>56</sup> para as cidades e cidadãos, com base nos direitos constitucionais. De acordo com o banco, “esses fatores contribuem para a criação de um cenário desafiador para os gestores municipais: 86% dos municípios brasileiros se encontram em situação fiscal difícil ou crítica”.

Nesse cenário, segundo BNDES (2017), a Internet das Coisas (IoT) nas cidades pode “viabilizar importantes ganhos para os municípios, decorrentes do monitoramento em tempo real, o que permite fundamentar de maneira mais concreta o desenvolvimento de políticas públicas, com base em maior quantidade de dados.” (BNDES, 2017). De acordo com as projeções do banco<sup>57</sup>, o ganho econômico que a IoT pode trazer ao país pode chegar até US\$ 27 bilhões (BNDES, 2017).

No entanto, segundo o banco (2017), o país terá dificuldades no que diz respeito à “capacitação de servidores públicos<sup>58</sup>, o levantamento de recursos para investimentos em momentos de crise econômica, os desafios na contratação pública, o tratamento de dados dos cidadãos e a cooperação entre municípios”. O estudo ainda afirma que os pontos fundamentais a serem alcançados pelos municípios brasileiros através do desenvolvimento da IoT são: a “modernização da administração pública, a melhoria da eficiência tributária, do gasto público, e da infraestrutura de conectividade, bem como a integração do planejamento” (BNDES, 2017).

Além disso, como aponta o banco (2017), a aplicação da IoT no nas cidades brasileiras terão impacto maior em quatro eixos, são eles: mobilidade, segurança pública, eficiência energética e saneamento. No eixo de Eficiência Energética, a Iluminação Pública pode potencialmente agregar um de ganho de eficiência de 40% com a IoT. (BNDES, 2017). Quanto à segurança pública, “o município pode desempenhar papel determinante por meio da melhoria de espaços urbanos (como Iluminação Pública, requalificação de espaços públicos)” beneficiando-se da aplicação da IoT no espaço urbano (BNDES, 2017).

A partir da avaliação de diversos projetos de implantação da IoT no Brasil, inclusive para projetos de cidades inteligentes, o BNDES (2017) identificou algumas características relevantes: alguns projetos foram fruto de iniciativas de empresas de telecomunicações através

---

<sup>56</sup> Os municípios devem prover parcialmente os serviços de educação, saúde, segurança e habitação, e, quase exclusivamente, transporte, coleta de lixo, Iluminação Pública e manutenção de vias públicas.” (BNDES, 2017).

<sup>57</sup> Segundo o BNDES (2017), mundialmente o “ganho econômico potencial máximo que a Internet das Coisas pode trazer ao ambiente de cidades é de cerca de US\$ 1,6 trilhão em 2025”.

<sup>58</sup> Ainda de acordo com o BNDES (2017), nos municípios brasileiros “observa-se uma disparidade grande entre eficiência na gestão e na utilização de TIC. As prefeituras não oferecem o mesmo nível de serviços básicos à população nem possuem mesmo nível de capacidade na gestão dos recursos financeiros e de TIC”.

de projetos piloto e de P&D com o objetivo de popularizar suas soluções e a responsabilidade pelo projeto recaia sobre as próprias empresas; observou-se que a capacidade técnica e de gestão de alguns municípios se destacaram – justamente aqueles que tiveram um papel ativo na adoção da IoT, e isso foi fundamental para o aproveitamento máximo da tecnologia, como através da “gestão própria dos dados, compartilhamento dos benefícios gerados com a população, flexibilidade das infraestruturas para integração ou adaptação a futuras soluções”; por último, os projetos mais frequentes foram da área de energia, destacando-se o novo cenário da municipalização da gestão do serviço de Iluminação Pública, viabilizando a entrada de novos modelos de negócio baseados em parcerias público-privada (PPPs).

Em junho de 2018, foi lançado o edital de Chamada Pública para projetos piloto de IoT pelo BNDES (2018), que recebeu diversas propostas das quais foram selecionados 15 planos, cinco deles enquadrados no eixo Cidades Inteligentes, sendo que quatro contém soluções para Iluminação Pública no seu escopo. Com essas iniciativas, as cidades brasileiras caminham em direção ao aprendizado e definição de boas práticas para que essas soluções sejam escaláveis num futuro próximo.

Todos esses dados ilustram não somente o grande potencial da aplicação da IoT nas cidades brasileiras – tanto como ferramenta para melhoria dos serviços urbanos de um modo geral, quanto da própria qualidade da iluminação urbana – mas também gera atratividade de investimentos. O mercado brasileiro é muito grande e tem um potencial de desenvolvimento e espaço para novas tecnologias e serviços enorme. No entanto, a questão econômica novamente se torna um entrave, visto que o custo desses sistemas é alto e geralmente as soluções são importadas, apesar da indústria do setor estar crescendo e sendo incentivada por programas institucionais com o Plano Nacional de IoT do BNDES (2017) no Brasil.

#### **5.1.4 As Parcerias Público-Privadas para Iluminação Pública e Cidades Inteligentes no Brasil**

Neste novo cenário, em que os municípios brasileiros assumindo a titularidade da gestão e responsabilidade pelo melhoramento do serviço de Iluminação Pública, deparam-se não somente com a necessidade da substituição de lâmpadas pela tecnologia LED, mas também com as soluções em Iluminação Pública inteligente (BNDES, 2017). Essa modernização precisa ser viável economicamente para setor público. Estudos mostram o alto potencial que a COSIP tem de fornecer sustentabilidade econômica para projetos de modernização dos Parques de Iluminação Pública.

As tecnologias envolvidas apesar de ter um alto custo inicial, ao longo do tempo gera economia para o município tanto no consumo energético, quanto no custo de manutenção e operação. Segundo especialistas do setor<sup>59</sup>, a COSIP na maioria dos municípios tem tido tendências superavitárias, especialmente naqueles que conseguem estipular um bom cálculo para a contribuição, sobretudo as que consideram uma cobrança justa à população.

O cálculo do valor da COSIP tende a se aperfeiçoar com o maior controle e estudo dos padrões de consumo energético com a telegestão, além da diminuição do valor após o período de *payback* do sistema, já que o LED é altamente eficiente energeticamente. O que poderia justificar o financiamento ou subsídio para renovação desses parques. Contudo, o investimento em novas tecnologias e modernização das luminárias pode superar os limites econômicos e regulatórios dos municípios brasileiros. As PPPs surgem como opção para o setor nesse contexto em que a COSIP não é legalmente permitida para uso em projetos de expansão ou modernização do Sistema de Iluminação Pública (FNP, 2018).

Segundo o BNDES (2017), as PPPs podem proporcionar elevados ganhos de eficiência e redução de custos para os municípios para intervenção na infraestrutura urbana, onde há necessidade de recursos que muitas vezes os municípios brasileiros não possuem. No entanto, as administrações municipais devem estar preparadas para implementação de contratos que viabilizem o justo compartilhamento dos ganhos, que sejam flexíveis à incorporação de novas tecnologias e que “contenham indicadores claros para acompanhamento da qualidade do serviço prestado” (BNDES, 2017).

Com relação à gestão dos parques com equipamentos de gerenciamento remoto, e ainda mais especificamente a incorporação de equipamentos da IoT para Cidades Inteligentes, está sendo discutido no âmbito da legislação brasileira os limites da aplicação da COSIP para esta finalidade, os requisitos e permissões (HIRIA, 2018). Quanto ao compartilhamento da infraestrutura de Iluminação Pública com a infraestrutura necessária para os sistemas de telegestão e soluções de cidades inteligentes, a ANEEL “possui um regulamento próprio (REN 797/2017) que detalha os procedimentos do compartilhamento, inclusive “com a Administração Pública Direta ou Indireta e com demais interessados” (ANEEL, 2019).

No que tange a regulação das receitas acessórias, aquelas geradas pela implantação de projetos de PPP para implantação de Iluminação Pública inteligente, mediante a coleta de

---

<sup>59</sup> O Fórum Ilumina Brasil realizado, realizado em São Paulo em 2018 abordou principalmente as questões econômicas e regulatórias do setor, com foco nas PPPs. No relatório elaborado pela presente autora (HIRIA, 2018) consta um resumo das apresentações e de diversos especialistas em Iluminação Pública do Brasil.

dados, ainda não há regulação, mas este assunto tem sido discutido pelos especialistas do setor (HIRIA, 2018).

A falta de precisão, a discordância das formas de faturamento e as práticas de arrecadação, cobrança e operação da COSIP, e outras questões relativas à Iluminação Pública na atualidades estão sendo consideradas pela ANEEL, agência responsável pela regulação do setor elétrico no Brasil. Com o objetivo de aprimorar a regulação do setor a respeito do serviço diante do contexto das transformações tecnológicas e regulatórias do setor, a ANEEL busca acompanhar as tendências e recentemente, em junho de 2019 lançou a consulta Pública nº 15/2019 para aperfeiçoamento das regras para Iluminação Pública, cujo questionário está em andamento (ANEEL, 2019) e período de contribuição encerrará dia 26/08/2019. O modelo de questionário consta no anexo I da Nota Técnica nº 0043/2019 (ANEEL, 2019).

Deve-se considerar no caso das PPPs que o negócio seja atrativo para o parceiro privado, ou seja, os investidores somente irão investir numa PPP em uma cidade (ou conjunto de cidades) se houver viabilidade (*Value for Money*) e sustentabilidade econômico-financeira do projeto, esperando-se uma contrapartida por parte da administração municipal. No Brasil, estuda-se a utilização da COSIP como contrapartida do poder público nas PPPs de Iluminação Pública (HIRIA, 2018). É importante destacar o papel da iniciativa privada nos avanços tecnológicos, desde que esta observe suas responsabilidades ao oferecer serviços na esfera pública.

Além disso, os dados coletados por essa infraestrutura de gestão urbana integrada através da IoT podem adquirir um valor econômico, pois podem ser utilizados por outros setores da sociedade (comércio, serviços, indústrias...) nas suas tomadas de decisão para suas estratégias de negócio dentro das cidades, pois poderão verificar a dinâmica urbana de forma mais precisa. No entanto, deve-se definir regras a respeito da propriedade desses dados.

Nesse sentido, as iniciativas de cidades inteligentes podem gerar atratividade para o município. A competitividade entre cidades por conta da economia globalizada é induzida pela atratividade dessas aos investimentos. Entre os quesitos determinantes para atratividade econômica e de pessoas a um lugar, destacam-se a sua qualidade urbana e capacidade de acolher empreendimento. Quanto mais indicadores urbanos positivos, entre eles a segurança cidadã e a conectividade - disponibilidade de conexão à internet estável e veloz -, maior a atratividade à investimentos e, por consequência, crescimento econômico e desenvolvimento urbano (LEITE e AWAD, 2012). As cidades que buscam tornar-se inteligentes, ou seja, aquelas que adotam uma ou mais soluções urbanas que eficientizem seu território se utilizando de tecnologias conectadas, são, portanto, mais passíveis de estimular seu desenvolvimento econômico e

consequentemente melhorar qualidade do ambiente urbano para seus cidadãos e ainda atrair pessoas<sup>60</sup> (LEITE e AWAD, 2012).

As formas de financiamento e concessão do serviço de modernização da Iluminação Pública no Brasil inclusive as Parcerias Público-Privadas (PPPs) possibilitam que projetos de cidades inteligentes se tornem factíveis, acarretando em benefícios para a sociedade, mas não se pode ignorar os riscos associados. Deve-se observar as formas de contratação, o correta elaboração e gestão do contrato ao longo do período de concessão, o interesse público.

À respeito do interesse público, de acordo com a ABDIB (2019), os municípios enfrentam uma grande dificuldade de avaliar o modelo de gestão mais adequado diante da complexidade que a modernização da Iluminação Pública atualmente representa. Segundo a associação, “avaliar e definir o modelo contratual mais acertado para a Administração Pública é uma tarefa que requer alta capacidade técnica e administrativa”.

A opinião pública é fundamental para que a implantação de projetos de Iluminação Pública conectada seja compatível com as necessidades da coletividade. A legislação brasileira através do Estatuto das Cidades, Lei 10.257/2001 (BRASIL, 2001) garante a participação popular na política urbana e para que tenham a capacidade para tanto, a população. A sociedade, interveniente e objeto das políticas urbanas na posição de usuário, deve ter acesso à informação e meios de participar dos rumos das suas comunidades inclusive nos processos decisórios relativos à Iluminação Pública Inteligente.

Como forma de superar as barreiras regulatórias no Brasil, em 2016 foi criada a Frente Parlamentar Mista em Apoio às Cidades Inteligentes e Humanas<sup>61</sup> no âmbito do Congresso Nacional, com o objetivo de promover uma revisão da legislação brasileira para facilitar o desenvolvimento das cidades inteligentes e humanas. Essa frente composta por mais de 250 parlamentares da Câmara e Senado Federal identificou 25 ações a nível legislativo importantes para o setor, de acordo com o BNDES (2017), destacam-se cinco prioridades:

- Revisão da lei de PPPs;
- Alteração da lei da COSIP/CIP – Contribuição para o Serviço de Iluminação Pública;
- Compartilhamento de infraestrutura entre diferentes setores (telecomunicações, transportes, petróleo e energia elétrica);

---

<sup>60</sup> Turistas que movimentam a economia ou profissionais talentosos que queiram morar na cidade, aumentando a qualidade da mão-de-obra (LEITE e AWAD, 2012).

<sup>61</sup> Portal da Frente Parlamentar Mista em Apoio às Cidades Inteligentes e Humanas. (BRASIL, 2019)



- Desoneração da comunicação de dados entre dispositivos de IoT (incluindo M2M);
- Criação de um banco de dados de informações para estruturação de projetos por porte de municípios;

### **5.1.5 Atualizações recentes no âmbito regulatório brasileiro sobre a IoT**

Quanto à regulamentação da IoT, a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), responsável por regular o setor no Brasil, ainda não possui uma resolução específica sobre a tecnologia. Porém, em setembro de 2018, abriu a Consulta Pública nº31/2018 sobre as regras para Internet das Coisas e reavaliação da regulamentação, inclusive quanto ao compartilhamento de infraestrutura para telecomunicações. As contribuições enviadas servem de subsídios para Análise de Impacto Regulatório (AIR) que servirá de base para construção do novo regulamento (ANATEL, 2018).

O Decreto 9.854 de 2019 que institui o Plano Nacional de Internet das Coisas e cria a Câmara IoT foi lançado recentemente e determina que compete à ANATEL regulamentar e fiscalizar o uso da tecnologia no país. Entre outras regras, determina que o Ministério da Ciência Tecnologia Inovações e Comunicações (MCTIC) indicará os ambientes prioritários para aplicação de soluções de IoT e incluirá no mínimo os ambientes de saúde, cidade, indústrias e ambiente rural conforme art. 4. (BRASIL, 2019)

Diante da complexidade do tema, neste trabalho foi proposto uma reunião e sintetização dos múltiplos assuntos pertinentes ao tema com o intuito de contribuir com o corpo técnico dos municípios brasileiros para tomada de decisão em projetos de modernização da Iluminação Pública mais informada e com a sociedade, para que também possa ter um aprofundamento nessas questões.

## **5.2 ANÁLISE QUALITATIVA DAS TECNOLOGIAS PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA NO BRASIL**

Após análise conjunta dos capítulos anteriores e do cenário brasileiro, foram identificados os principais critérios para adoção do LED e da IoT no Brasil. Esses critérios foram organizados, conforme determinado na Metodologia, de acordo com os parâmetros (balizadores) de cada aspecto envolvido na tomada de decisão: aspectos sociais, econômicos, ambientais, técnicos-normativos e regulatórios que são detalhados a seguir.

Os aspectos sociais são aqueles que compreendem os parâmetros que impactam na

segurança cidadã, no conforto ambiental e bem-estar dos seres humanos, bem como na cultura local e nas preferências individuais e coletivas. Além disso, são considerados os impactos das tecnologias na saúde, na integridade e nos direitos fundamentais dos seres humanos, bem como o interesse público nas políticas urbanas e participação nos processos decisórios.

Os aspectos econômicos são aqueles relativos ao custo inicial, à precificação das tarifas ou taxas de utilização, às formas de investimento, ao orçamento público, à economia de energia, ao tempo de operação, ao custo da mão de obra e do treinamento das equipes e ao prazo de substituição e manutenção das tecnologias estudadas.

Os aspectos ambientais dizem respeito à sustentabilidade do espaço construído e a relação com o ambiente natural. Considera questões como o ciclo de vida dos componentes do sistema, a poluição gerada pelos materiais e pela operação dos equipamentos, as formas de descarte e reciclagem, o impacto ambiental das tecnologias na fauna e na flora, a necessidade de geração de energia para dar suporte ao seu funcionamento em comparação com as tecnologias anteriores e a sua influência no controle de gases de efeito estufa.

Os aspectos regulatórios estão relacionados à legislação nas várias esferas federativas e nas diversas áreas de regulação de políticas, como as políticas urbanas, ambientais, sociais, econômicas e do setor elétrico que tangem o setor de Iluminação Pública. Essa legislação pode compreender as formas de implantação das tecnologias e modelos de negócio que envolvem a administração pública, o tempo de atualização das regras para novos modelos de negócios e tecnologias, a proteção dos direitos e interesses civis e da administração pública e os limites de aplicação dos recursos para adoção das tecnologias e para compensação dos eventuais contratos de concessão do serviço público.

Os aspectos técnico-normativos, por fim, são aqueles que constam nas Normas técnicas nacionais e internacionais válidas no país, nas Normas de qualidade, desempenho e eficiência energética. No entanto, deve-se ressaltar que no Brasil, atender aos requisitos das normativos pode ser recomendado ou mandatório, este último desde que esteja previsto em leis específicas de cada setor que dispõe sobre a obrigatoriedade da aplicação das Normas. Inclui-se nesse aspecto também o tempo de atualização das normas diante das novas tecnologias.

Para realização desta análise, os critérios para tomada de decisão para cada tecnologia (LED e IoT) foram divididas por tecnologia (LED e IoT) e separados de acordo com seus impactos: benefícios e oportunidade, desafios e riscos. Para a IoT, especificamente, foram subdivididas em critérios comuns e critérios específicos das soluções estudadas para Iluminação Pública.

### 5.2.1 Critérios para uso do LED na Iluminação Pública no Brasil

A seguir são apresentados os principais critérios identificados para uso do LED na Iluminação Pública no Brasil.

a) Aspectos sociais:

Dentro dos aspectos sociais, os critérios a serem considerados para uso da tecnologia LED são os seguintes:

- Segurança: o LED eleva a visibilidade e aperfeiçoar a claridade e ao mesmo tempo reduz o ofuscamento, com isso impacta na redução de crimes e risco de acidentes;
- Conforto ambiental e bem-estar: a Temperatura de Cor Correlata (TCC) e os níveis de luminosidade ajustáveis podem reduzir a fadiga ocular e o estresse. Além disso, o maior controle da distribuição do feixe de luz contribui para redução da poluição luminosa;
- Preferências individuais e coletivas e a cultura do local: as preferências cromáticas podem variar de acordo com a cultura local e as preferências da comunidade e ainda de acordo com a localização geográfica, podendo gerar opiniões divergentes. Além disso, a maior variedade de TCC aumenta a possibilidade de atender as preferências locais. Por sua vez, os sítios históricos e espaços afetivos tem requisitos de iluminação específicos, acarretando na necessidade de projetos diferentes para atender essas particularidades;
- Saúde e integridade física das pessoas: a presença de certas quantidades do espectro de luz azul, presente nas TCCs mais altas do LED, podem ser prejudiciais ao ciclo de adormecer e despertar e no ciclo circadiano, podendo também causar impacto na saúde mental da população. Além disso, como o feixe de luz é mais estreito e definido há menos luz intrusiva, pois não atinge diretamente as fachadas e janelas dos edifícios, gerando menos incomodidade na população. Com maior Índice de Reprodução de Cor (IRC), há uma melhora na definição dos objetos no entorno das vias com isso aumenta a sensação de segurança dos transeuntes;
- Direitos dos cidadãos: o serviço público de Iluminação Pública de qualidade é um direito do cidadão brasileiro, garantido pela Constituição de 1988, entendido como serviço público essencial. Com a cidade melhor iluminada, há um aumento do nível de satisfação e bem-estar social. Além disso, a população que contribui através da COSIP percebe o resultado na qualidade do serviço. Por outro lado, com o LED, há menor necessidade de

substituição e manutenção ocasiona a diminuição dos postos de trabalho;

- Interesse público e participação cidadã: nos processos decisórios, de modo geral, há um menor nível de informação da população para opinar quanto às decisões do setor, o que resulta na participação popular menos expressiva e no pouco ou não atendimento do interesse público. Além disso, existem poucos instrumentos de governança e inclusão dos intervenientes da sociedade civil, apesar do Estatuto das Cidades garantir esse direito. Isto acarreta em decisões restritas ao alto escalão do governo e entidades do setor privado e a opinião da sociedade civil é usualmente desconsiderada.

b) Aspectos econômicos:

Dentro dos aspectos econômicos, os critérios a serem considerados para adoção do LED são:

- Custo: a aquisição da tecnologia representa um custo inicialmente mais alto, o que dificulta a adesão de municípios brasileiros com baixo orçamento. No entanto, como a redução do consumo de energia com o uso da tecnologia chega de 40 a 60%, há uma redução progressiva do valor necessário para pagamento de energia consumida e conseqüentemente, diminuição do tempo de *payback* e do Retorno do Investimento (ROI), resultando em economia para o administrador do sistema;
- Tarifas para Iluminação Pública: o Brasil conta com a existência de um instrumento para financiamento dedicado ao serviço previsto em lei (COSIP), que garante os municípios uma forma de subsidiar o serviço. Apesar disso, o método de cálculo do consumo de energia é majoritariamente feito por estimativa e, por isso, causa inconsistências no faturamento de energia, conseqüentemente há imprecisão na base de cálculo da COSIP e dificuldade de previsão dos ganhos de economia com a tecnologia. Ainda assim, o LED gera economia no consumo de energia que refletirá nas tarifas para pagamento de energia elétrica com possível redução dos valores da contribuição repassadas à população;
- Orçamento público: os municípios brasileiros enfrentam limitação orçamentária para aquisição da tecnologia para modernização dos parques de Iluminação Pública. Para uso do orçamento público, são necessárias mudanças na lei, bem como para autorização de outras fontes de financiamento, desde que observada a situação fiscal dos municípios;
- Aquisição, substituição, operação e manutenção dos equipamentos: o principal desafio está na capacidade técnica da maioria dos municípios brasileiros em definir os requisitos,

indicadores de desempenho e qualidade da tecnologia esperado, o que pode acarretar em produtos de menor eficiência, implicando em menor economia de energia e até substituição prematura. Com isso, há necessidade de contratação de especialistas para apoio técnico para auxiliar na definição desses parâmetros. Além disso, há necessidade de treinamento das equipes de manutenção e o custo da mão de obra especializada é mais alto. Sistema mais complexos também implicam em maior chance de falha, como as regras da tecnologia ainda estão se consolidando no Brasil, esse risco pode ser maior, podendo ocasionar prejuízos. Por exemplo, o material de encapsulamento do LED pode danificar prematuramente devido à dissipação de calor insuficiente ou impactos mecânicos, causando mudança de cor e necessidade de substituição antecipada. Os fabricantes de má reputação ou controle de qualidade insatisfatório podem ainda oferecer produtos que podem falhar mais cedo e, portanto, mais dispendioso substituir. Por outro lado, o maior tempo de vida e operação desta tecnologia reduz o gasto ao longo da vida útil do produto especialmente se o custo da energia for alto, com isso, há também a diminuição do tempo de *payback* e aumento do custo-benefício. Além disso, a menor necessidade de substituição dos equipamentos e manutenção do sistema requer menos mão de obra, reduzindo assim os gastos operacionais e com folha de pagamento;

- Formas de investimento: as novas fontes de financiamento proveniente do capital privado e de empréstimos de bancos podem acarretar tanto benefícios quanto desafios. O principal benefício ofertado diz respeito à maior disponibilidade de recursos para modernização. Por outro lado, há uma grande possibilidade de endividamento dos municípios brasileiros. Além disso, deve-se cumprir a Lei de Responsabilidade Fiscal, o que limita estas possibilidades;
- Formas de concessão: a delegação do serviço de Iluminação Pública com o objetivo de substituição da tecnologia, apesar de proporcionar um aumento das opções de financiamento para cidades através das PPPs e, conseqüentemente, não se limitar à capacidade de crédito de municípios, identifica-se mais desafios do que benefícios. Entre os benefícios, as concessões geram atratividade pela cidade com grandes orçamentos operacionais, pois aumenta a segurança fiscal para ambos os parceiros. Com isso, acelera-se a inserção de capital e a implantação da nova tecnologia mais eficiente. Por outro lado, entre os desafios estão a possibilidade de delegação do serviço público a agentes privados que pode gerar prejuízos econômicos para o parceiro público, pois pode haver superfaturamento do serviço pelo parceiro privado. Além disso, a carência de

conhecimentos técnicos dos municípios para decidir sobre as novas modalidades de concessão administrativa gestão de contratos acarretam no risco de se submeter às decisões do parceiro privado quanto à escolha da tecnologia. Para evitar que isso ocorra, os municípios precisam contratar assessorias técnicas, que são caras. Com relação à posse dos equipamentos, algumas opções de concessão podem permitir que empresas privadas sejam donos dos ativos da iluminação, contrariando o interesse público. Durante o período de concessão, pode haver discrepância entre o valor devido ao parceiro privado ao longo do prazo do contrato caso este não seja bem elaborado, uma vez que a taxa de retorno do investimento ou a necessidade de troca das luminárias LED após o término de sua vida útil pode ser inferior ao prazo do contrato. Por fim, a capacidade financeira dos pequenos e médios municípios pode ser um desafio para investimentos em iluminação nessas cidades. Elas podem não ser atrativas para o parceiro privado, a menos que sejam feitos consórcio de municípios após análise do “*Value for Money*” e da contraprestação pelo serviço.

c) Aspectos ambientais:

Dentro dos aspectos ambientais, para o uso do LED é necessário considerar os seguintes critérios:

- Ciclo de vida dos componentes: o LED possui maior vida útil, portanto, menor necessidade de descarte. Por conta da sua alta eficiência luminosa, consome menos energia o que diminui a pressão para geração de energia, o que contribui, por sua vez, para a diminuição das emissões de gases de efeito estufa especialmente nos períodos de estiagem, onde tem menor produção das hidrelétricas e, conseqüentemente, aumento da produção de energia através das termelétricas, que emitem esses gases prejudiciais ao meio ambiente;
- Poluição pela luminosidade: há maior controle da poluição luminosa durante a operação do LED, por conta do maior controle da direcionalidade da luz, o que reduz o *sky glow* e seus efeitos sobre o meio ambiente;
- Poluição gerada pelos materiais: o processo de fabricação do LED não é considerado ambientalmente amigável, especialmente porque a maioria dos *chips* de LED são fabricados na China, onde se questiona a regulação ambiental. Apesar de que boa parte da fabricação de luminárias LED não é feita no Brasil, portanto não poluírem tanto o país em si, a responsabilidade ambiental deve englobar toda a cadeia produtiva. Além disso,

para fabricar as luminárias LED precisa-se de mais material do que para fabricação das lâmpadas HID. O LED ainda utiliza alguns elementos raros da tabela periódica, o que gera maior complexidade para descarte e reciclagem. Por outro lado, o LED não contém Mercúrio na sua fabricação, evitando mais poluição por essa substância;

- Formas de descarte e reciclagem: como dito, o LED contém substâncias de difícil descarte, e o processo de reciclagem ainda é limitado e não há nenhuma regulamentação do processo no país que inclua recomendações para o descarte do LED. Esse processo ainda não está consolidado em outros países e a tecnologia é cara;
- Impacto no ambiente natural (vida selvagem, flora e fauna): o maior controle da distribuição luminosa causa menos perturbação para alguns animais selvagens. Por outro lado, é potencialmente mais disruptivo para animais noturnos por conta da distribuição espectral da luz branca. Além disso, pode atrair menos ou repelir insetos, o que é crítico para polinização de certas áreas próximas das cidades. Nas áreas litorâneas, a iluminação com muito espectro azul nas cidades pode afastar animais marinhos, como a tartaruga.

d) Aspectos técnicos-normativos:

Dentro dos aspectos técnicos-normativos, os critérios a serem considerados são:

- Normas técnicas, No Brasil, a maioria das normas relativas a tecnologia já foi aprovada e atualizada o que gera um aumento da qualidade nos projetos de modernização. Por outro lado, nem todas elas são obrigatórias, ou seja, precisam de reforço de lei específicas torná-las obrigatórias, conseqüentemente nem sempre são cumpridas pelos projetistas e fabricantes de Iluminação Pública. Além disso, as metodologias de determinação do IRC precisam ser revistas pois tem como ponto de referência as lâmpadas incandescentes (metodologia ultrapassada). Os requisitos de eficácia luminosa também precisam ser revistos pois devem considerar o comportamento da luz no ambiente mesópico e devem se basear na efetividade visual do fluxo luminoso. O LED possui características específicas, é necessário considerar que esta tecnologia possui diversos formatos e formas de montagem. Por fim, o método de cálculo do tempo de vida do LED deve ser aperfeiçoado, apesar de ser muito maior do que a prática nos ensaios, é necessário aferir ao longo dos anos se realmente corresponde ao que a indústria alega;
- Normas de qualidade de desempenho: No Brasil, são obrigatórias para que as luminárias LED possam ser comercializadas no país. Sendo reguladas pelo Inmetro, mantêm um padrão mínimo de qualidade e eficiência e ainda são classificadas de acordo com os seus

níveis de eficiência. O Inmetro obriga a afixação da etiqueta ENCE com a indicação de sua classificação. Por outro lado, pode ocorrer que algumas luminárias de LED não atendam a eficácia publicada ou o fluxo luminoso alegado na embalagem, muitas vezes as amostras de testes não correspondem ao produto comercializado, requer melhor fiscalização;

- Normas de eficiência energética: o Brasil possui um selo (PROCEL) de eficiência energética para luminárias LED para Iluminação Pública que exigem atualmente o mínimo de 110 lm/W de eficácia luminosa. Esse selo não é obrigatório, a menos que seja exigido nos editais licitatórios (alguns editais de chamadas públicas e concessão já exigem o selo). Contudo, o preço do produto com selo de eficiência energética é mais elevado (produto *Premium*), portanto precisam de mais incentivo para que o município opte por produtos de qualidade e eficiência mais elevada.

e) Aspectos regulatórios:

Dentro dos aspectos regulatórios, os critérios para adoção do LED devem considerar os seguintes parâmetros:

- Legislação e regulação nas diversas esferas de poder: são necessárias atualizações relativas a tecnologia, que ainda estão em fase de desenvolvimento. Requer-se também a atualização das leis de proteção ambiental frente aos novos requisitos de descarte da tecnologia. A nova legislação deve buscar a obrigatoriedade do atendimento das Normas técnicas e de qualidade e de eficiência energética atuais que contemplam a tecnologia, o que contribuirá para o desenvolvimento de bons projetos fundamentado nestas Normas. Deve-se também considerar a burocracia e a morosidade nos processos no setor público, pois dependem das agendas legislativas e da tramitação dos projetos e sobretudo da aprovação das Leis de Diretrizes Orçamentárias;
- Formas de implementação: a autonomia com a posse dos ativos da Iluminação Pública pelo município garante o maior controle das decisões a respeito das tecnologias e da manutenção, pois não dependem das distribuidoras para efetuá-las. Por outro lado, as cidades, ao adquirir a responsabilidade por lei por este serviço e pela sua modernização, enfrentam dificuldades em estabelecer os requisitos de implementação da nova tecnologia de forma mais apropriada. Nesse contexto, os novos modelos de negócio e de concessão do serviço, como as PPPs são uma alternativa. Contudo, necessitam de legislação para serem implementados, essas leis ainda estão em fase de desenvolvimento e consolidação;



- Modelos de negócios e contratos de concessão: as PPPs para modernização da tecnologia contribuem para a maior velocidade e possibilidade de implantação da tecnologia. No entanto, deve-se verificar como os Contratos de PPP são ser elaborados, um desafio diante da capacidade técnica dos municípios de um modo geral. Além disso, as PPPs em consórcio de cidades pequenas podem escalar em dificuldade para alinhar a legislação em vários municípios diferentes e atender interesses distintos e particularidades de cada município. Os vários modelos de negócios disponíveis provenientes da iniciativa privada também podem proporcionar mais opções de penetração da tecnologia. A iluminação como serviço (LAAS) através do aluguel da tecnologia serviço de manutenção precisa ser bem delineado, já que nesse caso o poder público não possui a propriedade dos equipamentos. Por fim, deve-se definir de metas e indicadores de qualidade precisos, de outra forma, podem não ser atendidos caso não conste no contrato cláusulas específicas sobre punição ao não atendimento a essas metas e indicadores;
- Administração pública e interesse público: deve-se priorizar o bem-estar social e o direito ao serviço público de qualidade através da escolha da melhor qualidade de iluminação. A manutenção da imparcialidade e autonomia decisória nos processos do setor privado é um desafio, pois pode ocorrer a estipulação de regras injustas ou direcionamento para requisitos de uma tecnologia que apenas uma ou poucas concorrentes possuem ou podem atender, configurando ação contrário ao interesse público pela administração pública e até impugnação do processo licitatório.

Conclui-se com a análise acima que a complexidade para adoção do LED na Iluminação envolve muitos aspectos e todos eles possuem relativa importância no processo decisório. Não foi atribuído nesta análise pesos para médio o grau de importância de alguns critérios em relação aos outros, recomenda-se desenvolver uma metodologia que coloque o interesse público como prioritário. A próxima análise foi feita para a tecnologia IoT.

Para este trabalho, existem duas aplicações para a tecnologia IoT: (a) gerenciamento remoto de Iluminação Pública; (b) gestão urbana integrada. Ambas as aplicações possuem alguns critérios comuns, assim como cada uma tem suas particularidades (critérios da solução). Para auxiliar na análise da adoção da IoT na Iluminação Pública, decidiu-se subdividir esses dois tipos de critérios, pois os critérios comuns estão mais relacionados ao próprio sistema da IoT em si e os critérios de soluções estão relacionados às funcionalidades gerais de IoT permitidas pela tecnologia, ou seja, ao ser aplicada.

### 5.2.2 Critérios mútuos do Sistema IoT para Iluminação Pública no Brasil

Os principais critérios comuns para adoção dos Sistemas IoT embarcados na infraestrutura de Iluminação Pública no Brasil são descritos abaixo.

a) Aspectos técnicos-normativos:

Dentro dos aspectos técnicos-normativos do sistema IoT, deve-se considerar:

- Confiabilidade dos dispositivos: deve-se projetar o sistema para funcionar ainda que haja falha (falha segura). Além disso, a calibração dos dispositivos visa garantir a precisão dos dados na sua coleta;
- Rede de transmissão dos dados: a escolha das formas de transmissão dos dados é um desafio frente as opções fornecidas pelas redes de telecomunicações. Deve-se decidir quanto aos meios de transmissão (*wireless* ou cabeada), quanto ao tamanho da área onde os dispositivos serão implantados e ao consumo de energia dos aparelhos para transmissão de dados;
- Dados: os desafios enfrentados para a seleção da tecnologia devem considerar o tipo dos dados, o formato que eles terão, o tamanho desses dados, pois isso afeta nos requisitos de rede e de armazenamento e, por fim, a velocidade requerida da transmissão dos dados, que afeta na decisão do tipo de rede mais apropriada. Os dados também devem ser precisos, para isso é necessário controle de qualidade e atender aos requisitos de confiabilidade dos sensores;
- Processamento e armazenamento, o tipo de plataforma de processamento e análise de dados escolhida afeta na *performance* e na velocidade de análise dos dados. O processamento e armazenamento em nuvens permite fazer análises em tempo real, a identificação automática de padrões e eventos incomuns, a criação de um banco de dados pela possibilidade de análise do histórico e através de *machine learning* prever tendências;
- Mecanismos de segurança: os desafios são grandes, deve-se investir no controle de acesso, evitar a negação do acesso pelas pessoas autorizadas, prevenir ataques cibernéticos, e evitar que um dispositivo danificado ou corrompido ataque o sistema como um todo;
- Gerenciamento dos sistemas IoT: deve-se considerar a atualização e manutenção de softwares para evitar falhas, deve-se também considerar a autonomia e eficiência energética do dispositivo. Além disso, é fundamental o sistema IoT seja escalável e que

o gerenciamento e implantação de atualizações alcancem a totalidade do sistema. Além disso, os recursos de gerenciamento do sistema IoT promovem a facilidade de provisionamento de novos dispositivos;

- Normalização: para os sistemas IoT no Brasil, o processo elaboração de Normas ainda está em andamento, com algumas ações da ABNT. O maior desafio está no fato de que o processo de Normalização, na maioria das vezes não acompanha a velocidade de implantação e evolução das tecnologias, seja pelo ritmo desses avanços ou pela influência da indústria que tem interesse na autorregulação. Internacionalmente, nos últimos anos, algumas normas sobre IoT foram publicadas. Enquanto as Normas brasileiras ou adaptação das normas internacionais para o Brasil não forem feitas, recomenda-se seguir ir às Normas internacionais.

b) Aspectos regulatórios:

Quanto aos aspectos regulatórios, deve-se considerar:

- Legislação: no âmbito nacional tem o desafio de se atualizar frente a nova tecnologia. A legislação relativa às Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) no Brasil tem avançado, a existência do marco legal da IoT (Decreto nº 9.854/2019) traz mais definição e direcionamento com a criação de regras mínimas para o setor. A ANATEL, responsável pela regulação da internet e das redes de comunicação no país, no entanto, ainda não possui regulamentação própria, apesar de estar em fase de análise, o que ainda causa incertezas quanto as regras válidas no Brasil. Nos Estados e municípios, a legislação está relacionada à implantação dos modelos de negócios. Quanto à privacidade e segurança das pessoas e entidades públicas, foi criada a Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (Lei nº 13.709/2018) no país configurando um marco legal importante para a adoção de sistemas IoT. Porém, o desafio existe na garantia de cumprimento a essa legislação. Com a falta de Normas técnicas sobre a IOT, há dificuldade de criar legislação específica para estabelecer requisitos mínimos de qualidade do sistema;
- Formas de implementação: é importante acompanhar a legislação para permissão de contratos de concessão de uso da infraestrutura de Iluminação Pública para IoT e definir os limites dos contratos de PPP para essa finalidade;
- Modelos de negócio: o desafio maior está relacionado a escalabilidade dos projetos pilotos. Para autorização de projetos muito grandes, assume-se um alto risco, dificultando sua implantação nas grandes cidades. Nesse quesito, as cidades menores são mais viáveis,

pois em menores escalas, há maior controle e mitigação de riscos. Além disso, a legislação não define a permissão ou não da utilização da COSIP como contrapartida de contratos de PPP para sistemas IoT.

c) Aspectos econômicos:

Quanto aos aspectos econômicos, os critérios de destaque são:

- **Custo da implantação:** compreende aos custos de seleção da rede, ou seja, às despesas com transmissão dos dados junto à operadora de telecomunicações, o custo da consultoria técnica para estabelecimento dos requisitos de aplicação da tecnologia e definição das regras de contrato de PPP caso esta seja a modalidade escolhida e o custo do compartilhamento da infraestrutura de energia elétrica e Iluminação Pública. Quanto ao uso da infraestrutura comum, deve-se observar as formas de remuneração pela infraestrutura. As empresas de telecomunicação também podem influenciar na escolha das tecnologias de comunicação, visando benefício econômico, deve-se buscar isenção de preferência para não haver conflito de interesses entre o setor público e setor privado;
- **Ferramentas de financiamento:** as PPP atraem mais investimento do capital privado. Além disso, organismos internacionais e bancos de fomento estão priorizando as PPPs para implantação de projetos pilotos e prestação de consultoria técnica;
- **Posse dos dados:** quanto à aquisição de dados pelos sistemas IoT, podem gerar receitas acessórias passíveis de exploração. Quanto à propriedade e venda de dados caso a propriedade seja definida em favor do parceiro privado, a revenda dos dados ao setor público pode ser considerada cláusula abusiva, pois gera desvantagem para o Poder Público.

d) Aspectos sociais:

Quanto aos aspectos sociais, a adoção de sistemas IoT devem considerar os seguintes critérios:

- **Emprego:** são aqueles que impactam nos requisitos de qualificação da mão de obra e na necessidade de treinamento e contratação de profissionais especializados;
- **Segurança cidadã:** os riscos à população através de ataques cibernéticos e acesso a dados pessoais e institucionais privados são altos, especialmente os relacionados à tecnologia de reconhecimento facial e outras formas de monitoramento excessivo e invasivo.

e) Aspectos ambientais:

Quanto aos aspectos ambientais, os sistemas IoT necessitam a observância dos seguintes critérios:

- Consumo de energia: esses sistemas podem intensificar a eficiência energética do sistema de Iluminação Pública e a redução de recursos naturais para geração de energia;
- Monitoramento ambiental e controle da poluição: através da contribuição ao monitoramento da dinâmica urbana, e emitir alertas de poluição ambiental, ou manejar o tráfego para melhorar o fluxo e conseqüentemente diminuir a emissão de gases poluentes. Por outro lado, os equipamentos das redes de comunicação sem fio/ radiofrequência podem causar a poluição eletromagnética.

Conclui-se com a análise dos critérios para adoção de sistemas IoT no Brasil que quanto maiores forem as possibilidades tecnológicas, maiores são os desafios e os impactos de sua aplicação. A seguir, nos itens 5.2.3 e 5.2.4 são apresentadas as sínteses das soluções particulares para cada aplicação das soluções IoT para Iluminação Pública.

### **5.2.3 Critérios para Soluções IoT para Gerenciamento Remoto de Iluminação Pública no Brasil**

As soluções oferecidas pela implantação de dispositivos IoT para Gerenciamento Remoto da Iluminação Pública são aquelas que atuam no controle das funcionalidades ópticas das luminárias, relacionadas à dimerização e ao controle da temperatura de cor correlata, ou na gestão da operação e da manutenção do sistema, auxiliando no monitoramento do consumo de energia e na identificação de falhas. Para as soluções IoT, a estrutura de análise foi separada por tipo de solução, não mais pelos aspectos, apesar de serem considerados dentro das análises de cada solução em particular.

a) Dimerização:

Dentro dos aspectos econômicos: os sistemas IoT, através da dimerização, proporcionam mais oportunidades de economia no orçamento público através da intensificação da eficiência energética, na redução do consumo com a diminuição da energia utilizada nos horários com menor necessidade de luminosidade. Por outro lado, o risco do investimento em uma tecnologia mais complexa é muito maior do que a tecnologias tradicionais estabelecidas de controle e acionamento das luminárias.

Quanto aos aspectos sociais, a redução da luminosidade a um nível que ameace a segurança cidadã ou permita ações ilícitas e exponha a sociedade a violência urbana é um risco desta função. Por outro lado, o aumento da luminosidade com mais agilidade como resposta à eventos incomuns, como alta concentração de pessoas, ou à eventos cotidianos, como pontos de luz nos locais de travessia de pedestres que podem ser ativados apenas no momento da travessia automaticamente. Ambos podem inibir a criminalidade e melhorar a segurança dos cidadãos e pedestres, respectivamente.

Além disso, ainda sobre os aspectos sociais, a possibilidade de controle remoto dos níveis de luminosidade no ambiente Urbano de forma automática pode impactar no conforto visual e na saúde humana. Por um lado, pode causar efeito negativo pela variação repentina. Por outro, os menores níveis de luminosidade nos horários de repouso da maior parte da população mimetizam os ciclos da natureza. Por fim, a possibilidade de dimerização pode ajustar possíveis erros de projeto ou mudanças no Zoneamento Urbano, ou atender às solicitações da comunidade após instalação, ajustando mais facilmente os níveis de luminosidade às necessidades e às preferências de uma região e atender aos novos requisitos da legislação urbana que porventura vierem a mudar.

No que diz respeito aos aspectos técnico-normativos, a programação do sistema IoT para dimerização devem garantir o atendimento as Normas brasileiras quanto aos níveis de luminosidade mínimos. Além disso, a complexidade adicional dos dispositivos e componentes do sistema IoT aumentam o risco de falha tanto no equipamento, quanto nas interações com as luminárias. Dentro dos aspectos regulatórios, é necessário verificar a legislação e seguir as Normas técnicas para admitir essa funcionalidade. Por fim, incluso nos aspectos ambientais, assim como no LED, a diminuição da intensidade luminosa em alguns horários pode gerar impacto positivo na vida selvagem no entorno da cidade e para fauna urbana.

#### b) Controle de Temperatura de Cor:

As soluções IoT para controle da temperatura de cor são muito similares às soluções para a dimerização nos aspectos técnico-normativos, regulatórios e econômicos. Esta solução impacta mais efetivamente nos aspectos sociais e ambientais, pois influenciam na ambiência urbana, através da criação de cenários diversificados. Além disso, pode proporcionar bem-estar e preservam a saúde aos cidadãos, especialmente com programação de mudança progressiva na TCC nos horários de alvorecer e anoitecer, buscando mimetização da natureza, o que também influencia na paisagem e possivelmente na fauna.

c) Monitoramento do Consumo Energético:

As soluções IoT para medição em monitoramento do consumo energético, têm maior influência nos aspectos econômicos, sociais e ambientais, pois possibilitam uma melhor gestão e previsibilidade dos custos e podem evitar a cobrança desnecessária da contribuição para subsídio para Iluminação Pública (COSIP) e maior domínio do cálculo e dos gastos públicos. Por outro lado, há um risco do sistema ou de alguns dispositivos estarem medindo ou calculando o consumo de forma errada, o que impactaria na previsão dos gastos com a energia elétrica podendo prejudicar o setor público e a população. Com isso, o setor energético poderá calcular melhor a expectativa da demanda e geração de energia.

Nos aspectos técnico-normativos, e regulatórios, esta solução deve seguir as melhores práticas, já que ainda não há Normalização tampouco regulação suficiente. Além disso, os equipamentos devem ser calibrados para correta coleta e verificação dos dados.

d) Identificação Automática de Problemas e Falhas:

Quanto a solução para identificação automática de problemas e falhas, os sistemas IoT influenciam predominantemente nos aspectos sociais e econômicos, pois ameaçam os empregos relacionados às rondas e o atendimento ao usuário. Por outro lado, gera oportunidades para mão de obra especializada em TIC. Além disso, contribui para segurança urbana, já que acelera o processo de identificação e o conserto das luminárias apagadas ou danificadas, bem como melhora o prognóstico de manutenção preventiva, que busca antecipar o conserto antes que a falha ocorra. Essas ações geram economia de recursos públicos e redução dos custos operacionais e de manutenção.

Dentro do aspecto ambiental, a menor dependência do monitoramento presencial, que utiliza veículos à base de combustíveis fósseis, diminui a poluição e emissão de GEE. A respeito dos aspectos técnico-normativos e regulatórios, os sistemas IoT devem ser confiáveis e garantir seu funcionamento de fato.

#### **5.2.4 Critérios para Soluções IoT para Gestão Urbana Integrada na infraestrutura de Iluminação Pública no Brasil**

Entre as soluções permitidas pela implantação de dispositivos IoT para Gestão Urbana Integrada utilizando a Infraestrutura de Iluminação Pública no Brasil, destacam-se a coleta de dados, o monitoramento integrado e a conectividade.

a) Coleta de Dados (Indicadores Temporais e Espaciais):

Quanto à coleta de dados, eles podem gerar indicadores urbanos sobretudo com base em critérios temporais e espaciais. Esta solução gera oportunidades para a sociedade, já que habilita a coleta de dados em tempo real de eventos dentro do território urbano, identificando geograficamente essas ocorrências, com isso a maior precisão dos planos de ação e planejamento e gestão urbana. Além disso, esses dados podem identificar áreas de risco com base em dados climáticos e de vulnerabilidades, aumentando a responsabilidade do poder público e à resiliência Urbana. Por outro lado, esses dados podem comprometer a privacidade e dos entes públicos, bem como estar suscetíveis a falhas no sistema, quem impactam na segurança cidadão, como, por exemplo, o mau funcionamento de semáforos ou das sirenes de alerta a desastres iminentes.

Dentro das oportunidades econômicas dessa solução, os dados podem ser vendáveis e transformadas em ativos econômicos para quem os detém. Além disso, a capacidade de controlar o pagamento por serviços urbanos como, por exemplo, estacionamentos, pode gerar receita para a cidade. Com controle dos semáforos e melhor gerenciamento das condições de tráfego, a sociedade perde menos tempo no trânsito e se torna mais produtiva, gerando produção de riquezas para cidade. Por outro lado, o custo para armazenar e transmitir dados é alto e muitas vezes pode superar as oportunidades que geram.

Inclusos nos aspectos regulatórios, entre os riscos relacionados aos contratos de concessão, o principal envolve a propriedade e detenção dos dados, que pode ficar retida pelo parceiro privado em detrimento do parceiro público. Em relação aos aspectos ambientais, esses dados podem contribuir para a geração de indicadores que ajudarão a formular políticas específicas de controle do microclima, ou ajudar no planejamento e logística das coletas de resíduos na cidade.

b) Monitoramento Integrado (Dados Transversais):

Quanto ao monitoramento integrado, esta solução está relacionada à transversalidade dos dados e à interoperabilidade do sistema IoT. Cobrindo os aspectos sociais, econômicos e ambientais, esta solução propõe a utilização da mesma infraestrutura de transmissão e coleta de dados para solucionar diferentes demandas de serviços urbanos, contribuindo para uma resposta mais rápida a falhas, emergências e eventos climáticos extremos. Esta solução contribui também para a gestão do tráfego, na logística para evacuação de emergência ou para grandes eventos. Além disso, pode otimizar a gestão de resíduos, o controle da qualidade do ar e outras



soluções que impacto no bem-estar, segurança e saúde da sociedade.

Dentre as questões técnico-normativas, as dificuldades residem nas questões de interoperabilidade, visto que há uma dificuldade de integrar diferentes sistemas num só formato. Além disso, quanto à questão regulatória, com muitos intervenientes, em face aos eventos que atingem multisserviços, é difícil definir quem tem a jurisdição sobre a tomada de decisão, ou mais poder de ação.

c) Conectividade (Inclusive WiFi público):

Quanto às soluções de conectividade, estas estão relacionadas à possibilidade de conectar à internet o maior número possível de pessoas, inclusive com fornecimento do serviço de WiFi público. Dentro dos aspectos sociais e econômicos, as oportunidades dessa solução são diversas, a primeira e mais importante está relacionada à conectividade da sociedade e à participação e interatividade cidadã através da inclusão digital. Esta conectividade pode gerar mais oportunidade de negócio na cidade, promover negócios locais, melhorar os níveis de informação da população e auxiliar no aprendizado fora do ambiente escolar para a população mais carente. Além disso, o WiFi público pode ser financiado através do uso do espaço virtual para propagandas por empresas que estiverem interessadas em anunciar através da plataforma. Por outro lado, esta solução também apresenta riscos importantes, sobretudo relacionados à segurança dos dados pessoais e privacidade que ficam expostos mais facilmente em redes públicas.

Quanto aos aspectos técnico-normativos e regulatórios, é fundamental que sejam estipulados requisitos de *compliance* relativas às obrigações legais para transmissão de dados e seguranças, em que o usuário possa optar por autorizar ou não o compartilhamento dos seus dados. Além disso, a sobrecarga das redes de dados e telecomunicações nas cidades podem afetar os serviços de emergência. Deve-se priorizar conectividade de sistemas de urgência e emergência como bombeiros, defesa civil, ambulâncias e polícia. Adicionalmente, o clima pode afetar na conectividade, causando oscilações e não confiabilidade do serviço. Além disso, é importante que haja Normalização dos protocolos de comunicação e dos requisitos de segurança para essas operações. É importante também definir quais os protocolos de comunicação e frequência de transmissão de dados tenham autorização legal para operação nas cidades. No que diz respeito aos aspectos ambientais, não foi identificado nenhum critério relevante nesta análise.

A partir dessa análise, as sínteses desses critérios resultaram na elaboração das suas respectivas matrizes de critérios, contendo as principais implicações da adoção das tecnologias estudadas no Brasil que são o resultado deste trabalho. Após elaboração das matrizes de critérios, elaborou-se uma só matriz: a **Matriz multicritério para aplicação do LED e da IoT no Brasil**, principal contribuição deste trabalho.

## 6 RESULTADOS

Atendendo ao Objetivo Geral do presente trabalho, desenvolveu-se matrizes com o intuito de fornecer informações necessárias para que os gestores urbanos possam avaliar como implantar as tecnologias estudadas de forma ajustada ao cenário brasileiro, de maneira que as aplicações propostas no trabalho possam trazer benefícios diretos e indiretos para as cidades e cidadãos.

Para cada uma das soluções apresentadas no capítulo anterior, foi construída uma matriz de critérios e suas implicações, para o setor público e para a sociedade. Por fim, foi feita uma análise global dos critérios, que cruzam os critérios mais relevantes das adoção do LED e das duas aplicações da IoT na infraestrutura de Iluminação Pública estudadas, reunidas em uma Matriz Multicritério para Iluminação Pública Inteligente, onde são expostas as oportunidades e riscos das soluções selecionadas, enfatizando os aspectos econômicos e regulatórios sob a perspectiva do setor público e os aspectos sociais com uma abordagem centralizada no interesse público.

As primeiras duas matrizes incluem os critérios do LED e do Sistema IoT, respectivamente, separados de acordo com seus impactos (benefícios e desafios) na Iluminação Pública. Já nas matrizes da aplicação das soluções IoT para Iluminação Pública, os critérios são separados de acordo com seus impactos no setor público e na sociedade, por isso, são divididos em oportunidades e riscos.

ASPECTOS	BENEFÍCIOS / OPORTUNIDADES	DESAFIOS / RISCOS OU AMEAÇAS
<b>SOCIAIS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Visibilidade ▼ Ofuscamento ▼ Crimes e risco de acidentes</li> <li>▼ Poluição luminosa ▼ Luz intrusiva (controle maior da direcionalidade)</li> <li>▼ Fadiga ocular e o estresse (TCC e luminosidade ajustáveis)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Espectro de luz azul (prejudica ciclo adormecer/despertar) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Observar as preferências e cultura local</li> </ul> </li> </ul>
<b>ECONÔMICOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▼ Preço ao longo da vida útil do produto</li> <li>▼ Redução do consumo de energia em 50-70%</li> <li>▼ Pessoas para manter o sistema <ul style="list-style-type: none"> <li>• Múltiplas opções de financiamento;</li> <li>• Existência dos instrumentos financeiros (COSIP)</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Aquisição inicial</li> <li>▲ Custo da substituição (equipamento)</li> <li>▲ Chance de falha</li> <li>▲ Custo de reposição (mão de obra qualificada)</li> <li>▲ Chance de mudança de cor (dissipar calor na luminária) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidade técnica (contratar assessorias técnicas)</li> <li>• Capacidade de crédito municipal (especialmente cidades médias e pequenas)</li> <li>• Controle de qualidade insatisfatório</li> </ul> </li> </ul>
<b>AMBIENTAIS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▼ Perturbador para alguns animais selvagens</li> <li>▼ Atrair insetos</li> <li>▲ Vida útil</li> <li>▼ <i>Sky Glow</i> (Diminuição da percepção natural do céu)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Disruptivo para animais noturnos</li> <li>▼ Opções de eliminação de resíduos. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Usa alguns dos elementos raros da tabela periódica</li> </ul> </li> </ul>
<b>TÉCNICOS - NORMATIVOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Existem vários programas para avaliar e classificar a eficiência energética, desempenho e qualidade</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Normas técnicas estão em evolução</li> <li>• Normas de qualidade nem sempre são atendidas</li> </ul>
<b>REGULATÓRIOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Iluminação como serviço – aluguel de tecnologia</li> <li>• Venda de dados</li> <li>• Transferência da posse dos ativos da IP</li> <li>▲ Controle do serviço</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PPP pode ser difícil para cidades menores</li> <li>• Potencial desvantagem para o Poder Público se não tiverem o direito sobre os dados</li> <li>• Atualização da legislação específica, ambientais e PPP</li> <li>• Nova legislação requer a obrigatoriedade ao atendimento de normas técnicas</li> <li>• Transferência da posse dos ativos da IP (adaptação difícil)</li> </ul>

Quadro 7 Matriz de Critérios da adoção do LED na Iluminação Pública.

<b>ASPECTOS</b>	<b>BENEFÍCIOS / OPORTUNIDADES</b>	<b>DESAFIOS / RISCOS OU AMEAÇAS</b>
<b>SOCIAIS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Novos postos de trabalho</li> <li>▲ Interatividade</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Requisitos de especialidade para a mão de obra</li> <li>▲ Risco de segurança cidadã</li> <li>▲ Risco de privacidade de dados pessoais dos cidadãos</li> </ul>
<b>ECONÔMICOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Receitas acessórias passíveis de exploração</li> <li>• PPP para IoT pode ser mais fácil para cidades menores</li> <li>• Organismos internacionais e bancos de fomento fornecem assessoria e linhas de crédito para incentivar a IoT</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Custo da implantação</li> <li>▲ Custo da seleção de rede (tarifa da empresa de telecomunicações)</li> <li>▲ Custo da consultoria técnica</li> <li>• Empresas de Telecomunicação (influenciam na escolha da tecnologia de comunicação) – pode haver conflito de interesses</li> </ul>
<b>AMBIENTAIS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Intensificam a eficiência energética</li> <li>• Contribuem para o monitoramento da dinâmica urbana,</li> <li>• Emitem alertas de poluição ambiental</li> <li>• Auxiliam no remanejamento do tráfego para melhorar o fluxo de veículos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os equipamentos das redes de comunicação sem fio/ radiofrequência podem causar a poluição eletromagnética.</li> </ul>
<b>TÉCNICOS - NORMATIVOS</b>	<p>Rede, Dados, Processamento e Armazenamento dos Dados, Mecanismos de Segurança, e de gerenciamento:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Análise em tempo real</li> <li>• Criação de um banco de dados</li> <li>• Atualização e manutenção automática dos dispositivos;</li> <li>• Autonomia e eficiência energética</li> <li>• Identificação automática de padrões e eventos incomuns</li> <li>• Armazenamento e processamento na nuvem</li> </ul>	<p>Rede, Dados, Processamento e Armazenamento dos Dados, Mecanismos de Segurança, e de gerenciamento:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tamanho da área e número de equipamentos necessários</li> <li>• Confiabilidade</li> <li>• Falha de segura</li> <li>• Ataques Cibernéticos</li> <li>• Controle da privacidade dos dados</li> <li>• Implantação, atualização e gerenciamento em escala</li> </ul>
<b>REGULATÓRIOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Legislação para permissão de contratos de PPPs para atuar no gerenciamento de Cidades Inteligentes</li> <li>• Legislação para PPPs em cidades menores é mais rápida de ser aprovada e projetos são mais fácil de serem implementados (escala menor)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta ou necessidade de legislação para proteção de dados pessoais (privacidade e segurança)</li> <li>• Nova legislação requer a obrigatoriedade ao atendimento de normas técnicas</li> <li>• Utilização da COSIP como contrapartida das PPPs</li> </ul>

Quadro 8 Matriz de Critérios da adoção da IoT na Iluminação Pública.

SOLUÇÕES	BENEFÍCIOS / OPORTUNIDADES	DESAFIOS / RISCOS OU AMEAÇAS
<b>DIMERIZAÇÃO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Eficiência Energética</li> <li>▼ Consumo de energia em até 80%</li> <li>▲ Resposta instantâneas à eventos incomuns automaticamente</li> <li>▲ A segurança dos cidadãos</li> <li>▲ Qualidade de vida dos cidadãos</li> <li>▲ Colaboração da comunidade e zoneamento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Risco de investimento em uma tecnologia mais complexa</li> <li>▲ Risco de falha (pode expor os cidadãos à níveis de luminosidade insuficiente e à violência)</li> </ul>
<b>CONTROLE DA TEMPERATURA DE COR</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Influência na Ambiência Urbana, Conforto Ambiental e Saúde Humana</li> <li>• Permite mudar características se ocorrer algum erro no projeto de iluminação ou mudanças na regulação ambiental</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pode não agradar a todos por conta das preferências individuais e culturais</li> </ul>
<b>MEDIÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestão e previsibilidade de custos</li> <li>• O cálculo da contribuição para o subsídio da energia pública (COSIP) pode diminuir.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Risco do sistema ou de alguns dispositivos de erros de medição e cálculo podendo prejudicar o setor público e a população.</li> </ul>
<b>IDENTIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE FALHAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Prognóstico da manutenção preventiva</li> <li>▼ Redução dos custos operacionais</li> <li>• Acelera o conserto do problema quando uma luz apaga</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▼ Rondas e centrais de atendimento ao usuário</li> <li>▼ Empregos</li> </ul>

Quadro 9 Matriz de Critérios para Adoção da IoT para Gerenciamento Remoto da Iluminação Pública.

SOLUÇÕES	BENEFÍCIOS / OPORTUNIDADES	DESAFIOS / RISCOS OU AMEAÇAS
<p><b>COLETA DE DADOS</b></p> <p><b>(Indicadores Temporais e Espaciais)</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Precisão de planos de ação (planejamento e gestão urbana)</li> <li>▼ Tempo para identificar riscos (dados climáticos e de vulnerabilidades)</li> <li>▲ Receita para a cidade (dados vendáveis e pagamento por serviços urbanos não essenciais)</li> <li>▲ Eficiência de semáforo</li> <li>▼ Tempo no trânsito</li> <li>▲ Produtividade</li> <li>▲ Responsividade e Resiliência</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▼ Privacidade e Segurança</li> <li>▲ Impacto de sistemas com falha ou comprometidos</li> <li>▲ Risco de privacidade dos dados pessoais</li> <li>▲ Custo para armazenar / transmitir dados <ul style="list-style-type: none"> <li>• Definir a propriedade dos dados (público ou privado?)</li> </ul> </li> </ul> <p>Legislação de proteção de dados e privacidade pode ser fraca</p>
<p><b>MONITORAMENTO INTEGRADO</b></p> <p><b>(Dados Transversais)</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Resposta mais rápida à falha</li> <li>▲ Resposta ao meio ambiente <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mesma infraestrutura para diversos serviços</li> </ul> </li> <li>▼ Gasto público <ul style="list-style-type: none"> <li>• Planejamento de tráfego e rotas</li> <li>• Simplificar a gestão de resíduos e a qualidade do ar</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Questões de interoperabilidade</li> </ul> <p>Quem tem a jurisdição sobre a tomada de decisão</p>
<p><b>CONNECTIVIDADE</b></p> <p><b>(Inclusive WiFi Público)</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Conectividade do Usuário (WiFi público) <ul style="list-style-type: none"> <li>• ▲ Participação e Interatividade Cidadã</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Segurança em nível de dados</li> <li>• Dados comprometidos podem ter valor</li> <li>• Questões de interoperabilidade</li> <li>• Questões de segurança</li> <li>• Questões de privacidade</li> <li>• Potencial impacto do clima na conectividade</li> <li>▲ Obrigações legais para transmissão de dados/segurança <ul style="list-style-type: none"> <li>• Questões de uso de serviços de emergência</li> </ul> </li> </ul> <p>Questões de autorização legal para uso dos Protocolos de Comunicação (Frequências de Transmissão)</p>

Quadro 10 Matriz de Critérios para Adoção da IoT para Gestão Urbana Integrada.

	<b>BENEFÍCIOS / OPORTUNIDADES</b>	<b>DESAFIOS / RISCOS OU AMEAÇAS</b>
<b>LED</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Eficiência Energética</li> <li>▲ Tempo de vida da luminária</li> <li>▲ Visibilidade</li> <li>▼ Poluição luminosa</li> <li>▲ Controlabilidade e Ajustabilidade</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Custo inicial</li> <li>▲ Complexidade</li> <li>▲ Legislação e Normas</li> <li>▼ Capacidade técnica</li> <li>▼ Possibilidade de Reciclagem</li> </ul>
<b>IoT (Geral)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Análise em tempo real</li> <li>▲ Processamento automático</li> <li>▼ Perda de dados (computação na nuvem)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Requisitos de Confiabilidade</li> <li>▲ Complexidade</li> <li>▲ Riscos de ataques cibernéticos e à privacidade</li> <li>▼ Capacidade técnica</li> <li>▲ Custo de implantação</li> <li>▼ Financiamento</li> <li>▲ Escala</li> </ul>
<b>IoT (Gerenciamento Remoto da Iluminação)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Eficiência Energética</li> <li>▲ Controle e ajuste da iluminação</li> <li>▲ Segurança</li> <li>▲ Gestão do consumo e gastos com energia</li> <li>▼ Custos Operacionais</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▼ Empregos não especializados</li> <li>▲ Risco do investimento</li> <li>▲ Risco de falhas</li> </ul>
<b>IoT (Gestão Urbana Integrada)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Coleta de dados da dinâmica urbana</li> <li>▲ Indicadores temporais e espaciais</li> <li>▲ Indicadores climáticos e de vulnerabilidade</li> <li>▲ Identificação de riscos</li> <li>▲ Responsividade e Resiliência Urbana</li> <li>▲ Monitoramento integrado</li> <li>▲ Planejamento e gestão eficaz</li> <li>▲ Mesma infraestrutura para diferentes serviços urbanos</li> <li>▼ Gasto público</li> <li>▲ Conectividade</li> <li>▲ Participação e Interação Cidadã</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▼ Privacidade e Segurança</li> <li>▲ Custo</li> <li>▲ Risco de falhas</li> <li>▲ Risco da apropriação ou alienação dos dados</li> <li>▲ Questões de interoperabilidade</li> <li>▼ Empregos não especializados</li> <li>▲ Autorizações legais para coleta de dados na cidade</li> <li>▲ Risco de sobrecarga do sistema de telecomunicações</li> <li>▲ Risco de afetar os serviços de emergência</li> </ul>

Quadro 11 Matriz Multicritério para Projetos de Iluminação Pública Inteligente.



## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após analisar as tendências atuais para os projetos de modernização da Iluminação Pública, este trabalho concluiu que as duas tecnologias específicas estudadas: o LED e a IoT possuem um enorme potencial para o setor sob diversos aspectos. Por outro lado, os desafios e riscos associados à implantação dessas tecnologias podem ser um importante entrave à sua adoção. Este trabalho revisitou os pontos mais importantes para serem considerados pelos diversos intervenientes dos projetos de modernização da Iluminação Pública com ênfase no cenário brasileiro e chegou às seguintes conclusões.

As cidades que estejam considerando a aquisição de novas luminárias para os espaços urbanos avaliando as tecnologias mais avançadas, assim como estejam buscando a atualização dos métodos de gestão, operação e manutenção do Sistemas de Iluminação Pública podem usufruir de benefícios indiretos além da eficiência energética e redução dos custos operacionais e de manutenção. Além disso, aproveitando a infraestrutura privilegiada da Iluminação Pública, permite incluir soluções para gestão urbana integrada para embarcar dispositivos que auxiliem no gerenciamento de outros sistemas urbanos. No entanto, como exposto ao longo do trabalho este processo esbarra em diversas limitações regulatórias, financeiras e técnicas em vários níveis.

Para as cidades de países em desenvolvimento em especial as brasileiras, a efficientização na aplicação dos recursos é essencial para o desenvolvimento urbano sustentável. Particularmente, no caso dos municípios brasileiros, que ao adquirir a responsabilidade pelos ativos da Iluminação Pública para si, devem garantir um sistema confiável, econômico e atualizado. Contudo, as novas tecnologias para o setor, como o LED e os dispositivos IoT agregados à infraestrutura de Iluminação Pública ainda são dispendiosas, configurando um entrave à implantação nos países em desenvolvimento.

No entanto, foi observado ao longo da pesquisa bibliográfica que muitos dos benefícios e desafios, riscos e oportunidades são comuns em menor ou maior escala em outros países, e até mesmo dentro do próprio país, já que a diferença nos níveis de desenvolvimento entre eles é determinante no levantamento das prioridades e demandas locais específicas e também no nível de consciência (conhecimentos e percepção) das implicações da otimização da gestão pública ou de um serviço específico, tanto por parte do poder público, quanto por parte da sociedade nas suas diversas camadas, sobretudo nas mais baixas. Sob a perspectiva dos setores mais sensíveis da sociedade – aqueles atingidos pelas pressões das desigualdades

socioespaciais, talvez não tenham alta tecnologia para gestão integrada das cidades com uma prioridade imediata, mas sim a resolução dos serviços mais básicos e urgentes.

É necessário que os critérios para a adoção dessas tecnologias - ou na Iluminação Pública ou em qualquer infraestrutura urbana - sejam compatíveis com as necessidades dos cidadãos, objetivando prioritariamente o seu bem-estar e o interesse coletivo. Quando se trata da discussão do interesse público, o gestor urbano deve avaliar as implicações e as potencialidades da aplicação de qualquer tecnologia considerando os aspectos técnicos, socioeconômicos e ambientais. Para o Sistema de Iluminação Pública dos municípios brasileiros, apesar de dispor em sua maioria de recurso específico, deve-se considerar a realidade socioeconômica e as prioridades da aplicação de outros recursos do município nessas soluções sem comprometer a saúde fiscal do município e as diferentes demandas urbanas e de infraestrutura.

Em contraponto, novos modelos de negócios diversos se fortaleceram como alternativa para as limitações dos recursos técnicos e financeiros do poder público para projetos urbanos e despontam como catalizadores dos projetos de modernização da Iluminação Pública e de Cidades Inteligentes. No entanto, deve-se considerar a opinião pública e a garantia dos interesses da população, além da lisura na aplicação dos recursos. Para isso, é imprescindível informar os cidadãos dos benefícios e implicações desses projetos e apurar as preferências da comunidade através da gestão participativa, amparada pelo Estatuto das Cidades.

Num cenário de crescimento populacional urbano e degradação ambiental, onde a escassez de recursos naturais impacta diretamente na geração de energia, as cidades mundialmente buscam tanto a eficiência energética quanto à eficácia na gestão urbana. Além disso, a expansão urbana decorrente exige o aumento da infraestrutura das cidades e o gestor urbano precisa prever esses investimentos e sua arrecadação necessária. Para que novos pontos de Iluminação Pública sejam instalados, por exemplo, é importante que o gestor considere previamente não somente o custo de instalação e operação, como também o aumento no consumo energético, para que não haja desequilíbrio econômico no município.

Por um lado, a opção pelo LED acarreta num alto custo inicial, porém, com a alta conjuntural no preço da energia elétrica, torna-se a solução que gerará maior economia de energia e menor custo de reposição, visto que possui maior vida útil comparada com outras tecnologias. Do outro, notam-se as potencialidades da aplicação da Internet das Coisas nas infraestruturas urbanas já que diversas informações sobre a dinâmica urbana podem auxiliar na gestão das cidades. Com os sistemas informatizados, tratando a gestão pública de forma coordenada, integrando diversos serviços e demandas urbanas, inclusive de iluminação urbana,

serão mais efetivas e acertadas as decisões para investimentos estratégicos e sobretudo alinhados ao interesse público.

## 7.1 CONTRIBUIÇÕES

Nesse sentido, a confecção das matrizes de critérios para adoção das tecnologias estudadas, resultado da análise dos principais pontos abordados nos capítulos anteriores e principal contribuição acadêmica e social deste trabalho, buscou facilitar a visualização de todos os critérios envolvidos para auxílio a tomada de decisão dos intervenientes dos projetos de modernização da Iluminação Pública em especial no Brasil. As matrizes, produtos deste trabalho, buscaram considerar não somente os critérios sobre as perspectivas dos aspectos técnicos e econômicos da adoção dessas tecnologias, mas também incluiu com devida relevância os aspectos sociais, ambientais e regulatórios – este último tem um papel relevante na proteção do interesse público e na sustentabilidade em seu sentido mais amplo.

Uma das motivações desse trabalho consistiu no fato que a linguagem das tecnologias de informação e comunicação muitas vezes são difíceis de compreender para quem não é da área de TIC, portanto, simplificar a linguagem foi uma prioridade ao longo de todo o texto. Essa também foi uma das maiores dificuldades ao longo da confecção deste trabalho. A complexidade do tema e a tentativa de interrelação entre os diversos aspectos questão envolvidos nas questões de políticas de intervenção no meio urbano também foi desafiadora.

## 7.2 INDICAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Ainda que este trabalho trate apenas de uma das formas de tornar as cidades mais inteligentes, não se tentou abordar o tema de forma mais aprofundada. Recomenda-se realizar uma abordagem sobre os desafios e impactos na prática das Cidades Inteligentes existente com ênfase no cenário brasileiro, utilizando as matrizes multicritérios propostas nesse trabalho como forma de fazer uma análise crítica da implantação dessas cidades e como forma de levantar novos aspectos não abordados até então percebidos em estudos de casos reais, além de acompanhar a tendência mundial.

Apesar da Norma ISO 37122:2019 contendo os indicadores para cidades inteligentes não indicar quaisquer uma das tecnologias especificamente, a norma será um guia normalizado para justificar o uso dessas tecnologias nas cidades. Com a Norma, esses indicadores se tornarão mais uniformes ao redor do mundo, facilitando a troca de informação e melhores práticas entre

as cidades e os países. Recomenda-se observar a publicação desta norma com a devida relevância, visto que ela será um grande marco para o movimento das Cidades Inteligentes. Além disso, o enfoque social das Cidades Inteligentes deve ser aprofundado com uso de pesquisa de opinião da população que já está usufruindo desse novo cenário urbano. Entre outros pontos, como:

- Pesquisas sobre a evolução das tecnologias de telecomunicação, especialmente o 5G;
- Como os projetos de cidades inteligentes e Iluminação Pública estão se desenvolvendo no Brasil (saindo do papel – termos de referência e bloqueios judiciais);
- Aprofundamento do estudo das Normas de Cidades Inteligentes e IoT e aplicação ao cenário brasileiro.

Espera-se por fim, que os pontos que não foram aprofundados ao longo do trabalho possam ser ampliados e melhor explorados e futuros trabalhos acadêmicos, como, por exemplo, realização da validação dos critérios qualitativos identificados no trabalho e aferir os critérios prioritários através de pesquisa quantitativa. Espera-se também que este trabalho tenha uma utilidade prática para os diversos intervenientes que trabalham na tomada de decisão para cidades mais justas, sustentáveis, desenvolvidas e inteligentes

## REFERÊNCIAS

100 RESILIENT CITIES. Página Inicial. **100 Resilient Cities**. Disponível em: <<http://100resilientcities.org/resources/#section-1>>. Acesso em: 12 abril 2018.

ABDIB. **Guia de boas práticas em PPPs de Iluminação Pública**. 2ª tiragem. ed. São Paulo: Publicação do Comitê de Iluminação Pública da Associação Brasileira da Infraestrutura e Indústrias de Base - ABDIB, 2019. 48 p. Disponível em: <<https://www.abdib.org.br/guia-de-boas-praticas-em-ppps-de-iluminacao-publica/>>. Acesso em: 20 julho 2019.

ABNT. **ABNT NBR 5461**: 1991 - Iluminação. São Paulo: Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 1991. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=5891>>. Acesso em: 15 fevereiro 2019.

ABNT. **ABNT IEC 60598-1**: 2010 - Luminárias Parte 1: Requisitos gerais e ensaios. São Paulo: Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 2010. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=80860>>. Acesso em: 15 fevereiro 2019.

ABNT. **ABNT NBR 15129**: 2012 - Luminárias para iluminação pública — Requisitos particulares. São Paulo: Associação Brasileira de Normas Técnicas - BNT, 2012. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=091547>>. Acesso em: 15 fevereiro 2019.

ABNT. **ABNT IEC/TS 62504**: 2013 - Termos e definições para LEDs e os módulos de LED de iluminação geral. São Paulo: Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 2013. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=196436>>. Acesso em: 15 fevereiro 2019.

ABNT. **ABNT NBR 5181**: 2013 - Sistemas de iluminação de túneis — Requisitos. São Paulo: Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 2013. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=251952>>. Acesso em: 15 fevereiro 2019.

ABNT. **ABNT IEC 62722-2-1**: 2016 - Desempenho de luminárias - Parte 2-1: Requisitos particulares para luminárias LED. São Paulo: Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 2016. Acesso em: 15 fevereiro 2019.

ABNT. **ABNT NBR 5123**: 2016 - Relé fotocontrolador intercambiável e tomada para iluminação — Especificação e ensaios. São Paulo: Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 2016. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=363645>>. Acesso em: 15 fevereiro 2019.

ABNT. **ABNT IEC 60529**: 2017 - Graus de proteção providos por invólucros (Códigos IP). São Paulo: Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 2017. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=369851>>. Acesso em: 15 fevereiro 2019.

ABNT. **ABNT NBR 5101**: 2018 - Iluminação pública — Procedimento. São Paulo: Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 2018. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=406808>>. Acesso em: 15 fevereiro 2019.

AMA. **Human and Environmental Effects of Light Emitting Diode (LED) Community**. Chicago: Report of the Council on Science and Public Health, American Medical Association - AMA, 2016. Disponível em: <[http://darksky.org/wp-content/uploads/bsk-pdf-manager/AMA\\_Report\\_2016\\_60.pdf](http://darksky.org/wp-content/uploads/bsk-pdf-manager/AMA_Report_2016_60.pdf)>. Acesso em: 2 setembro 2017.

ANATEL. Página da Agência Nacional de Telecomunicações. **Consulta Pública nº 31/2018**, 2018. Disponível em: <<https://sistemas.anatel.gov.br/SACP/Contribuicoes/TextoConsulta.asp?CodProcesso=C2152&Tipo=1&Opcao=finalizadas>>. Acesso em: 30 junho 2019.

ANEEL. **Resolução Normativa Nº 414, de 9 de setembro de 2010**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, 2010. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14486448/bren2010414.pdf/3bd33297-26f9-4ddf-94c3-f01d76d6f14a?version=1.0>>. Acesso em: 6 setembro 2017.

ANEEL. **Resolução Normativa nº 479, de 3 de abril de 2012**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012479.pdf>>. Acesso em: 6 Setembro 2017.

ANEEL. **Resolução Normativa nº 480, de 3 de abril de 2012**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012480.pdf>>. Acesso em: 03 julho 2019.

ANEEL. **Resolução Normativa nº 587, de 10 de dezembro de 2013**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, 2013. Disponível em: <[http://biblioteca.aneel.gov.br/asp/textos\\_main.asp?codigo=151898&desc=ti&servidor=1&iBanner=&iIdioma=0](http://biblioteca.aneel.gov.br/asp/textos_main.asp?codigo=151898&desc=ti&servidor=1&iBanner=&iIdioma=0)>. Acesso em: 6 setembro 2017.

ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST: Módulo 8 – Qualidade da Energia**. Revisão 10. ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, 2018. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo\\_8-Revis%C3%A3o\\_10/2f7cb862-e9d7-3295-729a-b619ac6baab9](http://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo_8-Revis%C3%A3o_10/2f7cb862-e9d7-3295-729a-b619ac6baab9)>. Acesso em: 2 maio 2019.

ANEEL. Formulário de Pesquisa. **Questionário Consulta Pública nº 15/2019 - Iluminação Pública**, 2019. Disponível em: <<https://forms.office.com/Pages/ResponsePage.aspx?id=uPnWQKfsokaS1OpOnAFw4QUr5hgtGxKkCAtd85EkyUNTE4RThSRjNPWTIPUVMYUDVPU0hWM05RRC4u>>. Acesso em: 30 junho 2019.

ANEEL. **Nota Técnica nº 0043/2019- SRD/ANEEL**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, 2019. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/consultas->

publicas?p\_p\_id=consultaspublicasvisualizacao\_WAR\_AudienciasConsultasPortletportlet&p\_p\_lifecycle=2&p\_p\_state=normal&p\_p\_mode=view&p\_p\_cacheability=cacheLevelPage&p\_p\_col\_id=column-2&p\_p\_col\_count=1&\_consultaspublicasvisu>. Acesso em: 19 julho 2019.

ANEEL. **Nota Técnica nº 0043/2019- SRD/ANEEL - Anexo I - Questionário para Consulta Pública 015/2019**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, 2019. Disponível em: <[https://www.aneel.gov.br/consultas-publicas?p\\_p\\_id=consultaspublicasvisualizacao\\_WAR\\_AudienciasConsultasPortletportlet&p\\_p\\_lifecycle=2&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_cacheability=cacheLevelPage&p\\_p\\_col\\_id=column-2&p\\_p\\_col\\_count=1&\\_consultaspublicasvisu](https://www.aneel.gov.br/consultas-publicas?p_p_id=consultaspublicasvisualizacao_WAR_AudienciasConsultasPortletportlet&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&_consultaspublicasvisu)>. Acesso em: 19 julho 2019.

ANEEL. Página Institucional da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. **Relatórios de Consumo e Receita de Distribuição**, 2019. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/relatorios-de-consumo-e-receita>>. Acesso em: 19 julho 2019.

ANTUNES, V. A. **Parcerias Público-Privadas para Smart Cities**. 2ª. ed. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2017. 260 p.

APRECE. Página da Associação dos Municípios do Estado do Ceará. **Apresentação Coelce - Normas Técnicas**, 2014. Disponível em: <<http://aprece.org.br/wp-content/uploads/2014/06/Apresenta%C3%A7%C3%A3o-Coelce-Normas-Tecnicas.pdf>>. Acesso em: 8 junho 2019.

ARDUINO. Página da empresa. **Imagem do Arduino Uno WiFi Rev2**, 2019. Disponível em: <<https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-wifi-rev2>>. Acesso em: 2 maio 2019.

ARROW. Página da empresa. **Raspberry Pi 3**, 2019. Disponível em: <<https://static4.arrow.com/-/media/arrow/images/products/0117/raspberry-pi3img1.jpg>>. Acesso em: 9 abril 2019.

ASCURRA, R. E. **Eficiência Elétrica em Iluminação Pública Utilizando Tecnologia LED: Um Estudo de Caso**. Cuiabá: Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental) - Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia, Universidade Federal de Mato Grosso, 2013. 157 p. Disponível em: <<http://200.129.241.80/ppgeea/sistema/dissertacoes/46.pdf>>. Acesso em: 23 outubro 2017.

ASHTON, K. Página da RFID Journal. **That 'Internet of Things' Thing**, 2009. Disponível em: <<https://www.rfidjournal.com/articles/view?4986>>. Acesso em: 30 janeiro 2019.

ASSELUM. Portal da Asselum Assessoria Luminotécnica. **Representação do Esterradiano**, 2018. Disponível em: <<http://asselum.com/wp-content/uploads/angulo-bola.png>>. Acesso em: 12 setembro 2018.

AT&T. Página da empresa. **AT&T Smart Cities Digital Infrastructure with Current, powered by GE's CityIQ TM**, 2017. Disponível em: <<https://www.business.att.com/content/dam/attbusiness/briefs/iot-digital-infrastructure-brief.pdf>>. Acesso em: 19 junho 2019.

ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The Internet of Things: A survey. **Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking**, Nova Iorque, v. 54, n. 15, p. 2787-2805, outubro 2010. Disponível em: <<https://www.cs.mun.ca/courses/cs6910/IoT-Survey-Atzori-2010.pdf>>. Acesso em: 30 julho 2019.

BENNETT, M.; BACLAWSKI, K. The role of ontologies in Linked Data, Big Data and Semantic Web applications. **Applied Ontology Journal**, Boston, v. 12, n. 3-4, p. 189-194, 2017. Disponível em: <<https://content.iospress.com/articles/applied-ontology/ao185>>.

BERMUDEZ-EDO, M. et al. **IoT-Lite: a Lightweight Semantic Model for the Internet of Things**. 2016 Intl IEEE Conferences on Ubiquitous Intelligence & Computing, Advanced and Trusted Computing, Scalable Computing and Communications, Cloud and Big Data Computing, Internet of People, and Smart World Congress. Toulouse: IEEE. 2016. p. 90-97.

BERNERS-LEE, T. Página da W3C. **What the Semantic Web can represent**, 1998. Disponível em: <<https://www.w3.org/DesignIssues/RDFnot.html>>. Acesso em: 30 julho 2019.

BERNERS-LEE, T.; HENDLER, J.; LASSILA, O. The semantic web. **Scientific American**, Nova Iorque, v. 284, n. 5, maio 2001. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/243773883\\_The\\_Semantic\\_Web\\_in\\_Scientific\\_American](https://www.researchgate.net/publication/243773883_The_Semantic_Web_in_Scientific_American)>. Acesso em: 30 julho 2019.

BJB. Página da empresa. **Lighting Components - 3X11 OPTICS (3R)**, 2019. Disponível em: <<https://www.bjb.com/en/Products/Lighting-Components/Optics/3x11-Optics/>>. Acesso em: 22 junho 2019.

BNDES. **Estudo "Internet das Coisas: um plano de ação para o Brasil"**, 2017. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/pesquisaedados/estudos/estudo-internet-das-coisas-iot/estudo-internet-das-coisas-um-plano-de-acao-para-o-brasil>>. Acesso em: 12 abril 2018.

BNDES. **Estudo "Internet das Coisas: um plano de ação para o Brasil" - Produto 2A Roadmap Tecnológico**. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES, v. 2.0, 2017. Disponível em: <[https://www.bndes.gov.br/wps/wcm/connect/site/1970e8af-33d4-48a5-9522-d6335c931e26/170614\\_Produto\\_Parcial\\_Frente+2\\_Sumario\\_Executivo\\_Roadmap\\_Final.pdf?MOD=AJPERES&CVID=IOOitOz](https://www.bndes.gov.br/wps/wcm/connect/site/1970e8af-33d4-48a5-9522-d6335c931e26/170614_Produto_Parcial_Frente+2_Sumario_Executivo_Roadmap_Final.pdf?MOD=AJPERES&CVID=IOOitOz)>. Acesso em: 8 setembro 2018.



**BNDES. Estudo "Internet das Coisas: um plano de ação para o Brasil" - Produto 7A:** Aprofundamento de Verticais – Cidades. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Sustentável - BNDES, 2017. 68 p. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/wcm/connect/site/776017fa-7c4a-43db-908f-c054639f1b88/relatorio-aprofundamento+das+verticais-cidades-produto-7A.pdf?MOD=AJPERES&CVID=m3rPg5Q>>. Acesso em: 16 setembro 2018.

**BNDES. Estudo "Internet das Coisas: um plano de ação para o Brasil" - Produto 9B:** Síntese do relatório final do estudo. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES, v. 1.1, 2018. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/wcm/connect/site/445c4dd8-069b-47c1-b191-767caee4a5ae/produto-9B-rel>>. Acesso em: 8 setembro 2018.

**BNDES. Estudo "Internet das Coisas: um plano de ação para o Brasil" - Produto 13:** Cartilha de Cidades. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES, 2018. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/wcm/connect/site/db27849e-dd37-4fbd-9046-6fda14b53ad0/produto-13-cartilha-das-cidades-publicada.pdf?MOD=AJPERES&CVID=m7tz8bf>>. Acesso em: 8 setembro 2018.

**BNDES. Página da instituição. BNDES Pilotos IoT - Internet das Coisas, 2018.** Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/onde-atuamos/inovacao/internet-das-coisas/bndes-projetos-piloto-internet-das-coisas>>. Acesso em: 30 junho 2019.

**BOISE STATE PUBLIC RADIO. Portal de notícias. Why "Dark Sky" Ordinances Are Taking Hold In Northwest Cities, 2013.** Disponível em: <<https://www.boisestatepublicradio.org/post/why-dark-sky-ordinances-are-taking-hold-northwest-cities#stream/0>>. Acesso em: 11 outubro 2018.

**BRALUZ. Página da empresa. Luminária Pública, 2019.** Disponível em: <<https://www.braluz.com.br/produtos/luminarias/luminaria-publica/>>. Acesso em: 06 junho 2019.

**BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil (1988).** Brasília: Diário Oficial da União - DOU 05/10/1988, 1988. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Constituicao/ConstituicaoCompilado.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/ConstituicaoCompilado.htm)>. Acesso em: 23 Maio 2018.

**BRASIL. Estatuto da Cidade - Lei nº. 10.257, de 10 de julho de 2001.** Brasília: Diário Oficial da União DOU 10/07/2001, 2001. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/leis\\_2001/110257.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110257.htm)>. Acesso em: 14 agosto 2017.

**BRASIL. Lei Federal nº 13.709, de 14 de agosto de 2018.** Brasília: Diário Oficial da União DOU 14/08/2018, 2018. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2018/lei/L13709.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/L13709.htm)>. Acesso em: 4 fevereiro 2019.

BRASIL. **Decreto nº 9.854, de 25 de junho de 2019**. Brasília: Diário Oficial da União DOU 26/06/2019, 2019. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2019-2022/2019/Decreto/D9854.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2019/Decreto/D9854.htm)>. Acesso em: 27 junho 2019.

BRASIL. Portal interinstitucional. **Frente Parlamentar Mista em apoio às Cidades Inteligentes**, 2019. Disponível em: <<http://fpcidadesinteligentes.com.br/>>. Acesso em: 11 abril 2019.

CASADO, R.; YOUNAS, M. Emerging trends and technologies in big data processing. **Concurrency and Computation: Practice and Experience**, Nova Jersey, v. 27, p. 2078–2091, abril 2015. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/266373455\\_Emerging\\_trends\\_and\\_technologies\\_in\\_big\\_data\\_processing](https://www.researchgate.net/publication/266373455_Emerging_trends_and_technologies_in_big_data_processing)>.

CASAGRANDE, C. G. **Desafios da Iluminação Pública no Brasil e nova técnica de projetos luminotécnicos fundamentada na fotometria mesópica**. Juiz de Fora: Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF, , 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufjf.br/jspui/bitstream/ufjf/2573/1/cristianogomescasagrande.pdf>>. Acesso em: 20 novembro 2017.

CEMIG. **Manual de Distribuição Projetos de Iluminação Pública**. Belo Horizonte: Centrais Elétricas de Minas Gerais - CEMIG, 2012. Disponível em: <<http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/documents/nd-3-4p.pdf>>. Acesso em: 3 setembro 2018.

CEPEL. **Guia orientativo para iluminação com a tecnologia LED**. Rio de Janeiro: Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL, 2015. Disponível em: <<http://www.cepel.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=21CF88905F090AD9015FBA36C3328A8>>. Acesso em: 7 outubro 2017.

CHUANG, Y.-C. Spectral Power Distribution. In: LUO, R. **Encyclopedia of Color Science and Technology**. Nova Iorque: Springer Science+Business Media, 2015. p. 1284. Disponível em: <[https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-642-27851-8\\_352-1.pdf](https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-642-27851-8_352-1.pdf)>. Acesso em: 13 junho 2019.

CISCO. Página da empresa. **The Internet of Everything**, 2012. Disponível em: <[https://www.cisco.com/c/dam/global/en\\_my/assets/ciscoinnovate/pdfs/IOE.pdf](https://www.cisco.com/c/dam/global/en_my/assets/ciscoinnovate/pdfs/IOE.pdf)>. Acesso em: 24 março 2019.

CONEXLED. Página da empresa. **Composição interna do LED**, 2015. Disponível em: <<https://www.conexled.com.br/wp-content/uploads/2015/11/fig1.jpg>>. Acesso em: 19 fevereiro 2019.

CONEXLED. Página da empresa. **Encapsulamento do LED**, 2015. Disponível em: <<https://www.conexled.com.br/wp-content/uploads/2015/11/fig2.jpg>>. Acesso em: 19 fevereiro 2019.

COPEL. **Manual de Iluminação Pública**. Curitiba: Distribuição - SED/DNGO/VNOT, Companhia Paranaense de Energia - COPEL, 2012. Disponível em: <[https://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/Ilumina%E7%E3o%20P%FAblica/Manuais/manual\\_de\\_iluminacao\\_publica\\_copel\\_companhia\\_paranaense\\_de\\_energia.pdf](https://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/Ilumina%E7%E3o%20P%FAblica/Manuais/manual_de_iluminacao_publica_copel_companhia_paranaense_de_energia.pdf)>. Acesso em: 11 agosto 2017.

CURTIN UNIVERSITY. Portal edX Courses. **Estrutura básica da IoT**, 2018. Disponível em: <[https://prod-edxapp.edx-cdn.org/assets/courseware/v1/2ea51c340747063af1214f570b0b250f/asset-v1:CurtinX+IOT2x+3T2018+type@asset+block/1\\_1.png](https://prod-edxapp.edx-cdn.org/assets/courseware/v1/2ea51c340747063af1214f570b0b250f/asset-v1:CurtinX+IOT2x+3T2018+type@asset+block/1_1.png)>. Acesso em: 28 abril 2018.

DESIGN SPARK. Revista eletrônica. **11 Internet of Things (IoT) Protocols You Need to Know About**, 20 abril 2015. Disponível em: <<https://www.rs-online.com/designspark/eleven-internet-of-things-iot-protocols-you-need-to-know-about>>. Acesso em: 2 maio 2018.

DIGIKEY. Revista eletrônica. **New LED Holder Designs Simplify Assembly, Lower Costs**, 2014. Disponível em: <<https://www.digikey.com/en/articles/techzone/2014/oct/new-led-holder-designs-simplify-assembly-lower-costs>>. Acesso em: 13 junho 2019.

DIGIKEY. Revista eletrônica. **Power Line Communication: Hard-wired for a Street-wise Approach to Connected Lighting**, 2016. Disponível em: <<https://www.digikey.com/en/articles/techzone/2016/apr/power-line-communication-hard-wired-for-a-street-wise-approach-to-connected-lighting>>. Acesso em: 2 maio 2019.

DOE. Portal do U.S. Department of Energy. **Understanding LED color-tunable products**, 2016. Disponível em: <<https://energy.gov/eere/ssl/understanding-led-color-tunable-products>>. Acesso em: 31 outubro 2017.

DOE. Portal do U.S. Department of Energy. **Connected Lighting Systems**, 2016. Disponível em: <<https://energy.gov/eere/ssl/connected-lighting-systems>>. Acesso em: 31 outubro 2017.

DOE. **Caliper: Snapshot Outdoor Area Lighting**. [S.l.]: U.S. Department of Energy, 2017. Disponível em: <[https://www.energy.gov/sites/prod/files/2017/10/f37/snapshot2017\\_outdoor-area.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2017/10/f37/snapshot2017_outdoor-area.pdf)>. Acesso em: 11 novembro 2017.

DOE. **CLS Interoperability Study Part 1: Application Programming Interfaces**. Alexandria: Pacific Northwest National Laboratory prepared for Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, U.S. Department of Energy - DOE, 2017. 54 p. Disponível em: <[https://energy.gov/sites/prod/files/2017/11/f39/cls\\_interoperability-pt1api\\_o](https://energy.gov/sites/prod/files/2017/11/f39/cls_interoperability-pt1api_o)>. Acesso em: 23 outubro 2017.

DSIGNO. Blog de Design. **Contraste**, 2018. Disponível em: <<https://www.dsigno.es/blog/disen-de-interiores/los-siete-contrastes-del-color-de-johannes-itten>>. Acesso em: 11 setembro 2018.

DUSTDAR, S.; NASTIĆ, S.; ŠĆEKIĆ, O. **Smart Cities: The Internet of Things, People and Systems**. Viena: Springer International Publishing, 2017. 274 p.

EATON. Página da empresa. **Roadway Lighting**, 2019. Disponível em: <[http://www.cooperindustries.com/content/public/en/lighting/products/roadway\\_lighting.html](http://www.cooperindustries.com/content/public/en/lighting/products/roadway_lighting.html)>. Acesso em: 13 junho 2019.

EDP. **Manual de Iluminação Pública**. Coimbra: EDP Distribuição e ISR-UC Coimbra, 2016. Disponível em: <<https://www.edpdistribuicao.pt/sites/edd/files/2019-04/Manual%20Iluminacao%20Publica.pdf>>. Acesso em: 22 outubro 2018.

ELECTROSMOG. Blog científico. **Distribuição Espectral da Energia**, 2018. Disponível em: <[https://electrosmogportugal.weebly.com/uploads/1/2/3/3/123313372/comparativo-luminoso\\_1\\_orig.png](https://electrosmogportugal.weebly.com/uploads/1/2/3/3/123313372/comparativo-luminoso_1_orig.png)>. Acesso em: 03 junho 2019.

ELETROBRAS. **Edital de Chamada Pública PROCEL Reluz – 01/2017 - Projetos De Iluminação Pública – LED**. Rio de Janeiro: Centrais Elétricas Brasileiras - ELETROBRAS, 2017. Disponível em: <[http://eletrobras.com/pt/AreasdeAtuacao/Chamada\\_Publica\\_Procel\\_Reluz/Edital\\_Chamada\\_Publica\\_Procel\\_Reluz\\_2017.pdf](http://eletrobras.com/pt/AreasdeAtuacao/Chamada_Publica_Procel_Reluz/Edital_Chamada_Publica_Procel_Reluz_2017.pdf)>. Acesso em: 14 novembro 2017.

EPE. **Balanco Energético Nacional – 2017**. Brasília: Empresa de Pesquisa Energética - EPE, Ministério de Minas e Energia – MME, 2017. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final\\_2017\\_Web.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2017_Web.pdf)>. Acesso em: 26 agosto 2017.

ERDM. Página da empresa. **Glossary - Data Attribute**, 2019. Disponível em: <<https://www.edrm.net/glossary/data-attribute/>>. Acesso em: 10 julho 2019.

ESPRESSIF. Página da empresa. **ESP32 WROOM Series**, 2019. Disponível em: <<https://www.espressif.com/en/products/hardware/esp-wroom-32/overview>>. Acesso em: 25 junho 2019.

FACTORLED. Página da empresa. **Módulo Óptico LED 40W LUMILEDS para Farola**, 2019. Disponível em: <<https://www.factorled.com/es/lamparas-y-modulos-para-farolas-led/1225-modulo-led-para-farola-8400000000505.html>>. Acesso em: 22 junho 2019.

FGV. **Cidades Inteligentes e Mobilidade Urbana**. Cadernos FGV Projetos. 3ª Ed. Bilingue. ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas - FGV, 2015. 117 p. Disponível em: <[https://fgvprojetos.fgv.br/sites/fgvprojetos.fgv.br/files/cadernos\\_fgvprojetos\\_smart\\_cities\\_bilingue-final-web.pdf](https://fgvprojetos.fgv.br/sites/fgvprojetos.fgv.br/files/cadernos_fgvprojetos_smart_cities_bilingue-final-web.pdf)>. Acesso em: 2 maio 2017.

FIBROMETAL. Página da empresa. **Postes decorativos**, 2018. Disponível em: <<http://www.fibrometal.com.br/Produtos/1/1/0/Poste-Decorativo>>. Acesso em: 16 junho 2019.

FNE. Página da Federação Nacional dos Engenheiros. **Ação Civil Pública contra o Encontro de Contas**, 2018. Disponível em: <[https://www.fne.org.br/upload/A%C3%A7%C3%A3o\\_Civil\\_P%C3%BAblica\\_ANEEL\\_-\\_Encontro\\_de\\_Contas.pdf](https://www.fne.org.br/upload/A%C3%A7%C3%A3o_Civil_P%C3%BAblica_ANEEL_-_Encontro_de_Contas.pdf)>. Acesso em: 02 julho 2019.

FNP. **Anuário Multi Cidades Ano 13: Finanças dos Municípios do Brasil**. Vitória: Aequus Consultoria para Frente Nacional dos Prefeitos - FNP, 2018. 195 p. Disponível em: <<http://multimidia.fnp.org.br/biblioteca/publicacoes/item/683-multi-cidades-ano-13-2018>>. Acesso em: 23 setembro 2018.

FONSECA, A. P. DocPlayer (Página de hospedagem de documentos). **Iluminação Externa - Iluminação Pública Monumentos Fachadas Vias e Parques - Apresentação de Slides**, 2017. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/50208657-Iluminacao-publica-monumentos-fachadas-vias-e-parques.html>>. Acesso em: 3 fevereiro 2018.

FULHAM. Página da empresa. **Drivers para LED**, 2018. Disponível em: <[https://www.fulham.com/wp-content/uploads/2016/05/LED\\_drivers.jpg](https://www.fulham.com/wp-content/uploads/2016/05/LED_drivers.jpg)>. Acesso em: 3 fevereiro 2019.

GODOY, P. Iluminação Pública e Urbana: Capítulo IX - Iluminação Urbana. **O Setor Elétrico**, São Paulo, n. 116, Setembro 2015. Disponível em: <[http://www.oseletrico.com.br/wp-content/uploads/documentos/fasciculos/ed-116\\_Fasciculo\\_Cap-IX-Iluminacao-publica-e-urbana.pdf](http://www.oseletrico.com.br/wp-content/uploads/documentos/fasciculos/ed-116_Fasciculo_Cap-IX-Iluminacao-publica-e-urbana.pdf)>. Acesso em: 2 outubro 2018.

GOLDSMITH, S.; CRANFORD, S. **The responsive city: engaging communities through data-smart governance**. San Francisco: Jossey-Bass, 2014. 202 p.

GREEN CREATIVE. Página da empresa. **HID Retrofit**, 2019. Disponível em: <<https://greencreative.com/product-category/lamps/hid-retrofit/>>. Acesso em: 03 junho 2019.

GREEN IDEAS TECHNOLOGY CO., LTD. Revista eletrônica do Taiwan Source Service Provider - CENS. **Green Ideas Technology Introduces Blind-spot-free Smart Lighting Control System**, 2015. Disponível em: <[https://www.cens.com/cens/html/en/news/news\\_inner\\_48111.html](https://www.cens.com/cens/html/en/news/news_inner_48111.html)>. Acesso em: 11 novembro 2018.

HIRIA. **Report do evento - Fórum Ilumina Brasil**. São Paulo: HIRIA, 2018. Elaborado por Larissa Paredes Muse. Documento privativo da empresa, distribuído apenas aos pagantes do evento. Mídia: PDF e áudio. Para solicitação do documento, acessar <https://www.pppforumip.com.br/>.

IBAM. **Curso online: Gestão do Sistema de Iluminação Pública**. Instituto Brasileiro de Administração Municipal - IBAM. Rio de Janeiro. 2018.

IDA. **Visibility, Environmental, and Astronomical Issues Associated with Blue-Rich White Outdoor Lighting**. Washington: International Dark-Sky Association - IDA, 2010. 23 p. Disponível em: <[https://www.darksky.org/wp-content/uploads/bsk-pdf-manager/8\\_IDA-BLUE-RICH-LIGHT-WHITE-PAPER.PDF](https://www.darksky.org/wp-content/uploads/bsk-pdf-manager/8_IDA-BLUE-RICH-LIGHT-WHITE-PAPER.PDF)>. Acesso em: 15 novembro 2017.

IDC. Documento da empresa Ruckus Wireless. **The Role of Public Wi-Fi in Enabling Smart Cities**, 2017. Disponível em: <<https://ruckus-www.s3.amazonaws.com/pdf/other/role-of-public-wifi.pdf>>. Acesso em: 11 julho 2019.

IEA. **Light's Labour's Lost: Policies for Energy-efficient Lighting**. Paris: International Energy Agency - IEA, 2006. Disponível em: <<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/light2006.pdf>>. Acesso em: 28 setembro 2018.

IEA. **Energy Efficiency of the Internet of Things: Technology and Energy Assessment Report Prepared for IEA 4E EDNA**. Paris: International Energy Agency - IEA, 2016. Disponível em: <<https://www.iea-4e.org/document/384/energy-efficiency-of-the-internet-of-things-technology-and-energy-assessment-report>>. Acesso em: 4 dezembro 2018.

IEA. **Solid State Lighting Annex: Task 7: Smart Lighting – New Features Impacting Energy Consumption**. Paris: International Energy Agency - IEA, v. First Status Report (set. 2016), 2016. Disponível em: <[https://ssl.iea-4e.org/files/otherfiles/0000/0085/SSL\\_Annex\\_Task\\_7\\_-\\_First\\_Report\\_-\\_6\\_Sept\\_2016.pdf](https://ssl.iea-4e.org/files/otherfiles/0000/0085/SSL_Annex_Task_7_-_First_Report_-_6_Sept_2016.pdf)>. Acesso em: 24 outubro 2017.

IEC ETECH. Revista eletrônica da International Electrotechnical Commission IEC. **Operators control city lighting remotely**, 2016. Disponível em: <[https://www.iecetech.org/var/etech/storage/images/media/images/2016-12/operators-control-city-lighting-remotely/83645-1-eng-US/Operators-control-city-lighting-remotely\\_gallery.jpg](https://www.iecetech.org/var/etech/storage/images/media/images/2016-12/operators-control-city-lighting-remotely/83645-1-eng-US/Operators-control-city-lighting-remotely_gallery.jpg)>. Acesso em: 30 abril 2019.

IEEE. **Towards a Definition of the Internet of Things (IoT)**. Piscataway: Institute of Electrical and Electronics Engineers - IEEE, 2015. 86 p. Disponível em: <[https://iot.ieee.org/images/files/pdf/IEEE\\_IoT\\_Towards\\_Definition\\_Internet\\_of\\_Things\\_Revision1\\_27MAY15.pdf](https://iot.ieee.org/images/files/pdf/IEEE_IoT_Towards_Definition_Internet_of_Things_Revision1_27MAY15.pdf)>. Acesso em: 11 janeiro 2019.

IEEE. **IEEE P2413.1 - Standard for a Reference Architecture for Smart City (RASC)**. Piscataway: Institute of Electrical and Electronics Engineers - IEEE, 2018. Disponível em: <[https://standards.ieee.org/project/2413\\_1.html](https://standards.ieee.org/project/2413_1.html)>. Acesso em: 30 junho 2019.

IEEE. **IEEE 2413-2019 - IEEE Approved Draft Standard for an Architectural Framework for the Internet of Things (IoT)**. Piscataway: Institute of Electrical and Electronics Engineers - IEEE, 2019. Disponível em: <<https://standards.ieee.org/content/ieee-standards/en/standard/2413-2019.html>>. Acesso em: 30 junho 2019.

IESNA. **IESNA Lighting Handbook – 10th Edition. Reference and Application**. 10ª. ed. Nova Iorque: Illuminating Engineering Society of North America - IESNA, 2011. 1087 p.

IESNA. Página da instituição. **Response to AMA report on Outdoor Lighting**, 24 junho 2016. Disponível em: <<https://www.ies.org/outreach/policy-briefsdocuments/response-to-ama-report-on-outdoor-lighting/>>. Acesso em: 20 setembro 2017.

IESNA. **IES TM-18-18 Light and Human Health: An Overview of the Impact of Optical Radiation on Visual, Circadian, Neuroendocrine, and Neurobehavioral Responses**. Nova Iorque: Illuminating Engineering Society of North America - IESNA, 2018. 23 p. Disponível em: <<https://www.ies.org/product/light-and-human-health-an-overview-of-the-impact-of-optical-radiation-on-visual-circadian-neuroendocrine-and-neurobehavioral-responses/>>. Acesso em: 20 dezembro 2018.

ILUCTRON. Página da empresa. **Fotocélula**, 2019. Disponível em: <<http://www.iluctron.com.br/uploads/produtos/fotocelula/fotocelula-iluctron-led-technology-detalhe-1555506665805-iltic.jpg>>. Acesso em: 15 junho 2019.

ILUMATIC. Página da empresa. **Luminaria Publica ILP**, 2018. Disponível em: <<http://www.ilumatic.com.br/img/produtos/grandes/foto-Luminaria-Publica-ILP-7010-Selkis-III-1.jpg>>. Acesso em: 15 junho 2019.

ILUNATO. Página da empresa. **Lâmpadas de Descarga**, 2019. Disponível em: <<https://www.ilunato.com.br/blog?single=Descarga>>. Acesso em: 12 junho 2019.

INDUCTION LIGHTING FIXTURES. 150 Watt LED Retrofit Module & 480 vac External LED Driver 5000K Optional Yoke Mount. **Induction Lighting Fixtures - Product Catalog**, 2017. Disponível em: <<https://www.inductionlightingfixtures.com/media/product/0de/150-watt-led-retrofit-module-480-vac-external-led-driver-5000k-optional-yoke-mount-445.png>>. Acesso em: 22 junho 2019.

INMETRO. **Portaria nº 20, de 15 de fevereiro de 2017**. Brasília: Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - INMETRO, 2017. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002452.pdf>>. Acesso em: 8 outubro 2017.

INMETRO. Página da instituição. **Luminárias LED certificadas**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/prodcert/certificados/lista.asp>>. Acesso em: 7 janeiro 2019.

ISO. **ISO/IEC TR 24704: 2004(en): Information technology — Customer premises cabling for wireless access points**. Genebra: International Organization for Standardization - ISO, 2004. Disponível em: <<https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso-iec:tr:24704:ed-2:v1:en:term:3.1.5>>. Acesso em: 16 março 2019.

ISO. **ISO/IEC/IEEE 42010**: 2011 - Systems and software engineering -- Architecture description. Genebra: International Organization for Standardization - ISO, 2011. Disponível em: <<https://www.iso.org/standard/50508.html>>.

ISO. **ISO/IEC 11179-3**: 2013 - Information technology -- Metadata registries (MDR) -- Part 3: Registry metamodel and basic attributes. Genebra: International Organization for Standardization - ISO, 2013. Disponível em: <<https://www.iso.org/standard/50340.html>>. Acesso em: 12 julho 2019.

ISO. **ISO/IEC 2382**: 2015(en): Information technology — Vocabulary. Genebra: International Organization for Standardization - ISO, 2015. Disponível em: <<https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso-iec:2382:ed-1:v1:en:term:2121277>>. Acesso em: 16 março 2019.

ISO. **ISO/IEC 9075-2**: 2016 Information technology -- Database languages -- SQL -- Part 2: Foundation (SQL/Foundation). Genebra: International Organization for Standardization - ISO, 2016. Disponível em: <<https://www.iso.org/standard/63556.html>>. Acesso em: 10 julho 2019.

ISO. **ISO/IEC 19941**: 2017(en) Information technology — Cloud computing — Interoperability and portability. Genebra: International Organization for Standardization - ISO, 2017. Disponível em: <<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:19941:ed-1:v1:en:term:3.1.1>>. Acesso em: 30 junho 2019.

ISO. **ISO/IEC 20924**: 2018(en): Information technology — Internet of Things (IoT) — Vocabulary. Genebra: International Organization for Standardization - ISO, 2018. Disponível em: <<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:20924:ed-1:v1:en>>. Acesso em: 6 março 2019.

ISO. **ISO/IEC 29138-1**: 2018(en): Information technology — User interface accessibility — Part 1: User accessibility needs. Genebra: International Organization for Standardization - ISO, 2018. Disponível em: <<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:29138:-1:ed-1:v1:en:term:3.3>>. Acesso em: 6 março 2019.

ISO. **ISO/IEC 30141**: 2018(en): Internet of Things (IoT) — Reference Architecture. Genebra: International Organization for Standardization - ISO, 2018. Disponível em: <<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:30141:ed-1:v1:en>>. Acesso em: 31 março 2018.

ISO. Portal de notícias da International Organization for Standardization - ISO. **Stronger cities for the future**: a new set of International Standards just out, 6 julho 2018. Disponível em: <<https://www.iso.org/news/ref2305.html>>. Acesso em: 30 setembro 2018.

ISO. **ISO 37122**: 2019 Sustainable development in communities - Indicators for Smart Cities. Genebra: International Organization for Standardization - ISO, 2019. Disponível em: <<https://www.iso.org/standard/69050.html>>. Acesso em: 14 abril 2019.



ITU. **ITU-T Y.2060: Overview of the Internet of Things**. Genebra: International Communications Union - ITU, 2012. Disponível em: <[https://www.itu.int/rec/dologin\\_pub.asp?lang=e&id=T-REC-Y.2060-201206-I!PDF-E&type=items](https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-Y.2060-201206-I!PDF-E&type=items)>. Acesso em: 12 março 2019.

JUNIPER RESEARCH. **Smart Cities: Leading Platforms, Segment Analysis & Forecasts 2019-2023**. Londres: [s.n.], 2019. Disponível em: <<https://www.juniperresearch.com/researchstore/iot-m2m/smart-cities>>. Acesso em: 01 maio 2019.

LEDINSIDE. Revista eletrônica. **Eaton Launches Security Camera System to be Integrated with Its LED Lighting Fixtures**, 2018. Disponível em: <[https://www.ledinside.com/products/2018/10/eaton\\_launches\\_security\\_camera\\_system\\_to\\_be\\_integrated\\_with\\_its\\_led\\_lighting\\_fixtures](https://www.ledinside.com/products/2018/10/eaton_launches_security_camera_system_to_be_integrated_with_its_led_lighting_fixtures)>. Acesso em: 28 junho 2019.

LEITE, C.; AWAD, J. D. C. M. **Cidades sustentáveis cidades inteligentes. Desenvolvimento sustentável num planeta urbano**. 1ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012. 264 p.

LIBRAREPRES. Página da empresa. **Chave Magnética**, 2012. Disponível em: <<https://www.librarepres.com.br/sti/j.jpg>>. Acesso em: 15 junho 2019.

LIGHT EFFICIENT DESIGN. HID Retrofit Kits. **Portal da empresa**, 2018. Disponível em: <<https://www.led-llc.com/retrofit-kits>>. Acesso em: 08 junho 2019.

LIGHTING RESEARCH CENTER. Página da Lighting Research Center - LRC, Rensselaer Polytechnic Institute. **Light pollution**, 2018. Disponível em: <<https://www.lrc.rpi.edu/programs/nlpip/lightinganswers/lightpollution/img/figure4.jpg>>. Acesso em: 11 outubro 2018.

LUMILEDS. Página da empresa. **High Power LEDs**, 2019. Disponível em: <<https://www.lumileds.com/products/high-power-leds>>. Acesso em: 22 junho 2019.

MAGRANI, E. **A Internet das Coisas**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas - FGV, 2018. 190 p.

MANCHESTER, J. Revista eletrônica Forbes. **Software Revolution, Part II: The Shift to Cloud Computing**, 2013. Disponível em: <<https://www.forbes.com/sites/truebridge/2013/09/25/software-revolution-part-ii-the-shift-to-cloud-computing/#6025831f49a8>>. Acesso em: 14 março 2019.

MARZ, N.; WARREN, J. **Big Data: Principles and Best Practices of Scalable Real-time Data Systems**. Shelter Islands: Manning Publications, 2015. 299 p.

MCCARTHY, K. SlidePlayer (Página de hospedagem de documentos). **Climate The average weather conditions for an area over a long period of time - Apresentação de Slides**, 2018. Disponível em: <<https://slideplayer.com/slide/13299951/79/images/8/Seasons.jpg>>. Acesso em: 1 julho 2019.

MICROSOFT. Página da empresa. **Announcing ArcGIS Maps for Power BI by Esri (Preview)**, 2016. Disponível em: <<https://powerbi.microsoft.com/en-us/blog/announcing-arcgis-maps-for-power-bi-by-esri-preview/>>. Acesso em: 11 julho 2019.

MICROSOFT. Página da empresa. **The emerging big data architectural pattern**, 2018. Disponível em: <<https://azure.microsoft.com/en-in/blog/the-emerging-big-data-architectural-pattern/>>. Acesso em: 03 julho 2019.

MICROSOFT. Página da empresa. **Lesson 7: Defining Key Performance Indicators (KPIs)**, 2019. Disponível em: <<https://docs.microsoft.com/en-us/sql/analysis-services/multidimensional-tutorial/lesson-7-defining-key-performance-indicators-kpis?view=sql-server-2017>>. Acesso em: 04 julho 2019.

MICROSOFT. Página da empresa. **Tutorial: Monitor your IoT devices**, 2019. Disponível em: <<https://docs.microsoft.com/en-us/azure/iot-accelerators/iot-accelerators-remote-monitoring-monitor>>. Acesso em: 05 julho 2019.

MICROSOFT. Página da empresa. **Civica Digital - Local Government Traffic Policymaking**, 2019. Disponível em: <<https://powerbi.microsoft.com/en-us/partner-showcase/civica-digital-local-government-traffic-policymaking/>>. Acesso em: 11 julho 2019.

MICROSOFT. Portal edX Courses. **IoT Business Verticals**, 2019. Disponível em: <[https://courses.edx.org/courses/course-v1:Microsoft+DEV296x+2T2019/courseware/7eaa0656-f735-7cc1-1e45-b287c5cb9f68/d2e3a8a1-3554-6217-0e55-5441a7a837a9/1?activate\\_block\\_id=block-v1%3AMicrosoft%2BDEV296x%2B2T2019%2Btype%40vertical%2Bblock%40056c1daf-9c00-0](https://courses.edx.org/courses/course-v1:Microsoft+DEV296x+2T2019/courseware/7eaa0656-f735-7cc1-1e45-b287c5cb9f68/d2e3a8a1-3554-6217-0e55-5441a7a837a9/1?activate_block_id=block-v1%3AMicrosoft%2BDEV296x%2B2T2019%2Btype%40vertical%2Bblock%40056c1daf-9c00-0)>. Acesso em: 03 julho 2019.

MICROSOFT. Portal edX Courses. **The IoT Solution**, 2019. Disponível em: <<https://prod-edxapp.edx-cdn.org/assets/courseware/v1/2bdb0daa6743d373dd52dd52b4912648/asset-v1:Microsoft+DEV296x+1T2019a+type@asset+block/IOTdiagram.png>>. Acesso em: 03 julho 2019.

MME. **Plano Nacional de Eficiência Energética: Premissas e Diretrizes Básicas**. Brasília: Departamento de Desenvolvimento Energético, Ministério de Minas e Energia - MME, v. 18/10/2011, 2011. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1432134/Plano+Nacional+Eficiência+Energética+%28PDF%29/74cc9843-cda5-4427-b623-b8d094ebf863?version=1.1>>. Acesso em: 16 junho 2017.

MME. **Iluminação Pública Municipal**: Programas e Políticas Públicas, Orientações Para Gestores Municipais. Brasília: Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético, Ministério de Minas e Energia - MME, 2018. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/documents/10584/0/Livreto+Iluminação+Pública\\_2018\\_02\\_19.pdf/b47c5c44-eebd-4556-ab10-53a1bbba1a42](http://www.mme.gov.br/documents/10584/0/Livreto+Iluminação+Pública_2018_02_19.pdf/b47c5c44-eebd-4556-ab10-53a1bbba1a42)>. Acesso em: 21 agosto 2018.

MOORE, G. **Cramming More Components onto Integrated Circuits**. [S.l.]: Electronics Magazine Vol. 38, No. 8., 1965. Disponível em: <<https://newsroom.intel.com/wp-content/uploads/sites/11/2018/05/moores-law-electronics.pdf>>. Acesso em: 11 abril 2019.

MUTHANNA, M. S. A. et al. Development of intelligent street lighting services model based on LoRa technology. **2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering**, Moscou, 2018. p. 90-93. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8317037>>. Acesso em: 23 fevereiro 2019.

NEXTGENLOG. Página da internet. **#Algorithms**: "Smart Framework Enables Internet-of-Things", 2012. Disponível em: <<http://nextgenlog.blogspot.com/2012/10/algorithms-smart-framework-enables.html>>. Acesso em: 30 junho 2019.

OBSERVATÓRIO NACIONAL. Página do Observatório Nacional. **Anuário Interativo do Observatório Nacional**, 2019. Disponível em: <<http://staff.on.br/jlkm/ephemeris/index.php>>. Acesso em: 01 julho 2019.

ONU. Página da Organização das Nações Unidas. **Objetivos do Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <<https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>>. Acesso em: 2 maio 2018.

OPULENT AMERICAS. Página da Empresa. **MOD Blocks**, 2017. Disponível em: <<http://opulent-americas.com/modblocks/>>. Acesso em: 22 junho 2019.

ORTT, G. Página da Illuminating Engineering Society - IES. **Crime Prevention Through Environmental Design**, 21 mar. 2017. Disponível em: <<https://www.ies.org/lda/crime-prevention-through-environmental-design/>>. Acesso em: 01 novembro 2018.

OSLEDER. Página da empresa. **LED Street Light**, 2018. Disponível em: <<http://www.osleder.com/wp-content/uploads/2015/06/LED-Street-Light-a-series-120w-10.jpg>>. Acesso em: 14 novembro 2018.

OUR WORLD IN DATA. Página da intuição. **Transistor Count over time**, 2013. Disponível em: <<https://ourworldindata.org/uploads/2013/05/Transistor-Count-over-time.png>>. Acesso em: 4 abril 2019.

PANTECH SOLUTIONS. Página da empresa. **Circuit diagram for monitoring Humidity and Temperature in IOT cloud**, 2018. Disponível em:

<[https://www.pantechsolutions.net/media/wysiwyg/Circuit\\_diagram\\_for\\_monitoring\\_Humidity\\_and\\_Temperature\\_in\\_IOT\\_cloud.JPG](https://www.pantechsolutions.net/media/wysiwyg/Circuit_diagram_for_monitoring_Humidity_and_Temperature_in_IOT_cloud.JPG)>. Acesso em: 3 abril 2019.

PHILIPS LIGHTING. Página da empresa. **Poles and brackets**, 2018. Disponível em: <<http://www.lighting.philips.com/main/prof/outdoor-luminaires/road-and-urban-lighting/poles-and-brackets>>. Acesso em: 02 junho 2019.

PHILIPS LIGHTING. Página da empresa. **Design-in Guide – Fortimo FastFlex IP**, 2018. Disponível em: <[http://www.docs.lighting.philips.com/en\\_gb/oem/download/outdoor-led-systems/Design\\_in\\_Guide\\_Fortimo\\_FastFlex\\_IP.pdf](http://www.docs.lighting.philips.com/en_gb/oem/download/outdoor-led-systems/Design_in_Guide_Fortimo_FastFlex_IP.pdf)>. Acesso em: 22 junho 2019.

PINTO, M. F. **Sistema inteligente para monitoração, gerenciamento e controle de iluminação pública e análise de parâmetros da rede elétrica**. Juiz de Fora: Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, 2013. 116 p. Disponível em: <<https://repositorio.ufjf.br/jspui/bitstream/ufjf/361/1/milenafariapinto.pdf>>. Acesso em: 28 setembro 2017.

PRO PHOTONIX. Página da empresa. **Packaged LED array vs. Chip-On-Board LED Array**, 2018. Disponível em: <<https://www.prophotonix.com/resources/technical-overviews/led-array-methods/>>. Acesso em: 8 novembro 2018.

PROCEL. **Manual de Iluminação Procel**. Rio de Janeiro: Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL, 2011. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/MANUAL%20DE%20ILUMINACAO%20-%20PROCEL\\_EPP%20-AGOSTO%202011.pdf](http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/MANUAL%20DE%20ILUMINACAO%20-%20PROCEL_EPP%20-AGOSTO%202011.pdf)>. Acesso em: 12 setembro 2018.

PROCEL. **Critérios para a Concessão do Selo Procel de Economia de Energia a Luminárias LED para Iluminação Pública**: (documento complementar ao regulamento para concessão do selo PROCEL de economia de energia). Rio de Janeiro: Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL, 2017. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BB70B5A3C-19EF-499D-B7BC-D6FF3BABA5FA%7D>>. Acesso em: 4 outubro 2018.

PROCEL. **Segundo Plano Anual de Aplicação de Recursos do PROCEL (PAR PROCEL 2017)**. Rio de Janeiro: Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL, 2017. 42 p. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/5163596/Plano+de+Aplica%C3%A7%C3%A3o+de+Recursos+do+PROCEL+PAR+2017.pdf/3cd345eb-be0a-499b-99d3-760e0f9334de>>. Acesso em: 15 julho 2019.

PROCEL. **Plano Anual de Aplicação de Recursos do PROCEL (PAR PROCEL 2018)**. Rio de Janeiro: Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL, 2018. 136 p. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/656831/17806967/PAR+PROCEL+2018/8e1011fb-cae4-7a3a-6b6a-ca16b26966b6>>. Acesso em: 15 julho 2019.

PROCEL INFO. Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética do PROCEL - Notícias e Reportagens. **A Eletrobras, por meio do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, torna público o lançamento da Chamada Pública PROCEL RELUZ.**, 10 novembro 2017. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?ViewID=%7BF5EAADD6-CCB0-4E29-A0C4-482D3D66BB65%7D&params=itemID=%7BC9A62323-530B-4EF8-B804-B14AEB547DA5%7D;&UIPartUID=%7BD90F22DB-05D4-4644-A8F2-FAD4803C8898%7D>>. Acesso em: 29 novembro 2017.

PROCEL INFO. Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética do PROCEL - Página principal. **Sobre o Procel.** Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID=%7b921E566A-536B-4582-AEAF-7D6CD1DF1AFD%7d>>. Acesso em: 2 fevereiro 2019.

RAPIDLED. Página da empresa. **Heatsinks - 6" Premium enclosed**, 2019. Disponível em: <<https://www.rapidled.com/premium-enclosures/>>. Acesso em: 22 junho 2019.

RIO PREFEITURA. Página da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro. **Portal Data.Rio**, 2017. Disponível em: <<http://www.data.rio/>>. Acesso em: 30 julho 2019.

RIZZATTI, L. Revista eletrônica EE Times. **Digital Data Storage is Undergoing Mind-Boggling Growth**, 2016. Disponível em: <[https://www.eetimes.com/author.asp?section\\_id=36&doc\\_id=1330462#](https://www.eetimes.com/author.asp?section_id=36&doc_id=1330462#)>. Acesso em: 11 março 2019.

SCHLICKMAN, E. Revista eletrônica Urban Omnibus, The Architectural League of New York. **Direcionalidade do feiche de luz**, 2018. Disponível em: <[https://273aiv293ycr20z8q53p7o04-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/sites/2/2018/06/06\\_uplight\\_ft.jpg](https://273aiv293ycr20z8q53p7o04-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/sites/2/2018/06/06_uplight_ft.jpg)>. Acesso em: 26 setembro 2018.

SCHWAB, K. **A Quarta Revolução Industrial**. Tradução de Daniel Moreira Miranda. 1ª. ed. São Paulo: Edipro, 2016. 114 p.

SHI, F. et al. A Survey of Data Semantization in Internet of Things. **Sensors**, Basel, 18, 22 Janeiro 2018. 1-20. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1424-8220/18/1>>. Acesso em: 17 julho 2019.

SILVA, N. F. V. D. **Iluminação LED – Avaliação Económica e Ambiental**. Porto: Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 2013. 93 p. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/68544/2/26593.pdf>>. Acesso em: 20 outubro 2017.

SOUZA, D. R. D. Slideshare (Página de Compartilhamento de Apresentações). **Arquitetura básica dos dispositivos IoT - Apresentação de Slides**, 14 maio 2018. Disponível em: <<https://image.slidesharecdn.com/iotarduino-180514125707/95/iot-arduino-8-638.jpg?cb=1526303296>>. Acesso em: 8 abril 2019.

SRI. **Disruptive Technologies Global Trends 2025: Appendix F - The Internet of Things** (Background). Menlo Park: SRI Consulting Business Intelligence / National Intelligence Council, 2008. 19 p. Disponível em: <<http://web2.vsevtme.ru/attachments/show?content=6799>>. Acesso em: 23 junho 2019.

STEVENS, R. G. et al. Adverse Health Effects of Nighttime Lighting. **American Journal of Preventive Medicine**, 45, n. 3, Setembro 2013. 343–346. Disponível em: <[http://selene-ny.org/wp-content/uploads/2013/11/ama\\_preventive\\_medicine.pdf](http://selene-ny.org/wp-content/uploads/2013/11/ama_preventive_medicine.pdf)>. Acesso em: 8 novembro 2018.

SUNRISELED. Página da empresa. **Polara Flood Light Series**, 2019. Disponível em: <[https://www.sunriseled.com/wp-content/uploads/2016/10/polara\\_lght\\_pic2.png](https://www.sunriseled.com/wp-content/uploads/2016/10/polara_lght_pic2.png)>. Acesso em: 22 junho 2019.

SWANSON, G. A.; CARLSON, C. A. . **Cost-Benefit Analysis of Energy Efficient Technologies Available for use in Roadway Lighting**. Chanhassen: Minnesota Department of Commerce, 2012. Disponível em: <<https://library.cee1.org/content/cost-benefit-analysis-energy-efficient-technologies-available-use-roadway-lighting>>. Acesso em: 8 setembro 2017.

SWITZER CLOUD. Página da empresa. **SmartCity Dashboard IoT Colibird**, 2019. Disponível em: <[https://switzer.cloud/images/Switzercloud/colibird/SmartCity\\_Dashboard\\_IoT\\_Colibird.png](https://switzer.cloud/images/Switzercloud/colibird/SmartCity_Dashboard_IoT_Colibird.png)>. Acesso em: 19 março 2019.

TECHPLAYON. Revista eletrônica. **Avanços tecnológico nos circuitos de semicondutores**, 18 julho 2017. Disponível em: <<http://www.techplayon.com/deos-mean-90nm-45nm-5nm-technology-ends-moores-law-coming-trends-technology/>>. Acesso em: 12 abril 2019.

TEIXEIRA, I.; RIVERA, R.; REIFF, L. O. Iluminação LED: sai Edison, entram Haitz e Moore benefícios e oportunidades para o país. **BNDES Setorial 43. Tecnologias da Informação e Comunicação**, Rio de Janeiro, 2016. 363-412. Disponível em: <[https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/9576/2/BS%2043%20Ilumina%C3%A7%C3%A3o%20LED%20sai%20Edison%2C%20entram%20Haitz%20e%20Moore\\_P\\_BD.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/9576/2/BS%2043%20Ilumina%C3%A7%C3%A3o%20LED%20sai%20Edison%2C%20entram%20Haitz%20e%20Moore_P_BD.pdf)>. Acesso em: 24 setembro 2018.

THE WORLD BANK. **Iluminando Cidades Brasileiras - Modelos de negócio para Eficiência Energética em Iluminação Pública**. Washington: Energy Sector Management Assistance Program, 2016. 123 p. Disponível em: <<https://multimidia.fnp.org.br/biblioteca/documentos/item/445-relatorio-iluminando-cidades-brasileiras-modelos-de-negocio-para-eficiencia-energetica-em-iluminacao-publica-publicado-pelo-banco-mundial>>. Acesso em: 11 outubro 2018.

TOMA, I.; SIMPERL, E.; HENCH, G. **A joint roadmap for semantic technologies and the Internet of Things**. 3rd STI Roadmapping Workshop "Charting the next Generation of Semantic Technology" at the 6th European Semantic Web Conference (ESWC 2009). Creta: [s.n.]. 2009.

TRIDONIC. Página da empresa. **LED modules - LED linear/area**, 2019. Disponível em: <<https://www.tridonic.com/com/en/products/led-modules-linear-area.asp>>. Acesso em: 22 junho 2019.

TROBOTICS. Página da empresa. **ESP32 Development Board**, 2019. Disponível em: <<https://www.tertiaryrobotics.com/esp32-development-board.html>>. Acesso em: 25 junho 2019.

TRÓPICO. Página da empresa. **Luminárias**, 2019. Disponível em: <<http://tropico.com.br/wp-content/uploads/2015/02/TP-2100-PCT.jpg>>. Acesso em: 10 junho 2019.

UCHICAGO. **The Impact of Street Lighting on Crime in New York City Public Housing**. Chicago: Crime Lab New York, University of Chicago - UCHICAGO, 2017. Disponível em: <[http://urbanlabs.uchicago.edu/attachments/store/50eab357f0ee925539c8e72d1f0d6380d7ac0670bec31b63473c1dd7c5e2/Lights+report\\_10.20.17.pdf](http://urbanlabs.uchicago.edu/attachments/store/50eab357f0ee925539c8e72d1f0d6380d7ac0670bec31b63473c1dd7c5e2/Lights+report_10.20.17.pdf)>. Acesso em: 15 abril 2018.

UNIÃO EUROPEIA. **Regulamento (UE) 2016/679 de 27 de abril de 2016**. [S.l.]: [s.n.], 2016. Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=celex%3A32016R0679>>. Acesso em: 30 abril 2019.

VERMESAN, O. et al. Chapter 2 “Internet of Things Strategic Research Agenda”. In: VERMESAN, O.; FRIESS, P. **Internet of Things — Global Technological and Societal Trends**. Aalborg: River Publishers, 2011. p. 316.

VERMESAN, O.; FRIESS, P. **Internet of Things: Converging Technologies for Smart Environments and Integrated Ecosystems**. Aalborg: River Publishers, 2013. 363 p. Disponível em: <[http://www.internet-of-things-research.eu/pdf/Converging\\_Technologies\\_for\\_Smart\\_Environments\\_and\\_Integrated\\_Ecosystems\\_IERC\\_Book\\_Open\\_Access\\_2013.pdf](http://www.internet-of-things-research.eu/pdf/Converging_Technologies_for_Smart_Environments_and_Integrated_Ecosystems_IERC_Book_Open_Access_2013.pdf)>. Acesso em: 7 dezembro 2016.

VIVA DECORA. Revista eletrônica. **Componentes da lâmpada LED**, 2018. Disponível em: <<https://imagens-revista-pro.vivadecora.com.br/uploads/2018/02/lampada-led-esquentacomponentes-led.jpg>>. Acesso em: 2 novembro 2018.

VSC ILUMINAÇÃO LED. Página da empresa. **Iluminância**, 2017. Disponível em: <[http://iluminacaoledvsc.com.br/wp-content/uploads/2017/10/Figura-2\\_Galp%C3%B5es.jpg](http://iluminacaoledvsc.com.br/wp-content/uploads/2017/10/Figura-2_Galp%C3%B5es.jpg)>. Acesso em: 23 setembro 2018.

VSC ILUMINAÇÃO LED. Página da empresa. **Fluxo luminoso**, 2017. Disponível em: <[http://iluminacaoledvsc.com.br/wp-content/uploads/2017/10/Figura-1\\_Galp%C3%B5es.jpg](http://iluminacaoledvsc.com.br/wp-content/uploads/2017/10/Figura-1_Galp%C3%B5es.jpg)>. Acesso em: 23 setembro 2018.

VSC ILUMINAÇÃO LED. Página da empresa. **Luminância**, 2017. Disponível em: <[http://iluminacaoledvsc.com.br/wp-content/uploads/2017/10/Figura-3\\_Galp%C3%B5es.jpg](http://iluminacaoledvsc.com.br/wp-content/uploads/2017/10/Figura-3_Galp%C3%B5es.jpg)>. Acesso em: 23 setembro 2018.

VSC ILUMINAÇÃO LED. Página da empresa. **Curva de distribuição luminosa**, 2017. Disponível em: <[http://iluminacaoledvsc.com.br/wp-content/uploads/2017/10/Figura-5\\_Galp%C3%B5es.jpg](http://iluminacaoledvsc.com.br/wp-content/uploads/2017/10/Figura-5_Galp%C3%B5es.jpg)>. Acesso em: 23 setembro 2018.

W3C. Página da instituição. **W3C Semantic Web Activity**, 2013. Disponível em: <<https://www.w3.org/2001/sw/>>. Acesso em: 30 julho 2019.

WAVEFORM LIGHTING. Página da empresa. **LED Spectrum Simulator**, 2019. Disponível em: <<https://www.waveformlighting.com/led-spectrum-simulator/>>. Acesso em: 18 junho 2019.

YOON, H. C. et al. Research Gate (Página de compartilhamento de trabalhos científicos). **COB LED**, 2018. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/figure/Schematic-diagrams-of-the-on-chip-and-remote-configurations-on-COB-type-pc-LEDs\\_fig1\\_325047607](https://www.researchgate.net/figure/Schematic-diagrams-of-the-on-chip-and-remote-configurations-on-COB-type-pc-LEDs_fig1_325047607)>. Acesso em: 28 outubro 2018.



## **ANEXOS**

## ANEXO 1 - CONVENÇÕES E NORMAS TÉCNICAS SOBRE ILUMINAÇÃO PÚBLICA E AO LED APLICADAS NO BRASIL

<b>Relativas à Iluminação e Iluminação Pública</b>	
ABNT NBR 5461:1991	Iluminação (Terminologia)
ABNT NBR 5101:2018	Iluminação pública — Procedimento
ABNT NBR 5101:2012 Emenda 1:2018	Iluminação pública - Procedimento
ABNT NBR 5181:2013	Sistemas de iluminação de túneis — Requisitos
ABNT NBR IEC 60598-1:2010	Luminárias Parte 1: Requisitos gerais e ensaios
IEC 60598-2-3 Ed. 3.1 b	Luminaires - Part 2-3: Particular requirements - Luminaires for road and street lighting
ABNT NBR 15129:2012	Luminárias para Iluminação Pública — Requisitos particulares
ABNT NBR 13593:2011	Reator e ignitor para lâmpada a vapor de sódio a alta pressão – Especificações e ensaios
IEC 62722-1:2014	Luminaire performance - Part 1: General requirements
<b>Relativas ao LED</b>	
ABNT IEC/TS 62504:2013	Termos e definições para LEDs e os módulos de LED de iluminação geral
ABNT NBR IEC 62722-2-1:2016	Desempenho de luminárias. Parte 2-1: Requisitos particulares para luminárias LED
ABNT NBR IEC 62031:2013	Módulos de LED para iluminação em geral — Especificações de segurança
IEC 62717:2019	LED modules for general lighting - Performance requirements
ABNT NBR 16026:2012	Dispositivo de controle eletrônico C.C. ou C.A. para módulos de LED — Requisitos de desempenho
<b>Relativas aos Componentes do Sistema de Iluminação Pública</b>	
ABNT NBR 15688:2012 Versão Corrigida:2013	Redes de distribuição aérea de energia elétrica com condutores nus
ABNT NBR 5123:2016 Versão Corrigida:2016	Relé fotocontrolador intercambiável e tomada para iluminação — Especificação e ensaios
ABNT NBR IEC 60529:2017	Graus de proteção providos por invólucros (Códigos IP)
ABNT NBR 14744:2001	Poste de aço para iluminação
ABNT NBR NM 247-1:2002	Cabos isolados com policloreto de vinila (PVC) para tensões nominais até 450/750V, inclusive – Parte 1: Requisitos Gerais (IEC 60227-1, MOD)

Quadro 12 Normas Técnicas relativas à Iluminação Pública e ao LED

Fonte: Elaboração própria

## **ANEXO 2 - NORMAS BRASILEIRAS DE QUALIDADE, DESEMPENHO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DAS LÂMPADAS E LUMINÁRIAS DE LED**

Além das Normas Técnicas, no Brasil a regulamentação de requisitos mínimos de desempenho e segurança das lâmpadas e luminárias de LED é feito pelo Inmetro e a concessão de certificação de Economia de Energia é feita pela Eletrobrás (Selo PROCEL).

### **A. Norma de Qualidade e Desempenho**

A Portaria do INMETRO nº 20 de 15 de fevereiro de 2017 (INMETRO, 2017) estabelece os requisitos de desempenho e segurança das luminárias para Iluminação Pública viária com lâmpadas de descarga até 600 W e com tecnologia LED, tornando obrigatório o cumprimento deste Regulamento Técnico de Qualidade. Segundo essa portaria, as luminárias LED devem atender aos requisitos de desempenho estipulados de acordo com suas:

- Características fotométricas;
- Classificação das distribuições de intensidade luminosa;
- Eficiência Energética para luminárias com tecnologia LED;
- Índice de Reprodução de Cor – IRC;
- Temperatura de Cor Correlata – TCC;
- Características de Desempenho (Controle de distribuição luminosa; Manutenção do fluxo luminoso da luminária; Qualificação do dispositivo de controle eletrônico CC ou CA para módulos de LED).

Dentre os requisitos de segurança para luminárias LED estão:

- Marcação e instruções previstas na ABNT NBR 15129 e na ABNT NBR IEC 61347-2-13 e ABNT NBR 16026;
- Condições específicas (montadas e conectadas, prontas para serem ligadas à rede elétrica) e Materiais (fiação interna e externa e tomada para relé fotoelétrico, quando aplicável);
- Grau de proteção conforme a ABNT NBR IEC 60598-1;
- Condições de operação (altitude, temperatura e umidade relativa) e Acondicionamento;
- Características elétricas (rigidez dielétrica, resistência de isolamento, Potência total do Circuito, Fator de Potência, Corrente de alimentação, Tensão e corrente de saída do

dispositivo de controle durante a operação, Interferência eletromagnética e radiofrequência, Corrente de fuga e Proteção contra choque elétrico);

- Características mecânicas (Resistência ao torque dos parafusos e conexões, Resistência à força do vento, Resistência à vibração, Proteção contra impactos mecânicos externos e Resistência à radiação ultravioleta);
- Dispositivos de proteção contra surtos de tensão (DPS).

A portaria do Inmetro também estipula o Selo de Identificação da Conformidade, com o objetivo de “padronizar o formato e aplicação da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE a ser aposta nas luminárias para Iluminação Pública viária”. A Tabela 10 contém as classes de Eficiência Energética para luminárias para Iluminação Pública com a Tecnologia LED conforme a portaria nº20 do Inmetro.

Tabela 10 Eficiência Energética para Luminárias com Tecnologia LED

Classes	Nível de Eficiência Energética (lm/W)	Valor mínimo aceitável medido (lm/W)
<b>A</b>	$EE \geq 100$	98
<b>B</b>	$90 \leq EE < 100$	88
<b>C</b>	$80 \leq EE < 90$	78
<b>D</b>	$70 \leq EE < 80$	68

Fonte: INMETRO, 2017

A Figura 73 mostra o padrão da etiqueta que vem afixada nas luminárias de Iluminação Pública

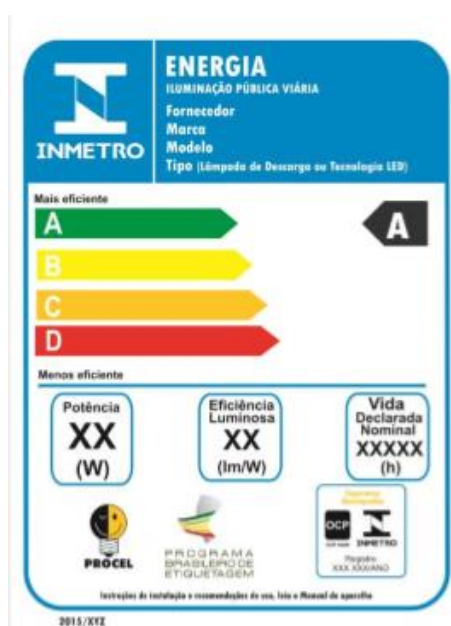


Figura 73 Etiqueta Nacional de Conservação de Energia - ENCE das luminárias para Iluminação Pública viária

Fonte: INMETRO, 2017

A portaria ainda estipula no seu Art. 15 que:

A partir de 24 (vinte e quatro) meses, contados da data de publicação desta Portaria, os fabricantes nacionais e importadores deverão fabricar ou importar, para o mercado nacional, somente luminárias para Iluminação Pública viária em conformidade com as disposições contidas nesta Portaria. (INMETRO, 2017)

## **B. Selo de Eficiência Energética**

Os critérios para a concessão do selo PROCEL de Economia de Energia à Luminárias LED para Iluminação Pública levam em consideração os seguintes itens (PROCEL, 2017):

- Certificação conforme a Portaria nº 20 do INMETRO.
- Potência total da luminária

“A potência total medida não pode diferir em mais ou menos 10% à potência total declarada pelo fornecedor. As medições devem seguir as prescrições da IES LM 79-08”

- Fluxo luminoso inicial

“O fluxo luminoso inicial não pode ser inferior a 95% do fluxo luminoso nominal declarado pelo fornecedor. As medições devem seguir as prescrições da IES LM 79-08.”

- Eficiência energética para luminárias LED

“As luminárias LED devem apresentar um valor de eficiência energética medido e declarado de no mínimo 110 lm/W.”

- Temperatura de cor correlata – TCC

“O valor da TCC medido de uma luminária LED não pode ir além das tolerâncias estabelecidas na tabela abaixo, conforme a norma ANSI C78.377-2015.”

- Controlador

O fornecedor deverá enviar um relatório de ensaio que comprove que o controlador aplicado na luminária atende as normas NBR IEC 61347-2-13 e NBR 16026. Em substituição a NBR 16026, serão aceitos ensaios de acordo com a IEC 62384, desde que seja atendido o fator de potência de acordo com o item A.5.4 do anexo I-B da Portaria n.º 20, de 15 de fevereiro de 2017. (PROCEL, 2017)

- Dispositivos de proteção contra surtos de tensão (DPS)

A luminária LED deverá possuir um dispositivo de proteção contra surtos de tensão externo ao controlador. O fornecedor deverá enviar um relatório de ensaio que

comprove que o dispositivo suporta os níveis de surto nominal e máximo declarados, conforme as normas ANSI/IEEE C.62.41.1-2002, IEC 61643-11 e ABNT NBR IEC 61643-1:2007. (PROCEL, 2017)

Além disso, a empresa fornecedora precisa estabelecer a Garantia “contra defeitos de fabricação mediante o reparo ou troca do produto defeituoso com a apresentação da nota fiscal por parte do consumidor” num prazo não inferior a 5 (cinco) anos de acordo com o Código Brasileiro de Defesa do Consumidor e ainda comprovar os resultados dos ensaios através de documentação específica listada. Atendidas as especificações contidas no Regulamento do Selo PROCEL e nos Critérios específicos para Luminárias LED, as luminárias estão elegíveis para receber o Selo. A Figura 74 ilustra o Selo PROCEL de acordo com o Manual de Identidade Visual.



Figura 74 Selo PROCEL

Fonte: PROCEL, 2017

### ANEXO 3 - TABELAS DE LUMINÁRIAS LED CERTIFICADAS PELO INMETRO

Tabela 11 luminárias LED certificadas pelo INMETRO

DESCRIÇÃO	VOLT. (V)	POT. (W)	TCC (K)	IP	IRC	FP	EFICÁCIA (lm/W)	FLUXO LUMINOSO (lm)	VIDA DECLARADA NOMINAL (h)
<b>Marca: DEMAPE</b>									
LUMINÁRIA LED SMD	220	100	4.000	IP66	IRC > 70	FP > 0,98	115	11.500	60.000
LUMINÁRIA LED SMD	220	100	5.000	IP66	IRC > 70	FP > 0,98	115	11.500	60.000
LUMINÁRIA LED SMD	220	120	4.000	IP66	IRC > 70	FP > 0,98	115	13.800	60.000
LUMINÁRIA LED SMD	220	120	5.000	IP66	IRC > 70	FP > 0,98	115	13.800	60.000
LUMINÁRIA LED SMD	220	40	4.000	IP66	IRC > 70	FP > 0,98	115	4.600	60.000
LUMINÁRIA LED SMD	220	40	5.000	IP66	IRC > 70	FP > 0,98	115	4.600	60.000
LUMINÁRIA LED SMD	220	50	4.000	IP66	IRC > 70	FP > 0,98	110	5.500	60.000
LUMINÁRIA LED SMD	220	50	5.000	IP66	IRC > 70	FP > 0,98	110	5.500	60.000
LUMINÁRIA LED SMD	220	70	4.000	IP66	IRC > 70	FP > 0,98	115	8.050	60.000
LUMINÁRIA LED SMD	220	70	5.000	IP66	IRC > 70	FP > 0,98	115	8.050	60.000
<b>Marca: DEMAPE</b>									
LUMINÁRIA LED SMD	220	70	4.000	IP66	IRC > 70	FP > 0,98	115	8.050	60.000
LUMINÁRIA LED SMD	220	100	4.000	IP66	IRC > 70	FP > 0,98	115	11.500	60.000
LUMINÁRIA LED SMD	220	100	5.000	IP66	IRC > 70	FP > 0,98	115	11.500	60.000
LUMINÁRIA LED SMD	220	120	4.000	IP66	IRC > 70	FP > 0,98	115	13.800	60.000
LUMINÁRIA LED SMD	220	120	5.000	IP66	IRC > 70	FP > 0,98	115	13.800	60.000
LUMINÁRIA LED SMD	220	40	4.000	IP66	IRC > 70	FP > 0,98	115	4.600	60.000
LUMINÁRIA LED SMD	220	40	5.000	IP66	IRC > 70	FP > 0,98	115	4.600	60.000
LUMINÁRIA LED SMD	220	50	4.000	IP66	IRC > 70	FP > 0,98	110	5.500	60.000
LUMINÁRIA LED SMD	220	50	5.000	IP66	IRC > 70	FP > 0,98	110	5.500	60.000
LUMINÁRIA LED SMD	220	70	5.000	IP66	IRC > 70	FP > 0,98	115	8.050	60.000
<b>Marca: DEMAPE</b>									
LUMINÁRIA LED SMD	220	100	4.000	IP66	IRC > 70	FP > 0,98	115	11.500	60.000
LUMINÁRIA LED SMD	220	120	4.000	IP66	IRC > 70	FP > 0,98	115	13.800	60.000
LUMINÁRIA LED SMD	220	40	4.000	IP66	IRC > 70	FP > 0,98	115	4.600	60.000
LUMINÁRIA LED SMD	220	50	4.000	IP66	IRC > 70	FP > 0,98	110	5.500	60.000
LUMINÁRIA LED SMD	220	70	4.000	IP66	IRC > 70	FP > 0,98	115	8.050	60.000

LUMINÁRIA LED SMD	220	150	4.000	IP66	IRC > 70	FP > 0,98	115	17.250	60.000
LUMINÁRIA LED SMD	220	150	5.000	IP66	IRC > 70	FP > 0,98	115	17.250	60.000
LUMINÁRIA LED SMD	220	170	4.000	IP66	IRC > 70	FP > 0,98	115	19.550	60.000
LUMINÁRIA LED SMD	220	170	5.000	IP66	IRC > 70	FP > 0,98	115	19.550	60.000
LUMINÁRIA LED SMD	220	240	4.000	IP66	IRC > 70	FP > 0,98	120	28.800	60.000
LUMINÁRIA LED SMD	220	240	5.000	IP66	IRC > 70	FP > 0,98	120	28.800	60.000
<b>Marca: WLUX</b>									
LUMINÁRIA PÚBLICA LED	BIVOLT	170	5.000	IP66	IRC > 70	FP > 0,99	119,6	20.332	80.000
LUMINÁRIA PÚBLICA LED	BIVOLT	75	5.000	IP66	IRC > 70	FP > 0,99	140,6	10.545	80.000
LUMINÁRIA PÚBLICA LED	BIVOLT	120	5.000	IP66	IRC > 70	FP > 0,99	126,8	15.216	80.000
LUMINÁRIA PÚBLICA LED	BIVOLT	150	5.000	IP66	IRC > 70	FP > 0,99	125,9	18.881	80.000
LUMINÁRIA PÚBLICA LED	BIVOLT	100	5.000	IP66	IRC > 70	FP > 0,99	137	13.700	80.000
<b>Marca: FORLUZ</b>									
LUMINÁRIA LED	BIVOLT	100	5.000	IP66	IRC > 80	FP > 0,98	125	12.500	50.000
LUMINÁRIA LED	BIVOLT	150	5.000	IP66	IRC > 80	FP > 0,99	120	18.000	50.000
LUMINÁRIA LED	BIVOLT	210	5.000	IP66	IRC > 75	FP > 0,99	135	28.350	50.000
LUMINÁRIA LED	BIVOLT	30	5.000	IP66	IRC > 80	FP > 0,97	140	4.200	50.000
LUMINÁRIA LED	BIVOLT	50	5.000	IP66	IRC > 80	FP > 0,96	130	6.500	50.000
<b>Marca: G-LIGHT</b>									
LUMINÁRIA LED SMD	AUTOVOLT	100	5.000	IP66	IRC > 70	FP > 0,95	120	12.000	50.000
LUMINÁRIA LED SMD	AUTOVOLT	120	5.000	IP66	IRC > 70	FP > 0,95	130	15.600	50.000
LUMINÁRIA LED SMD	AUTOVOLT	150	5.000	IP66	IRC > 70	FP > 0,95	130	19.500	50.000
LUMINÁRIA LED SMD	AUTOVOLT	30	5.000	IP66	IRC > 70	FP > 0,95	120	3.600	50.000
LUMINÁRIA LED SMD	AUTOVOLT	50	5.000	IP66	IRC > 70	FP > 0,95	130	6.500	50.000
LUMINÁRIA LED SMD	AUTOVOLT	80	5.000	IP66	IRC > 70	FP > 0,95	130	10.400	50.000
LUMINÁRIA LED SMD	MONOVOLT	180	5.000	IP66	IRC > 70	FP > 0,95	120	21.600	50.000
<b>Marca: WLUX</b>									
LUMINÁRIA LED	BIVOLT	180	5.000	IP66	IRC > 70	FP > 0,99	118,9	21.402	80.000
LUMINÁRIA LED	BIVOLT	200	5.000	IP66	IRC > 70	FP > 0,99	129	25.800	80.000
LUMINÁRIA LED	BIVOLT	250	5.000	IP66	IRC > 70	FP > 0,99	128,7	32.175	80.000
LUMINÁRIA LED	BIVOLT	150	5.000	IP66	IRC > 70	FP > 0,99	117,9	17.685	80.000
<b>Marca: HOT SAT</b>									
LUMINÁRIA LED	BIVOLT	100	6.500	IP66	IRC > 70	FP > 0,92	128	12.659	50.000
LUMINÁRIA LED	BIVOLT	120	6.500	IP66	IRC > 70	FP > 0,92	134	16.068	50.000
LUMINÁRIA LED	BIVOLT	150	6.500	IP66	IRC > 70	FP > 0,92	110	16.500	50.000
LUMINÁRIA LED	BIVOLT	30	6.500	IP66	IRC > 70	FP > 0,92	124	3.711	50.000
LUMINÁRIA LED	BIVOLT	65	6.500	IP66	IRC > 70	FP > 0,92	108	7.035	50.000



Marca: TECNOWATT									
LUMINÁRIA LED VIÁRIA	127/220/277	100	4000		IRC>70	FP>95	100	10.000	
LUMINÁRIA LED VIÁRIA:	127/220/277	100	5000		IRC>70	FP>95	100	10.000	
LUMINÁRIA LED VIÁRIA	127/220/277	115	4000		IRC>70	FP>95	100	11.500	
LUMINÁRIA LED VIÁRIA:	127/220/277	115	5000		IRC>70	FP>95	100	11.500	
LUMINÁRIA LED VIÁRIA	127/220/277	130	4000		IRC>70	FP>95	101	13.130	
LUMINÁRIA LED VIÁRIA:	127/220/277	130	5000		IRC>70	FP>95	101	13.130	
LUMINÁRIA LED VIÁRIA	127/220/277	150	4000		IRC>70	FP>95	100	15.000	
LUMINÁRIA LED VIÁRIA:	127/220/277	150	5000		IRC>70	FP>95	100	15.000	
LUMINÁRIA LED VIÁRIA	127/220/277	42	4000		IRC>70	FP>95	103	4.326	
LUMINÁRIA LED VIÁRIA:	127/220/277	42	5000		IRC>70	FP>95	103	4.326	
LUMINÁRIA LED VIÁRIA	127/220/277	54	4000		IRC>70	FP>95	105	5.670	
LUMINÁRIA LED VIÁRIA:	127/220/277	54	5000		IRC>70	FP>95	105	5.670	
LUMINÁRIA LED VIÁRIA	127/220/277	80	4000		IRC>70	FP>95	108	8.640	
LUMINÁRIA LED VIÁRIA:	127/220/277	80	5000		IRC>70	FP>95	108	8.640	
LUMINÁRIA LED VIÁRIA	127/220/277	163	4000		IRC>70	FP>95	125	20.375	
LUMINÁRIA LED VIÁRIA:	127/220/277	163	5000		IRC>70	FP>95	125	20.375	
LUMINÁRIA LED VIÁRIA	127/220/277	190	4000		IRC>70	FP>95	120	22.800	
LUMINÁRIA LED VIÁRIA:	127/220/277	190	5000		IRC>70	FP>95	120	22.800	
LUMINÁRIA LED VIÁRIA	127/220/277	233	4000		IRC>70	FP>95	130	30.290	
LUMINÁRIA LED VIÁRIA:	127/220/277	233	5000		IRC>70	FP>95	130	30.290	
LUMINÁRIA LED VIÁRIA	127/220/277	274	4000		IRC>70	FP>95	126	34.524	
LUMINÁRIA LED VIÁRIA:	127/220/277	274	5000		IRC>70	FP>95	126	34.524	
LUMINÁRIA LED VIÁRIA	127/220/277	302	4000		IRC>70	FP>95	124	37.448	
LUMINÁRIA LED VIÁRIA:	127/220/277	302	5000		IRC>70	FP>95	124	37.448	
LUMINÁRIA LED VIÁRIA	127/220/277	100	4000		IRC>70	FP>95	117	11.700	
LUMINÁRIA LED VIÁRIA:	127/220/277	100	5000		IRC>70	FP>95	117	11.700	
LUMINÁRIA LED VIÁRIA	127/220/277	113	5000		IRC>70	FP>95	113	12.769	
LUMINÁRIA LED VIÁRIA:	127/220/277	113	4000		IRC>70	FP>95	113	12.769	
LUMINÁRIA LED VIÁRIA	127/220/277	130	4000		IRC>70	FP>95	110	14.300	
LUMINÁRIA LED VIÁRIA:	127/220/277	130	5000		IRC>70	FP>95	110	14.300	
LUMINÁRIA LED VIÁRIA	127/220/277	147	4000		IRC>70	FP>95	105	15.435	
LUMINÁRIA LED VIÁRIA:	127/220/277	147	5000		IRC>70	FP>95	105	15.435	
LUMINÁRIA LED VIÁRIA	127/220/277	200	4000		IRC>70	FP>95	107	21.400	
LUMINÁRIA LED VIÁRIA:	127/220/277	200	5000		IRC>70	FP>95	107	21.400	
Marca: PHILIPS									
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS	220-240	40	4.000			> 0,92	100	4000	

LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS	220-240	60	4.000			> 0,92	90	5400	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS		88	4.000			> 0,92	120	10600	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS		114	4.000			> 0,92	115	13100	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS		68	4.000			> 0,92	117	8000	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS	120-277	133	4.000			> 0,92	125	16700	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS	120-277	267	4.000			> 0,92	125	33400	
<b>Marca: LEDSTAR</b>									
LUMINÁRIA LED									
LUMINÁRIA LED		20	5.000		> 70	> 0,95	130	2600	
LUMINÁRIA LED		30	4.000		> 70	> 0,95	130	3900	
LUMINÁRIA LED		30	5.000		> 70	> 0,95	130	3900	
LUMINÁRIA LED		40	4.000		> 70	> 0,95	130	5200	
LUMINÁRIA LED		20	4.000		> 70	> 0,95	130	2600	
<b>Marca: LEDSTAR</b>									
LUMINÁRIA LED		40	5.000		> 70	> 0,95	130	5200	
LUMINÁRIA LED		50	4.000		> 70	> 0,95	130	6500	
LUMINÁRIA LED		50	5.000		> 70	> 0,95	130	6500	
LUMINÁRIA LED		60	4.000		> 70	> 0,95	130	7800	
LUMINÁRIA LED		60	5.000		> 70	> 0,95	130	7800	
<b>Marca: PHILIPS</b>									
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS		90	4.000			> 0,92	117	10500	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS		100	4.000			> 0,92	117	11700	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS		120	4.000			> 0,92	111	13300	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS		140	4.000			> 0,92	113	15800	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS		150	4.000			> 0,92	112	16800	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS		160	4.000			> 0,92	113	18100	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS		180	4.000			> 0,92	113	20300	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS		60	4.000			> 0,92	117	7000	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS		70	4.000			> 0,92	119	8300	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS		80	4.000			> 0,92	119	9500	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS		200	4.000			> 0,92	113	22600	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS		230	4.000			> 0,92	113	26000	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS		260	4.000			> 0,92	110	28700	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS		290	4.000			> 0,92	111	32200	
<b>Marca: PHILIPS</b>									
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS	120-277	117	4.000			> 0,92	129	15200	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS	120-277	117	4.000			> 0,92	129	15200	

LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS	120-277	129	4.000			> 0,92	134	17400	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS	120-277	129	4.000			> 0,92	134	17400	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS	120-277	144	4.000			> 0,92	131	19000	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS	120-277	144	4.000			> 0,92	131	19000	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS	120-277	153	4.000			> 0,92	130	20000	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS	120-277	153	4.000			> 0,92	130	20000	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS	120-277	177	4.000			> 0,92	132	23500	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS	120-277	177	4.000			> 0,92	132	23500	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS	120-277	211	4.000			> 0,92	127	27000	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS	120-277	211	4.000			> 0,92	127	27000	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS	120-277	232	4.000			> 0,92	129	30100	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS	120-277	232	4.000			> 0,92	129	30100	
<b>Marca: LEDSTAR</b>									
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS		20	4.000		>70	> 0,95	120	2400	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS		20	5.000		> 70	> 0,95	120	2400	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS		30	4.000		> 70	> 0,95	120	3600	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS		30	5.000		> 70	> 0,95	130	3900	
<b>Marca: PHILIPS</b>									
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS		150	5000			>0,92	130	19500	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS		150	4000			>0,92	130	19500	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS		170	5000			>0,92	130	22100	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS		170	4000.			>0,92	130	22100	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS		190	5000			>0,92	130	24700	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS		190	4000.			>0,92	130	24700	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS		210	5000			>0,92	130	27300	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS		210	4000			>0,92	130	27300	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS		230	5000			>0,92	130	29900	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS		230	4000			>0,92	130	29900	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS		250	5000			>0,92	130	32500	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS		250	4000			>0,92	130	32500	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS		270	5000			>0,92	130	35100	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS		270	4000			>0,92	130	35100	
<b>Marca: SXINLPI</b>									
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS		213	5000					31539	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS		106	5000					15770	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS		159	5000					23655	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS		266	5000					39424	

LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS		53	5000					7885	
<b>Marca: LEDSTAR</b>									
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS		40	5.000		> 70	> 0,95	110	4400	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS		80	5.000		> 70	> 0,95	110	8800	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS		100	5.000		> 70	>0,95	110	11000	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS		120	5.000		> 70	> 0,95	110	13200	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS		160	5.000		> 70	>0,95	110	17600	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS		180	5.000		> 70	>0,95	110	19800	
LUMINÁRIAS PÚBLICAS VIÁRIAS		200	5.000		> 70	>0,95	110	22000	
<b>Marca: CONEXLED</b>									
PURUBA	90-305	94	5000	IP66	70	>0,95	112	10531	50.000
PURUBA	90-305	116	5000	IP66	70	>0,95	106	12300	50.000
PURUBA	90-305	148	5000	IP66	70	>0,95	104	15462	50.000
PURUBA	90-305	181	5000	IP66	70	>0,95	115	20892	50.000
PURUBA	90-305	207	5000	IP66	70	>0,95	116	24057	50.000
PURUBA	90-305	265	5000	IP66	70	>0,95	107	28359	50.000
PURUBA	90-305	62	5000	IP66	70	>0,95	108	6688	50.000
PURUBA	90-305	77	5000	IP66	70	>0,95	105	8122	50.000
UNA	90-305	115	5000	IP67/IP54	70	>0,95	114	13075	50.000
UNA	90-305	139	5000	IP67/IP54	70	>0,95	120	16697	50.000
UNA	90-305	168	5000	IP67/IP54	70	>0,95	125	21028	50.000
UNA	90-305	217	5000	IP67/IP54	70	>0,95	116	25150	50.000
UNA	90-305	29	5000	IP67/IP54	70	>0,95	128	3724	50.000
UNA	90-305	255	5000	IP67/IP54	70	>0,95	115	29250	50.000
UNA	90-305	59	5000	IP67/IP54	70	>0,95	113	6674	50.000
UNA	90-305	92	5000	IP67/IP54	70	>0,95	117	10727	50.000

## ANEXO 4 - CLASSIFICAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DA IOT SEGUNDO A ISO 30144:2018 (ISO, 2018)

### A. Características de Confiabilidade:

- Disponibilidade: “propriedade de ser acessível e utilizável demanda por uma entidade autorizada. Os sistemas IoT podem incluir usuários humanos e componentes de serviço como ‘entidades autorizadas’”;
- Confidencialidade: “propriedade que as informações não são disponibilizadas ou divulgadas a indivíduos, entidades ou processos não autorizados”;
- Integridade: “propriedade de exatidão e completude, geralmente aplicada a informações dentro de um sistema”;
- Proteção das Informações Pessoalmente Identificáveis (PII)<sup>62</sup>: o termo PII está dentro do conceito de privacidade, e conforme a definição da ISO/IEC 27018:2014 apud (ISO, 2018) , é definida como “qualquer informação que (a) possa ser usada para identificar a PII principal a quem essas informações estejam relacionadas, ou (b) esteja ou possa estar direta ou indiretamente vinculada a uma a PII principal” e é geralmente exigido regulatória ou legalmente pela maioria dos países sempre que um sistema de IoT envolva informações pessoalmente identificáveis na sua operação. Além disso, “A proteção das PII é um requisito geral e é regida por uma série de princípios<sup>63</sup> que são descritos na norma ISO/IEC 29100”;
- Confiabilidade: “propriedade de comportamento e resultados pretendidos e consistentes. Um nível apropriado de confiabilidade em recursos como comunicação, serviço e gerenciamento de dados é importante para atender aos requisitos do sistema” enquanto que o nível desejado está relacionado “ao risco associado ao sistema IoT”;
- Resiliência: “Capacidade de um sistema de IoT ou seus componentes para adaptar e

---

<sup>62</sup> “A proteção de PII é regida por uma série de princípios, incluindo, mas não se limitando a, consentimento e escolha; legitimidade e especificação de propósitos; limitação de cobrança; e minimização de dados. O princípio da minimização de dados requer que as organizações processem apenas as PII minimamente necessárias para os propósitos identificados. As PII devem ser excluídas com segurança quando não forem mais necessárias.” (ISO 2018)

<sup>63</sup> São eles: “consentimento e escolha; finalidade legitimidade e especificação; limitação de cobrança; minimização dos dados; limitação de uso, retenção e divulgação; exatidão e qualidade; abertura, transparência e aviso prévio; participação e acesso individuais; responsabilização; segurança da informação; conformidade com a privacidade.” (ISO 2018)

continuar a desempenhar as suas funções necessárias de forma flexível na presença de falhas e falhas e outras alterações para esta finalidade sem perda do nível de operação e desempenho”;

- Segurança: “estado em que o risco<sup>64</sup> de dano<sup>65</sup> (a pessoas) ou prejuízos é limitado a um nível aceitável” e esses danos podem ocorrer devido “a mau funcionamento, falha ou acidente”. Essa característica particularmente considera “os modos de falha com a intenção de prevenir, reduzir ou atenuar o potencial para resultados indesejados; especificamente, danos, dano ou perda”, enquanto que as outras características de confiabilidade apenas “descrevem o comportamento desejado do sistema ao operar corretamente”;

## **B. Características da Arquitetura:**

- Habilidade de composição: “capacidade de combinar componentes de IoT distintos em um sistema de IoT para alcançar um conjunto de metas e objetivos”;
- Separação de capacidades funcionais e de gestão: “a interface de gerenciamento está em uma extremidade diferente daquela da interface funcional e os recursos de gerenciamento são manipulados por diferentes componentes de software do que as interfaces funcionais”;
- Heterogeneidade: “Um conjunto diversificado de componentes e entidades físicas de um sistema de IoT que interagem de várias maneiras”.
- Sistemas altamente distribuídos: “embora funcionalmente integrados, consistem em subsistemas que podem ser fisicamente separados e remotamente localizados uns dos outros. Estes subsistemas são normalmente conectados por um link de comunicação”. Um exemplo é o “rastreamento RFID, têm um alto grau de mobilidade para dispositivos individuais.”;
- Suporte herdado: “conceito de que um sistema de IoT pode precisar incorporar componentes<sup>66</sup>, mesmo onde esses componentes incorporam tecnologias que não são mais padrão ou aprovados.”;

---

<sup>64</sup> “O risco é a probabilidade da ocorrência de dano combinada com a severidade desse dano.” (ISO 2018)

<sup>65</sup> “Danos incluem ferimentos ou danos à saúde das pessoas, ou prejuízos à propriedade ou ao meio ambiente.” (ISO 2018)

<sup>66</sup> “Um serviço, protocolo, dispositivo, sistema, componente, tecnologia ou padrão desatualizado, mas que ainda está em uso atual pode ser incorporado em um sistema de IoT.” (ISO 2018)

- Modularidade: “componentes que podem ser combinados para formar sistemas maiores (...). Os componentes modulares podem ser removidos de um sistema de forma limpa e substituídos por um módulo de tamanho semelhante e com interfaces físicas e lógicas semelhantes.”;
- Conectividade de rede: é uma das características centrais da IoT, em que “os componentes comunicam entre si através de ligações de rede (...) com ou sem fio”. Além disso, os “Dispositivos IoT conectados que originam, roteiam e terminam as comunicações são descritos como nós (de rede). Dispositivos de rede de extremidade são a origem ou destino de todas as informações em trânsito”. Nesse contexto, “qualquer protocolo de comunicação de rede relacionado à IoT é mergulhado em protocolos de comunicação mais específicos ou mais gerais, até a camada física que lida diretamente com a mídia de transmissão em cada nó de rede”.
- Escalabilidade: está relacionada à capacidade que um sistema tem de “continuar a trabalhar efetivamente enquanto o tamanho do sistema, sua complexidade ou o volume de trabalho realizado pelo sistema é aumentado.”;
- Compartilhabilidade: “capacidade de um componente individual ser acessado e seus recursos atribuídos comunitariamente entre múltiplos sistemas interligados.”;
- Identificação única: requisito para “associar de forma inequívoca e repetidamente as entidades<sup>67</sup> dentro do sistema com um nome, código, símbolo ou número individual, e para interagir com as entidades, ou rastrear ou controlar suas atividades.”;
- Componentes bem definidos: ocorre quando há uma descrição das capacidades e características das entidades IoT está disponível. “As informações de capacidade incluem não apenas informações sobre a funcionalidade específica do componente, mas a configuração, comunicação, segurança, confiabilidade e outras informações relevantes.”

### C. Características Funcionais:

- Precisão: característica que deve estar presente em vários elementos em um sistema de IoT: nos sensores, nos serviços de software e nos atuadores. De acordo com a Norma:

“Os sensores fazem medições nas propriedades do mundo físico. A exatidão destes

---

<sup>67</sup> “Essas entidades incluem os componentes do próprio sistema IoT, como componentes de software, sensores, atuadores e componentes de rede.” (ISO 2018)

sensores é a proximidade da concordância entre os valores medidos e os valores atuais dessas propriedades”. “Os serviços de software podem fazer cálculos com base nos dados de entrada<sup>68</sup> e a precisão está na porcentagem de sucesso. “Os atuadores que operam no mundo físico traduzem comandos digitais em ações, e a precisão<sup>69</sup> para atuadores pode ser descrita em termos da proximidade das ações atuais do mundo físico àquelas pretendidas pelo comando digital.” Logo, “Em alguns casos, a exatidão pode ser expressa em termos do desvio de uma quantidade contínua no mundo digital a partir de seu valor no mundo físico. Em outros casos, ele pode ser expresso como a porcentagem de instâncias em que a saída digital de um valor discreto corresponde corretamente ao valor esperado (ou seja, a porcentagem de valores corretos).”

- Auto-configuração: “configuração automática de dispositivos com base na colaboração de regras predefinidas (algoritmos associados com base em entradas de dados). A configuração automática inclui rede automática, provisionamento automático de serviços e Plug & Play. A configuração automática permite que um sistema de IoT reaja às condições e à adição e remoção de componentes, como dispositivos e redes. A configuração automática precisa de mecanismos de segurança e autenticação para garantir que somente os componentes autorizados possam ser configurados automaticamente no sistema. Os mecanismos de segurança precisam ser organizados apropriadamente para cada segmento de mercado.”
- Conformidade: “característica de estar conforme às regras, tais como aquelas definidas por uma lei, por um regulamento, por um padrão ou por uma política. Sistemas de IoT, serviços, componentes e aplicativos podem ser implantados em circunstâncias que exigem aderência a uma variedade de leis, políticas ou regulamentos. Esse suporte pode ser inerente ao dispositivo ou sistema IoT ou pode exigir configuração, programação, modificação ou extensão específicas para garantir a conformidade. Além disso, pode haver um intervalo de variação de granularidade ou níveis de abstração em que as regulamentações são aplicadas ou impostas.”
- Percepção de conteúdo: “propriedade de ter conhecimento suficiente das informações em um componente de IoT e seus metadados associados. Dispositivos e serviços com reconhecimento de conteúdo são capazes de adaptar interfaces, dados de aplicativos abstratos, melhorar a precisão da recuperação de informações, descobrir serviços e

---

<sup>68</sup> “Considere algum software automatizado do processamento de imagem - os exemplos incluem o reconhecimento da placa de número para veículos ou o reconhecimento facial para estabelecer a identidade dos povos em uma cena. Tal software pode ser dito ter uma exatidão expressada como uma porcentagem com que o texto reconhecido da placa do número combina o texto real da placa de número, ou a porcentagem com que a identidade reconhecida de um indivíduo combina a identidade real da pessoa na cena.” (ISO 2018)

<sup>69</sup> “Um exemplo pode ser um braço robótico, onde um comando digital pretende mover a ponta do braço do robô para um local específico no espaço 3D. A exatidão pode ser expressada por como próxima a posição da ponta atual do braço do robô combina aquela do comando digital.” (ISO 2018)



permitir interações apropriadas do usuário”.

- Percepção de contexto: “característica de um dispositivo, serviço ou sistema de IoT que pode monitorar seu próprio ambiente no qual está operando e eventos dentro desse ambiente para determinar informações como quando (reconhecimento de tempo), onde (reconhecimento de local), ou em que ordem (consciência da sequência de acontecimentos) uma ou mais observações ocorreram no mundo físico.”;
- Característica dos dados, também conhecidos como ‘dados 5Vs<sup>70</sup>’ (volume, velocidade, veracidade, variabilidade e variedade) se aplicam a sistemas de IoT, pois “são fonte de dados que é grande em volume, entregues em velocidade através de links de rede, cuja veracidade precisa ser validado (por exemplo, devido a mau funcionamento de sensores), que pode variar ao longo do tempo e pode conter uma grande variedade de diferentes tipos de dados de diferentes componentes de IoT.”;
- Detectabilidade: “característica de um ponto de extremidade na rede a ser encontrada dinamicamente e para esse ponto de extremidade relatar seus serviços e seus recursos por meio de um mecanismo de consulta ou mecanismo de autopropaganda; de acordo com o que for adequado para o dispositivo em questão. As extremidades em questão podem ser dispositivos IoT, serviços e aplicativos, ou até mesmo usuários. Os serviços de descoberta relacionados permitem que os pontos de extremidade sejam localizados, identificados e acessados de acordo com critérios variáveis, como localização geográfica ou tipo de serviço.”;
- Flexibilidade: “capacidade de um sistema IoT, serviço, dispositivo ou outro componente para fornecer uma gama variada de funcionalidades, dependendo da necessidade ou contexto.”;
- Capacidade de gerenciamento: está relacionada ao “gerenciamento de dispositivos, gerenciamento de rede, gerenciamento de sistema e manutenção e alertas de interface. A capacidade de gerenciamento é importante para atender aos requisitos do sistema IoT. Componentes capazes de monitorar o sistema e alterar configurações são necessários para a capacidade de gerenciamento do dispositivo, rede e sistema IoT.”;
- Comunicação de Rede: “Os sistemas de IoT dependem de uma ampla variedade de tipos de rede. Geralmente, há um número limitado de redes de baixa potência coletivamente

---

<sup>70</sup> “Os dados 5Vs derivam de sistemas de Big data” (ISO 2018)

denominadas redes de proximidade que formam as conexões locais para dispositivos de IoT. Existem as redes de área ampla que conectam as redes de proximidade à Internet, que podem receber formulários com e sem fio e que podem ser dedicadas ao sistema IoT ou que podem ser redes de uso geral compartilhadas. Os protocolos de comunicação usados podem variar entre os diferentes tipos de rede. É comum que as redes de proximidade utilizem protocolos especializados adequados à natureza específica dessas redes. O IP é mais comumente utilizado para redes de longa distância, embora os níveis mais altos na pilha de protocolos possam variar, com HTTP sendo usado em alguns casos e protocolos de mensagens sendo usados em outros casos. Algumas redes são deliberadamente intermitentes por natureza e os protocolos usados para essas redes refletem o padrão de transmissão intermitente.”;

- Gerenciamento e operação de rede: “Os sistemas de IoT requerem gerenciamento de rede. A forma e o propósito do gerenciamento e operação da rede dependem do tipo de rede, da propriedade da rede e do tipo de comunicação que ocorre na rede. O gerenciamento é necessário durante a configuração inicial e a implantação de uma rede, incluindo o tratamento de identidades e endereços de dispositivos, perfis para o uso da rede e a inclusão de recursos de gerenciamento dinâmico. O gerenciamento das redes envolve controle sobre QoS<sup>71</sup>, extensão dinâmica das redes (para dispositivos IoT novos ou atualizados), gerenciamento de falhas e controle de segurança. As redes também lidam com membros dinâmicos e transitórios da rede por dispositivos móveis à medida que esses dispositivos entram ou saem do alcance da rede.”;
- Capacidade em tempo real: “característica de um sistema ou modo de operação no qual a computação é executada durante o tempo real em que um processo externo ocorre, para que os resultados do cálculo possam ser usados para controlar, monitorar ou responder de maneira oportuna. o processo externo. Além disso, o sistema tem a capacidade de executar uma ação ou função, ou chamar um serviço dentro de um período de tempo especificado, apoiando assim operações determinísticas.”;
- Autodescrição: “processo pelo qual os componentes de um sistema IoT listam seus recursos para informar outros componentes da IoT ou outros sistemas IoT para fins de composição, interoperabilidade e descoberta dinâmica. A autodescrição inclui especificação de interface, os recursos do componente IoT, quais tipos de dispositivos

---

<sup>71</sup> Qualidade de serviço

podem ser conectados a um sistema IoT, quais tipos de serviço são disponibilizados pelo sistema IoT e o estado atual do sistema IoT. Entidades auto descritas são implicitamente “entidades bem definidas”.”;

- **Subscrição de serviço:** ocorre quando “os usuários de IoT assinam os serviços de IoT disponibilizados pelos provedores de serviços de IoT. Nesse caso, os provedores de serviços de IoT disponibilizam um processo de assinatura pelo qual os usuários de IoT podem se inscrever em um serviço IoT específico. O processo de assinatura pode incluir pagamentos, além de uma declaração clara de quaisquer pré-requisitos que se aplicam ao usuário da IoT. Pode ser o caso de o serviço IoT envolver a instalação de dispositivos IoT e a instalação e configuração de componentes de software - normalmente, são fornecidos ou especificados pelo provedor de serviços IoT. Assinar um serviço e criar um novo aplicativo IoT pode resultar em novos requisitos de segurança para o sistema. Como o fabricante do sistema IoT durante o provisionamento não pôde prever este caso de uso, a responsabilidade do cumprimento dos requisitos de segurança é do assinante. Em alguns casos alternativos, o usuário da IoT pode estabelecer seu próprio serviço IoT, mas, nesse caso, o usuário da IoT tem o encargo de adquirir o equipamento e o software necessários e tem as responsabilidades subsequentes de operar e manter o serviço IoT.”.