

Universidade de Passo Fundo
Faculdade de Engenharia e Arquitetura
Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Civil e Ambiental

Amanda Lange Salvia

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ILUMINAÇÃO PÚBLICA
NA GESTÃO SUSTENTÁVEL DE CIDADES: ESTUDO DE
MULTICASOS

Passo Fundo

2016

Amanda Lange Salvia

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ILUMINAÇÃO PÚBLICA
NA GESTÃO SUSTENTÁVEL DE CIDADES: ESTUDO DE
MULTICASOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do título de Mestre, sob a orientação da Prof.^a Dr.^a Luciana Londero Brandli.

Passo Fundo

2016

Amanda Lange Salvia

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ILUMINAÇÃO PÚBLICA
NA GESTÃO SUSTENTÁVEL DE CIDADES: ESTUDO DE
MULTICASOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do título de Mestre.

Membros componentes da Banca Examinadora:

Prof. Dra. Luciana Londero Brandli
Orientadora

Prof. Dr. Pedro Domingos Marques Prietto
Universidade de Passo Fundo – UPF

Prof. Dra. Rosa Maria Locatelli Kalil
Universidade de Passo Fundo – UPF

Prof. Dr. Walter Leal Filho
Hamburg University of Applied Sciences – HAW

Passo Fundo

2016

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, por sempre acreditarem em mim, por todo o apoio, amor e confiança. Qualquer conquista minha também é de vocês.

À toda a minha família, pelo incentivo e compreensão de sempre.

Ao meu namorado, Lucas, pela parceria, amor, companheirismo e especialmente por, apesar de não ser a sua área, entrar no mundo da sustentabilidade e eficiência energética comigo.

À minha orientadora, professora Luciana Brandli, por ter me dado a oportunidade de fazer parte do projeto Pré-requisitos para a Sustentabilidade dos municípios do Rio Grande do Sul, por me auxiliar durante todos os momentos, por me ensinar tanto e principalmente pelo incentivo, confiança e carinho.

À toda a equipe do projeto PRESUST-RS, em especial às amigas Vanessa e Patrícia.

Aos participantes deste trabalho, técnicos das Prefeituras de Passo Fundo, Porto Alegre e Santa Maria pela contribuição e informações repassadas, assim como os professores da Universidade de Passo Fundo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Universidade Federal de Santa Maria, pela disponibilidade em participar da pesquisa.

À Universidade de Passo Fundo e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental pela infraestrutura disponibilizada e à Capes pelo incentivo concedido.

A todos os professores do programa, por todo o conhecimento repassado.

Em especial aos professores Pedro Domingos Marques Prietto e Rosa Mariaa Locatelli Kalil, participantes das bancas examinadoras, por contribuírem tanto durante o desenvolvimento da pesquisa.

Também agradeço ao professor Walter Leal Filho, da Universidade de Ciências Aplicadas de Hamburgo, pelas ideias trocadas desde o início do Mestrado, que certamente contribuíram para a definição do tema abordado e pela disponibilidade em participar da banca examinadora.

Fica aqui o meu profundo agradecimento a todos que fazem parte desta conquista.

*O caminho até pode ser difícil,
mas quando um objetivo é tão sonhado,
tudo que se faz é recompensador.*

RESUMO

O aumento populacional e a preocupação com o uso de recursos naturais fazem com que o tema cidades sustentáveis seja cada vez mais abordado. Um de seus tópicos é a eficiência energética, que dentre as diversas aplicações, inclui o serviço de iluminação pública, que costuma representar de 3 a 4% da eletricidade consumida pelas cidades. Levando em consideração a importância e as funções deste serviço, que abrangem a segurança pública, qualidade de vida e valorização das cidades, uma gestão sustentável se faz necessária, equilibrando os aspectos econômicos, ambientais e sociais. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é investigar propostas para melhorar a eficiência energética em iluminação pública em municípios polo do Rio Grande do Sul visando uma gestão sustentável. A metodologia consiste em cinco fases, iniciando com a apresentação de indicadores de eficiência energética e seguida pelo diagnóstico da iluminação pública nos três municípios em estudo: Passo Fundo, Porto Alegre e Santa Maria. Tal diagnóstico é feito por meio de indicadores quantitativos e qualitativos. Na sequência, são apresentadas melhores práticas de gestão da iluminação pública, referências no Brasil e no mundo, cuja pesquisa foi realizada utilizando-se bases de dados *online*, páginas de órgãos governamentais e instituições que estudam o tema. Após a pesquisa, foi possível avaliar a aplicabilidade destas práticas por meio do método de análise multicritério Analytic Hierarchy Process (AHP), utilizando-se os critérios custo de implantação, economia de energia e facilidade de implantação. Por fim, a etapa de apresentação das práticas sugeridas para cada município a fim de contribuir para sua gestão sustentável, com discussão sobre os desafios e vantagens de uma possível implementação. O resultado do diagnóstico dos setores de iluminação pública de cada município mostra aspectos positivos e negativos da situação atual, podendo-se inclusive relacionar maiores consumos energéticos do setor com menores percentuais de lâmpadas LED. A análise multicritério aponta o Programa de *Retrofit* como melhor prática para Passo Fundo, os Programas de Auditoria e Elaboração de Guia e *Retrofit* para Porto Alegre e os Programas de Energia Alternativa e Gestão para Santa Maria. Este trabalho contribuiu com a sugestão de alternativas para melhorar a eficiência energética das cidades bem como discutiu as principais vantagens e desafios de uma possível implantação.

Palavras-chaves: desenvolvimento sustentável, gestão energética, iluminação, cidades sustentáveis.

ABSTRACT

The population growth and the concern with the use of natural resources make the sustainable cities theme increasingly addressed. One of its topics is energy efficiency, which amongst various applications, includes the public lighting service, which typically represents 3 to 4% of the electricity consumed by cities. Taking the importance and functions of this service into account, including public safety, quality of life and cities appreciation, sustainable management is necessary, considering economic, environmental and social aspects. In this context, the objective of this study is to investigate proposals for improving energy efficiency in public lighting of the municipalities of Rio Grande do Sul, in regards to its sustainable management. The methodology consists of five steps, starting with the presentation of energy efficiency indicators, and then the diagnosis of public lighting sustainability in three studied municipalities: Passo Fundo, Porto Alegre and Santa Maria. Such diagnosis was made by means of quantitative and qualitative indicators. Next, the best practices in the management of public lighting are presented, references in Brazil and in the world, according to research in online database, government pages and institutions that study the subject. After the search, it was possible to assess the applicability of these practices, using the multi-criteria analysis method Analytic Hierarchy Process (AHP), considering implementation cost, energy savings and ease of implementation as criteria. Finally, the step of presenting the suggested practices for each municipality, in order to contribute to its sustainable management, discussing the challenges and advantages of its possible implementation. The result of the diagnosis of public lighting sectors shows positive and negative aspects of the current situation, being able to relate higher energy consumption of the sector with lower percentages of LED bulbs. The multi-criteria analysis indicates the Retrofit Program as best practice to Passo Fundo, the Audit and Guide and Retrofit Programs to Porto Alegre and Alternative Energy and Management Programs to Santa Maria. This work contributed to the suggestion of alternatives to improve the energy efficiency of cities as well as discussed the main advantages and challenges of a possible implementation.

Keywords: sustainable development, energy management, lighting, sustainable cities.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Características e fatores de uma smart city.....	22
Figura 2 - Sistemas operacionais da infraestrutura de uma cidade.....	28
Figura 3 - Consumo de energia elétrica pelo setor de iluminação pública no Brasil (2010-2014).....	30
Figura 4 - Consumo de energia elétrica pelo setor de iluminação pública no Rio Grande do Sul (2010-2014).....	30
Figura 5 - Distribuição da responsabilidade pela iluminação pública nos estados brasileiros.....	32
Figura 6 - Componentes do sistema de iluminação pública.....	34
Figura 7 - Relações envolvidas na sustentabilidade da iluminação pública.....	41
Figura 8 - Preenchimentos dos indicadores na ferramenta TRACE.....	43
Figura 9 - Recomendações de eficiência energética pelo TRACE.....	44
Figura 10 - Elementos do processo de decisão.....	46
Figura 11 - Passos sequenciais do processo de decisão.....	47
Figura 12 - Estrutura do Método AHP.....	48
Figura 13 - Etapas do Método AHP.....	50
Figura 14 - Localização dos municípios em estudo no estado do Rio Grande do Sul.....	52
Figura 15 - Delineamento do processo metodológico no qual este trabalho se insere.....	54
Figura 16 - Estrutura do método AHP nesta pesquisa.....	62
Figura 17 - Etapas de aplicação da metodologia AHP nesta pesquisa.....	63
Figura 18 - Visualização da Calculadora de Economia de Energia da Ferramenta TRACE ...	65
Figura 19 - Porcentagem de domicílios atendidos por iluminação pública (2010).....	77
Figura 20 - Consumo mensal médio de energia elétrica da iluminação pública por ponto de luz (2016).....	78
Figura 21 - Custo mensal médio de energia elétrica da iluminação pública por ponto de luz (2016).....	79
Figura 22 - Correlação entre o consumo e custo mensal médio de energia elétrica por ponto de luz.....	80
Figura 23 - Número de pontos de iluminação existentes per capita (2016).....	80
Figura 24 - Número de pontos de iluminação existentes por quilômetro de via (2016).....	81
Figura 25 - Distribuição percentual dos tipos de iluminação pública utilizados em Passo Fundo (2016).....	81
Figura 26 - Rua Independência (Passo Fundo), com utilização de postes com lâmpada LED	82
Figura 27 - Rua Independência (Passo Fundo), com utilização de postes com lâmpada de vapor de sódio.....	82
Figura 28 - Distribuição percentual dos tipos de iluminação pública utilizados em Porto Alegre (2016).....	83
Figura 29 - Correlação entre consumo médio mensal de energia elétrica por ponto de luz e o percentual de lâmpadas LED.....	84
Figura 30 - Av. da Legalidade e da Democracia (Porto Alegre), com utilização de postes com lâmpada LED.....	84
Figura 31 - Av. Osvaldo Aranha (Porto Alegre), com utilização de postes com lâmpada de vapor de sódio.....	84
Figura 32 - Distribuição percentual dos tipos de iluminação pública utilizados em Santa Maria (2016).....	85
Figura 33 - Av. Presidente Vargas (Santa Maria), com utilização de postes com lâmpada LED.....	85
Figura 34 - Distribuição mundial dos estudos de caso estudados de cada melhor prática.....	90
Figura 35 - Antes (a) e depois (b) do retrofit realizado em Los Angeles.....	99

Figura 36 - Antes (a) e depois (b) do retrofit realizado em Oakland.....	100
Figura 37 - Antes (a) e depois (b) do retrofit realizado em Belo Horizonte em 2010.....	100
Figura 38 - Iluminação na cidade de Rio Claro com utilização de painéis fotovoltaicos	104
Figura 39 - Sequência metodológica sugerida para a prática de timing em iluminação pública	105
Figura 40 - Esquema de horário e percentual de luminosidade do sistema de iluminação pública de Kirklees, Reino Unido	106
Figura 41 - Rodovia de implementação da prática em Kuala Lumpur, Malásia.....	107
Figura 42 - Investimentos da Cidade Inteligente de Búzios.....	108
Figura 43 - Resultado da Sensibilidade Dinâmica para Passo Fundo	117
Figura 44 - Resultado da Análise de Sensibilidade para Passo Fundo, com variação da importância dos critérios.....	117
Figura 45 - Resultado da Sensibilidade Dinâmica para Porto Alegre	118
Figura 46 - Resultado da Análise de Sensibilidade para Porto Alegre, com variação da importância dos critérios.....	118
Figura 47 - Resultado da Sensibilidade Dinâmica para Santa Maria	119
Figura 48 - Resultado da Análise de Sensibilidade para Santa Maria, com variação da importância dos critérios.....	120
Figura 49 - Performance do critério Custo de Implantação em Passo Fundo	121
Figura 50 - Performance do critério Economia de Energia em Passo Fundo.....	121
Figura 51 - Performance do critério Facilidade de Implantação em Passo Fundo	122
Figura 52 - Performance do critério Custo de Implantação em Porto Alegre	123
Figura 53 - Performance do critério Economia de Energia em Porto Alegre.....	123
Figura 54 - Performance do critério Facilidade de Implantação em Porto Alegre.....	123
Figura 55 - Performance do critério Custo de Implantação em Santa Maria	124
Figura 56 - Performance do critério Economia de Energia em Santa Maria.....	125
Figura 57 - Performance do critério Facilidade de Implantação em Santa Maria.....	125

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição dos municípios de acordo com a responsabilidade pela iluminação pública.....	33
Tabela 2 - Consumo de energia elétrica total per capita.....	67
Tabela 3 - Consumo total de energia elétrica	68
Tabela 4 - Taxa percentual do aumento do consumo total de energia elétrica.....	69
Tabela 5 - Consumo de energia elétrica dos setores residencial, comercial e industrial.....	70
Tabela 6 - Número total de consumidores.....	70
Tabela 7 - Taxa percentual do aumento do número total de consumidores	71
Tabela 8 - Número de consumidores dos setores residencial, comercial e industrial	71
Tabela 9 - Consumo médio de energia elétrica por unidade consumidora.....	73
Tabela 10 - Percentual de domicílios com energia elétrica das companhias distribuidoras.....	73
Tabela 11 - Percentual de domicílios com iluminação pública	74
Tabela 12 - Valor da tarifa residencial de energia elétrica	74
Tabela 13 - Percentual de oferta de energia elétrica oriunda de fontes renováveis.....	75
Tabela 14 - Simulação de cenários de economia de energia com o Retrofit em Passo Fundo	127
Tabela 15 - Simulação de cenários de economia de energia com o Retrofit em Porto Alegre	129
Tabela 16 - Simulação de cenários de economia de energia com Energia Alternativa e Gestão em Santa Maria	131

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Funções e importância da iluminação pública	29
Quadro 2 - Tipos de lâmpadas utilizadas em iluminação pública	36
Quadro 3 - Classificação dos métodos de análise multicritério.....	47
Quadro 4 - Escala fundamental de Saaty	49
Quadro 5 - Indicadores de eficiência energética	56
Quadro 6 - Fonte e período de análise dos indicadores de eficiência energética das cidades..	56
Quadro 7 - Indicadores quantitativos de diagnóstico de iluminação pública	58
Quadro 8 - Indicadores qualitativos de diagnóstico de iluminação pública	59
Quadro 9 - Classificação das melhores práticas de acordo com os aspectos que regulam seu sucesso	61
Quadro 10 - Indicadores qualitativos de diagnóstico de iluminação pública	86
Quadro 11 - Resumo das melhores práticas em Iluminação Pública pesquisadas	88
Quadro 12 - Etapas do projeto de eficiência energética na iluminação pública de Gaia, em Portugal.....	93
Quadro 13 - Opções de implementação do Programa de Retrofit da Iluminação Pública	97
Quadro 14 - Classificação das melhores práticas de acordo com aspectos reguladores de seu sucesso	111
Quadro 15 - Perfil dos decisores participantes do questionário online	113
Quadro 16 - Razão de consistência para os julgamentos de cada decisor	114
Quadro 17 - Resultado obtido para o município de Passo Fundo, antes e depois do descarte de julgamentos inconsistentes	115
Quadro 18 - Resultado obtido para o município de Porto Alegre, antes e depois do descarte de julgamentos inconsistentes	115
Quadro 19 - Resultado obtido para o município de Santa Maria, antes e depois do descarte de julgamentos inconsistentes	116

LISTA DE SIGLAS

AHP – Analytic Hierarchy Process

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

EERE – *Energy Efficiency and Renewable Energy*

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

FEE – Fundação de Economia e Estatística

GWh - Gigawatt-hora

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IP – Iluminação Pública

kWh - Quilowatt-hora

LED – *Light Emitting Diode*

OEE – *Office of Energy Efficiency*

PLAMGE – Plano Municipal de Gestão da Energia Elétrica

PLEEC - *Planning for Energy Efficient Cities*

PNEf – Plano Nacional de Eficiência Energética - Minas e Energia

PRESUST-RS – Pré-requisitos para a sustentabilidade dos municípios do Rio Grande do Sul

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

TRACE – *Tool for Rapid Assessment of City Energy*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Problema da pesquisa	16
1.2	Justificativa	17
1.3	Objetivos	20
1.3.1	Objetivo geral	20
1.3.2	Objetivos específicos	20
1.4	Estrutura da Dissertação	20
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1	Cidades sustentáveis e smart cities	21
2.2	Eficiência energética	23
2.2.1	Abordagem em diferentes contextos	23
2.2.2	Plano Nacional de Eficiência Energética	26
2.3	Iluminação Pública	27
2.3.1	Definição, importância e funções	27
2.3.2	Situação da Iluminação Pública no Brasil e no Rio Grande do Sul	29
2.3.3	Responsabilidade sobre Iluminação Pública no Brasil	31
2.3.4	Legislação e normas sobre Iluminação Pública no Brasil	33
2.3.5	Partes integrantes do sistema de Iluminação Pública	34
2.3.6	Plano de Gestão e Plano Diretor de Iluminação Pública	37
2.4	Indicadores de Eficiência Energética	38
2.5	Sustentabilidade na Iluminação Pública	40
2.6	TRACE: ferramenta online para identificar oportunidades de eficiência energética	41
2.6.1	Coleta de indicadores e benchmarking	42
2.6.2	Priorização de setores	43
2.6.3	Recomendações de Eficiência Energética	43
2.7	Processo de decisão	45
2.7.1	Método de Análise Multicritério	46
3	METODOLOGIA	51
3.1	Área de estudo	51
3.1.1	Passo Fundo	52
3.1.2	Porto Alegre	52
3.1.3	Santa Maria	53
3.2	Processo metodológico	53
3.2.1	Indicadores de Eficiência Energética	55
3.2.2	Diagnóstico da iluminação pública	57
3.2.3	Pesquisa por melhores práticas	59
3.2.4	Processo de decisão	61
3.2.5	Apresentação das melhores práticas selecionadas	64
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	67
4.1	Indicadores de Eficiência Energética	67
4.1.1	Indicador EE1 - Consumo de energia elétrica total per capita	67
4.1.2	Indicador EE2 - Consumo total de energia elétrica	68
4.1.3	Indicador EE3 – Taxa percentual do aumento do consumo de energia elétrica total	68
4.1.4	Indicador EE4 – Consumo de energia elétrica por setor	69
4.1.5	Indicador EE5 – Número total de consumidores	70
4.1.6	Indicador EE6 – Taxa percentual do aumento do número total de consumidores	71

4.1.7	Indicador EE7 – Número de consumidores por setor.....	71
4.1.8	Indicador EE8 – Consumo de energia por unidade consumidora setorial.....	72
4.1.9	Indicador EE9 – Percentual de domicílios com energia elétrica da companhia distribuidora	73
4.1.10	Indicador EE10 – Percentual de domicílios atendidos por iluminação pública	73
4.1.11	Indicador EE11 – Valor da tarifa residencial de energia elétrica.....	74
4.1.12	Indicador EE12 – Percentual de oferta interna de energia elétrica produzida por fontes renováveis	74
4.1.13	Avaliação geral dos indicadores.....	75
4.2	Diagnóstico da iluminação pública	77
4.2.1	Indicadores quantitativos.....	77
4.2.2	Indicadores qualitativos.....	86
4.3	Melhores práticas	87
4.3.1	Programa de Auditoria e Elaboração de Guia	91
4.3.2	Programa de Retrofit da Iluminação Pública.....	96
4.3.3	Programa de energia alternativa em iluminação pública.....	101
4.3.4	Programa de gestão em iluminação pública	104
4.3.5	Classificação das melhores práticas	110
4.4	Processo de decisão de escolha das melhores práticas.....	112
4.4.1	Perfil dos decisores.....	112
4.4.2	Análise da Razão de Consistência.....	113
4.4.3	Análise de Sensibilidade	116
4.4.4	Análise de Performance	120
4.5	Melhores práticas escolhidas.....	126
4.5.1	Passo Fundo: Programa de Retrofit.....	126
4.5.2	Porto Alegre: Programa de Auditoria/Elaboração de Guia e Programa de Retrofit ..	128
4.5.3	Santa Maria: Programa de Energia Alternativa e Programa de Gestão.....	130
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	133
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	135

1 INTRODUÇÃO

O crescimento das cidades e a preocupação com o uso de recursos naturais faz com que o tema desenvolvimento sustentável seja cada vez mais abordado. A preocupação com a sustentabilidade abrange todos os segmentos da sociedade e a gestão das cidades possui fundamental contribuição para aliar aspectos sociais, econômicos e ambientais.

Conforme a International Electrotechnical Commission (2014), estes aspectos de sustentabilidade devem ser os objetivos de qualquer cidade, independentemente de suas características. A sustentabilidade econômica das cidades deve propiciar um ambiente dinâmico e produtivo, enquanto sociedade sustentável é aquela que garante acesso aos serviços básicos e evita exclusão social, e o meio ambiente sustentável é aquele com utilização dos recursos de forma racional, contribuindo para uma vida saudável para todos.

Nas últimas décadas, as cidades vêm implementando iniciativas que visam à atualização da infraestrutura urbana e seus serviços, justamente para atingir os três objetivos da sustentabilidade, surgindo então os conceitos de cidade sustentável, cidade ecológica e cidade inteligente, dentre outros. O objetivo de sua implementação, de modo geral, é melhorar a qualidade de vida nos ambientes urbanos, utilizando-se de inovação científica e tecnológica, construindo uma sociedade informada e consciente, com comunidades participativas e promovendo desenvolvimento urbano-rural balanceado e uma infraestrutura sustentável (JONG, 2015).

Energia é uma das necessidades da infraestrutura urbana. Ela é essencial tanto para os meios de produção quanto para o aumento da qualidade de vida da população, em função dos seus serviços gerados, incluindo-se entre eles a iluminação (MENKES, 2004). Dentre as diversas aplicações da iluminação, o sistema de iluminação pública tem destaque, por conferir qualidade de vida aos centros urbanos, atuar como instrumento de cidadania, contribuir para o desenvolvimento social e econômico, além de atuar na segurança pública, no tráfego, na prevenção da criminalidade e ainda valorizar o ambiente urbano e as áreas de lazer (CAMBRAIA, 2003; SCHULZ NETO, 2010).

Todas estas funções da iluminação pública vão ao encontro de sua importância para a infraestrutura urbana. Conforme Santos (2005), este serviço é um importante componente nos projetos de intervenção que visam a modernização e a valorização das cidades, além de ser fundamental para o desenvolvimento das atividades humanas, que só são satisfatórias com iluminação condizente.

Energia eficiente é a máxima prioridade na mudança para um padrão de energia sustentável. Nesse contexto, as cidades possuem papel central na transição para a sustentabilidade: como gestoras de serviços e utilidades interdependentes, são responsáveis por integrar soluções necessárias para avançar em eficiência energética (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 2015).

Em diversos países, há uma série de investimentos em eficiência energética em iluminação pública sendo aplicados com sucesso. Segundo a Siemens (2014), estes investimentos ocorrem em serviços de manutenção, de forma planejada para aumentar a efetividade e a disponibilidade dos sistemas; de modernização, com renovação dos sistemas de iluminação por meio de modelos mais eficientes e com custo razoável; de iluminação inteligente, que, por exemplo, ao invés de funcionar no modelo “tudo ou nada”, pode ser automaticamente ajustada de acordo com a iluminação do ambiente; e de operação, com serviços administrativos periódicos voltados para o controle do sistema.

No Brasil, as cidades vão gradativamente se adequando a estas novas formas de gestão da iluminação pública, não só pelo potencial de redução do consumo de energia, como também pelos custos representados e em como esta economia pode se reverter em melhorias do sistema, contribuindo para a sustentabilidade. O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), é um programa do governo que busca promover o uso eficiente da energia elétrica e combater o seu desperdício, contribuindo para a sustentabilidade no país e em todos os seus estados (ELETROBRAS PROCEL, 2013). A iluminação pública está dentro dos seus setores de apoio, e apesar de ser um programa nacional que acaba indiretamente impactando positivamente os estados que busquem o apoio técnico e científico, existe a necessidade de se abordar a temática de eficiência em nível local, para maior certeza de sua aplicação.

O PROCEL divulga constantemente no seu portal de informações casos de sucesso em diversos setores. Os mais recentes sobre iluminação pública abordam investimentos em lâmpadas LED em Tocantins e a iniciativa da prefeitura de Canoas, no Rio Grande de Sul, de gerar 100% de energia limpa para o setor (PROCEL, 2015a; PROCEL, 2015b).

Observa-se que o incentivo e as oportunidades para buscar iluminação pública mais eficiente para as cidades ocorrem, mas para que isto seja aplicável, são necessários estudos sobre a realidade dos sistemas utilizados e uma avaliação sobre as reais necessidades de cada cidade, a fim de se buscar uma gestão sustentável do setor.

1.1 Problema da pesquisa

O desenvolvimento sustentável e a preocupação com o meio ambiente têm se tornado tópicos cada vez mais constantes na sociedade atual. Ao contrário do que é possível pensar para empresas e indústrias, que podem optar por incluir estas questões em seu sistema de trabalho, seja visando redução de custos ou o atendimento às pressões do mercado consumidor, a inclusão de medidas de sustentabilidade nas cidades começa a ser vista como uma necessidade.

Atualmente, sabe-se que metade da humanidade vive nas cidades e o total deverá estar em torno de 70% até o ano de 2050. No Brasil, a população urbana chega a 85%, enquanto que no estado do Rio Grande do Sul este valor é ainda maior, atingindo níveis próximos a 90% do total (IBGE, 2010). À medida que as cidades vão crescendo em tamanho e população, cresce também a dificuldade de se manter o equilíbrio espacial, social e ambiental (PROGRAMA CIDADES SUSTENTÁVEIS, 2012). Neste ritmo, a demanda por alimentos, recursos, água e energia só tende a aumentar, fazendo-se aumentar também a preocupação com a sustentabilidade dos municípios.

Com foco em energia, Street (2015) aborda as crises que vem afetando todo o país desde 2001, passando por outras crises em 2010, 2012 e 2015, ano no qual o setor elétrico enfrentou grandes dificuldades. Neste contexto, indica tais eventos como resultado de um modelo que não prioriza a eficiência, tanto em nível nacional quanto municipal. Nacionalmente, percebe-se maior enfoque à produção de energia, a fim de atender a demanda, do que a programas de eficiência ao fim da cadeia, visando a redução do consumo. Já no âmbito municipal percebe-se pouca atenção às questões de eficiência, possivelmente em função dos estudos e incentivos financeiros que tais ações demandam.

Quando se avalia o consumo energético nas cidades, podem ser abordados diferentes focos, desde a energia nos transportes ou indústria até a energia consumida nas residências (DAI; GAO, 2016; SWAN; UGURSAL, 2009). Porém, outro foco bastante importante é o consumo de energia na iluminação pública, que de acordo com o Anuário Estatístico de Energia Elétrica (EPE, 2015), representa quase 4% do consumo total do Brasil e cerca de 2,5% do consumo no estado do Rio Grande do Sul. Este consumo do estado, em termos comparativos, equivale ao consumo de 10% das residências em um ano.

Esta comparação é fundamental para representar melhor a magnitude do consumo da iluminação pública, que muitas vezes não recebe atenção equivalente à importância que tem para as cidades. Por não receber esta atenção necessária, a iluminação pública permanece sendo

um setor de consumo energético cujo potencial de economia de custos e de eletricidade não é devidamente explorado.

Além disso, a iluminação pública pode apresentar elevado desperdício de energia elétrica causado pela utilização de equipamentos inadequados e, principalmente, devido à gestão deficiente desses serviços (SANTANA, 2010). Como em um primeiro momento o consumo de energia da iluminação pública pode parecer desprezível frente ao consumo global, as cidades acabam por não controlar o real consumo energético do setor, dando também menos importância à análise de custos e a viabilidade de medidas de eficiência energética. Outro fator importante a se considerar é que a fração do consumo de energia das cidades em iluminação pública poderia ser ainda maior, se o serviço possuísse melhor qualidade e maior abrangência; nesse sentido, os 4% do consumo total do Brasil, já significativos, se tornam ainda mais preocupantes, dada tal situação.

Ainda, o controle da gestão da infraestrutura dos serviços de iluminação pública é de responsabilidade do poder público municipal, o que representa um agravante desta problemática, em termos da continuidade de projetos, da capacitação técnica, baixos investimentos e abordagem reativa, o que é a realidade dos municípios brasileiros. Apesar disso, as concessionárias de energia elétrica apresentam importante interação no serviço de iluminação, tanto pelo fornecimento de energia quando pela manutenção e cessão das redes e postes. Uma terceira parte que integra esse conjunto de atores no que diz respeito à iluminação pública é o consumidor, que tem interesse na melhoria da qualidade do serviço e ainda paga por este, por meio da contribuição incluída na tarifa de energia.

Esta situação faz com que as cidades, mesmo tendo conhecimento da importância da gestão sustentável do setor, ou ainda das opções disponíveis para melhorar sua eficiência, não avaliem de fato como trazer estas melhorias para a sua realidade. Desta forma, a principal questão a ser respondida neste trabalho é: **que medidas de eficiência energética em iluminação pública podem ser aplicadas em municípios polo do Rio Grande do Sul, a fim de contribuir para a sua gestão sustentável?**

1.2 Justificativa

As demandas de energia representam um problema global que deve apresentar soluções energéticas locais, como programas de energia sustentável nas cidades (RADULOVIC et al., 2011). Desta forma, será possível satisfazer as exigências de mitigação das mudanças climáticas e também garantir segurança energética nos municípios.

A iluminação pública é uma área-chave para aplicação de eficiência energética, cujos benefícios vão além da redução do consumo de energia, mas incluem também a extinção de tecnologias nocivas ao meio ambiente, redução de custos com manutenção e melhor controle do sistema de iluminação, tudo isso dentro de três fatores de eficiência: utilização de energia renovável, redução de emissões de gases de efeito estufa e economia de energia primária (EUROPEAN PPP EXPERTISE CENTRE – EPEC, 2013).

Considerando que a iluminação pública representa uma parcela não desprezível do consumo de energia elétrica dos serviços públicos, sua eficiência deve ser alvo de cuidados idênticos aos que são dados a qualquer outro serviço (JESUS, 2010). Assim, os programas de eficiência energética neste campo são muito bem-vindos, já que existem diversas opções de economia de energia e algumas delas ainda permitem reduções de até 50% no consumo de eletricidade (LOBÃO, 2015).

Atualmente, o setor de iluminação desempenha um papel importantíssimo na economia mundial, envolvendo milhões de pessoas e movimentando recursos extraordinários, e, portanto, se caracteriza como uma área que deve buscar continuamente transpor novas barreiras de qualidade, custo e eficiência (ELETROBRAS, 2013). Evidencia-se que cada vez mais a importância de programas de gestão vem ganhando força e, tendo a energia a importância que tem na sociedade atual, ela deve ter grande destaque.

Pensando no desenvolvimento sustentável, formado pelos pilares econômico, ambiental e social, a eficiência energética em iluminação pública se justifica por representar investimentos econômicos que posteriormente se refletirão em economia, principalmente para a comunidade, que paga por este bem em sua conta de energia residencial; pela questão ambiental, visto que é possível integrar energias renováveis neste setor e contribuir para a redução de consumo; e social, pelo motivo de que atualmente 12% das residências do estado do Rio Grande do Sul não são atendidas por iluminação pública (IBGE, 2010), o que prejudica a equidade e segurança da população.

Apesar de todas funções e da importância que a iluminação pública representa para a sociedade, é comum observar maior atenção de trabalhos sobre eficiência energética em residências e indústrias (ALTOÉ, 2015; CHARLIER, 2015; CONSTANTINO, 2010; EPE, 2010; HAVAS et al., 2015; KAVOUSIAN, 2015; ÖZKARA, ATAK, 2015; PENG et al., 2015; SOLA; MOTA, 2015; WEBBER et al., 2015), não só pelo maior consumo global de energia, mas também por serem setores de relação mais direta com a população.

Ou ainda, quando se encontram trabalhos na área de iluminação pública, estes são direcionados muito mais à técnica do setor do que à sua gestão sustentável (FONSECA, 2015;

GREEN, 2015; KOSTIC, DJOKIC, 2009; MIGUEL, 2014; PEÑA-GARCIA, 2015; RABAZA et al., 2013). No entanto, basta imaginar como seria a vida em sociedade sem os sistemas de iluminação pública para concluir que é um setor que necessita de maior atenção por parte da gestão e que tem muito a contribuir se aliado com a busca pela eficiência e pela sustentabilidade.

Neste contexto, o presente trabalho visa atender para a iluminação pública como enfoque importante da eficiência energética, tanto quanto os demais setores de consumo, com base na importância que possui e nos ganhos significativos que podem ser obtidos. E por ganhos, entende-se não só os ambientais e econômicos já citados, mas também o quanto esta economia pode favorecer outros investimentos nas cidades, visando uma infraestrutura mais sustentável e que gere maior qualidade de vida para a população. Além disso, esta pesquisa está de acordo com o apresentado no Estatuto da Cidade (BRASIL, 2001a), que incentiva a busca por cidades sustentáveis e tem como diretriz o direito à infraestrutura, sendo que a iluminação pública é uma de suas partes integrantes.

Este estudo também pretende reduzir a deficiência científica no que se refere à visão de gestão sustentável da iluminação pública, ou seja, como buscar maior eficiência no setor e buscar a sustentabilidade em todos os seus eixos, com discussões ambientais, econômicas e sociais, e não apenas de estruturação técnica do serviço.

Abordando especificamente os municípios em estudo neste trabalho, Passo Fundo, Porto Alegre e Santa Maria, a iluminação pública já recebe certa importância, visto que estas cidades estão investindo em lâmpadas mais eficientes. Porém, tal investimento muitas vezes é feito sem o devido planejamento, ou ainda sem a verificação de diversas opções de gestão sustentável neste setor, com base na realidade local. Neste sentido, a pesquisa busca contribuir a fim de realizar o diagnóstico da iluminação pública e verificar que opções de eficiência melhor se aplicam, sendo útil para os gestores locais e para a comunidade científica como um todo, que passa a ter mais discussões neste âmbito do conhecimento.

O Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, em sua linha de pesquisa Planejamento Territorial e Gestão da Infraestrutura, tem desenvolvido vários trabalhos envolvendo a gestão das cidades. Esta dissertação trabalha com um tema relativamente novo na linha, o que contribuirá para expandir as pesquisas para o tema de eficiência energética, e ainda mais para a iluminação pública.

Além disso, este trabalho integra o projeto “Pré-requisitos para a sustentabilidade dos municípios do Rio Grande do Sul” (PRESUST-RS), que aborda questões importantes para as cidades gaúchas e é uma parceria entre três universidades do estado e uma alemã, sendo elas a Universidade de Passo Fundo (UPF), a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), a

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e a Hamburg University of Applied Sciences (HAW). Considerando que a iluminação pública é parte fundamental da gestão de uma cidade, também deve ser vista como base para aplicação de medidas de eficiência energética em busca da sustentabilidade no processo de gestão, governança e planejamento das cidades.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Investigar propostas para melhorar a eficiência energética em iluminação pública em municípios polo do Rio Grande do Sul visando uma gestão sustentável.

1.3.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos serão:

- a) Diagnosticar a eficiência energética dos municípios em estudo;
- b) Diagnosticar a iluminação pública dos municípios em estudo;
- c) Identificar melhores práticas nacionais e internacionais de gestão sustentável em iluminação pública;
- d) Avaliar a aplicabilidade destas práticas nos municípios em estudo;
- e) Apresentar as melhores práticas passíveis de aplicação nos municípios com discussão acerca das vantagens a serem obtidas.

1.4 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação está dividida em cinco capítulos. No primeiro, apresenta-se a introdução do trabalho, o problema, a justificativa e os seus objetivos. O segundo capítulo é composto da revisão bibliográfica, que aborda em especial a temática de cidades sustentáveis e a iluminação pública como setor que deve receber foco de medidas de eficiência energética.

No terceiro capítulo são descritos os procedimentos metodológicos utilizados, de cada etapa realizada. O quarto capítulo apresenta os resultados e discussões, e, por fim, o último capítulo é composto pelas considerações finais e sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, apresentam-se temáticas consideradas importantes para a fundamentação teórica do trabalho e também para o embasamento da aplicação metodológica. Inicialmente, trata-se de conceitos de cidades sustentáveis e *smart cities*, abordando na sequência a sua relação com a eficiência energética. Posteriormente, dá-se enfoque para a iluminação pública por meio de sua definição, funções, responsabilidade, legislação, partes integrantes, entre outros. Também são discutidos temas como o uso de indicadores de eficiência energética, a sustentabilidade na iluminação pública e o uso de processo de decisão com multicritérios.

2.1 Cidades sustentáveis e *smart cities*

Atualmente, verifica-se que os objetivos das cidades, sendo eles crescimento econômico, inclusão social e redução de emissões de carbono, estão se tornando cada vez mais interconectados com o sistema de infraestrutura. Para atingi-los, um modelo de projetos fragmentados não é apropriado, devendo-se investir em estratégias sistêmicas e de longo prazo (MAY et al., 2010).

Segundo Dixon et al. (2014), uma remodelagem do atual sistema das cidades envolve mudanças na organização da infraestrutura e do ambiente construído, com integração de conhecimento social e técnico, capacidade e responsabilidade, além de requerer novas formas de conhecimento para melhor integrar questões tecnológicas, econômicas e ambientais, com desafios sociais relacionados à implementação.

Em função dos desafios enfrentados pelas cidades, muitos estudos indicam como solução a adoção de *smart cities* e *sustainable cities*, ou seja, cidades inteligentes e cidades sustentáveis. Abdala et al. (2014) utilizam das definições de Romero (2007) e Caragliu (2011) para abordar em seu estudo as cidades sustentáveis e *smart cities*, respectivamente. A cidade sustentável seria aquela na qual a sociedade possui consciência de seu papel de agente transformador, havendo relação simultânea entre prudência ecológica, eficiência energética e equidade social. Já a *smart city* é aquela que recebe investimentos em capital humano, social e infraestrutura tradicional e moderna, contribuindo para o crescimento econômico sustentável e para uma alta qualidade de vida, com gestão racional de recursos naturais e governança participativa. Neste contexto, Abdala et al. (2014) concluem que tanto a sustentabilidade quanto a inteligência nas cidades direcionam para um ambiente colaborativo ao desenvolvimento.

Da mesma forma, Höjer e Wangel (2014) apontam que cidades sustentáveis apresentam o foco em infraestrutura para o metabolismo urbano, incluindo energia, gerenciamento de resíduos, saneamento e água, enquanto que as *smart cities* focam-se na interconexão entre tecnologias, produtos e serviços, para ação conjunta no sistema local. Em outras palavras, pode-se dizer que as cidades podem ser sustentáveis sem a utilização de tecnologias inteligentes e estas tecnologias podem ser usadas sem contribuir para o desenvolvimento sustentável. A situação ideal para se vencer os desafios urbanos e de infraestrutura da atualidade é justamente o incentivo às cidades sustentáveis e inteligentes, quando a tecnologia auxilia na busca pela sustentabilidade.

Figura 1 - Características e fatores de uma *smart city*

ECONOMIA INTELIGENTE (Competitividade)	POPULAÇÃO INTELIGENTE (Capital humano e social)
<ul style="list-style-type: none"> - Inovação - Empreendedorismo - Produtividade - Flexibilidade - Internacionalização - Habilidade de transformação 	<ul style="list-style-type: none"> - Nível de qualificação - Afinidade com aprendizagem ao longo da vida - Pluralidade social e étnica - Flexibilidade - Criatividade
GOVERNANÇA INTELIGENTE (Participação)	AMBIENTE INTELIGENTE (Recursos naturais)
<ul style="list-style-type: none"> - Participação nas decisões - Serviços públicos e sociais - Governança transparente 	<ul style="list-style-type: none"> - Atratividade de condições naturais - Poluição - Proteção ambiental - Gestão sustentável de recurso
MOBILIDADE INTELIGENTE (Transporte)	VIDA INTELIGENTE (Qualidade de vida)
<ul style="list-style-type: none"> - Acessibilidade local - Acessibilidade (inter-)nacional - Sistemas de transporte sustentáveis e inovadores 	<ul style="list-style-type: none"> - Instalações culturais - Condições de saúde - Segurança individual - Qualidade de habitação - Instalações educacionais - Atratividade turística - Coesão social

Fonte: Adaptado de Centre of Regional Science (2007).

As cidades lidam com uma série de funções a serem gerenciadas: edificações comerciais e residenciais, rede de energia, recursos naturais, gestão hídrica, gerenciamento de resíduos, transportes e mobilidade e assistência médica (ANGELIDOU, 2015; NEIROTTI et al., 2014). Tal gerenciamento fica mais acessível em função dos avanços tecnológicos, sendo possível alcançar a sustentabilidade em termos sociais, ambientais e econômicos. Belanche et al. (2016) reforçam também a importância da participação da comunidade por meio de atitudes

sustentáveis como forma de contribuição, já que em todas as funções a serem gerenciadas na cidade, há direta relação da população com os serviços urbanos.

De acordo com o Centre of Regional Science (2007), *smart cities* possuem como características Economia, Pessoas, Governança, Mobilidade, Ambiente e Vida inteligentes, como apresentado na Figura 1.

Cada característica possui uma série de fatores que a integram, sendo estes fatores determinantes para o sucesso de uma cidade inteligente, que usa tecnologia moderna para a vida urbana cotidiana. Esta cidade, integrando os conceitos de sustentabilidade, deve apresentar bom desempenho destas seis características, combinando ações inteligentes com a participação de cidadãos conscientes (CENTRE OF REGIONAL SCIENCE, 2007).

Pode-se destacar que, das características e fatores citados, diversos problemas das cidades atuais são considerados, com destaque para a governança justa, equidade social, desenvolvimento econômico, acesso à educação, poluição e gestão sustentável de recursos, o que engloba a eficiência energética, conceito que tem ganhado cada vez mais destaque nos planos de cidades sustentáveis e *smart cities*.

2.2 Eficiência energética

2.2.1 Abordagem em diferentes contextos

Segundo as Nações Unidas (UNITED NATIONS, 2010a), o tema energia é dividido em três grandes áreas: acesso à energia, energia renovável e eficiência energética, sendo esta última considerada o ponto principal de qualquer política energética. Os investimentos em eficiência são caracterizados por pequenos períodos de retorno e benefícios consideráveis, que incluem maior competitividade econômica, porém ainda há um grande potencial de redução de consumo de energia, em função de obstáculos de implementação.

Aragón (2013) cita a eficiência energética pelo enfoque da redução do consumo de energia, que é outro problema global. No contexto empresarial, a eficiência contribui para diminuir a poluição ambiental, melhorar a produtividade e a competitividade das empresas, além de refletir em menores custos de operação. Menkes (2004) traz ainda a conexão entre eficiência e estabilidade e vulnerabilidade das economias, com relação direta na empregabilidade das cidades e da qualidade do meio ambiente, sendo a eficiência energética um instrumento-chave para reduzir impactos ambientais em todos os níveis (local, regional e

global), principalmente no que se refere às emissões de gases de efeito estufa e à contribuição para o desenvolvimento sustentável.

Estratégias de mitigação de mudanças climáticas e de redução da pobreza também têm, cada vez mais, se tornado fatores essenciais para promover melhorias de eficiência energética e, além disso, contribuir para a segurança energética. Para países que tendem a recorrer a combustíveis fósseis e dependem de importação, estando vulneráveis às flutuações dos preços internacionais da energia, reduzir a demanda de energia e melhorar a eficiência energética representam opções atraentes (UNITED NATIONS, 2010a).

A Empresa de Pesquisa Energética Brasileira (EPE, 2012) também faz referência à segurança energética, ou estabilidade energética, sendo a eficiência no uso da energia um vetor importante no atendimento da demanda, para uma tarifa acessível para todos, para a competitividade da economia e para a redução das emissões de gases de efeito estufa. Mais uma vez, percebe-se que a eficiência atua nos três pilares da sustentabilidade.

Nas últimas décadas, países como Japão e Dinamarca têm aplicado maiores esforços em eficiência energética e têm conseguido separar parcialmente o crescimento econômico do crescimento do consumo energético (UNITED NATIONS, 2010b). Tal realidade deve ser foco na gestão energética das cidades e a eficiência deve ser vista como solução para os desafios atuais que incluem as questões já citadas, como também para o desenvolvimento econômico e bem-estar humano.

Outro exemplo é a meta de aumentar em 20% a eficiência energética nos países europeus até 2020, por meio da estratégia de crescimento chamada Europa 2020, que engloba questões de inovação, educação, inclusão social, clima e energia (EUROPEAN COMMISSION, 2010). Para isto, muitos esforços individuais e coletivos estão sendo feitos, incluindo o incentivo ao uso de fontes renováveis de energia e medidas de eficiência para redução do consumo.

O destaque para a eficiência energética já ocorria na época do Relatório Brundtland (BRUNDTLAND REPORT, 1987), no qual ressalta-se a sua prioridade em políticas para o desenvolvimento sustentável. O relatório aponta ainda que, desde a década de 1970, com a primeira crise envolvendo o preço do petróleo, ganhos expressivos foram obtidos com medidas de eficiência energética.

Santos (2013) também aborda crise energética, mais especificamente a crise brasileira de 2001. Ele alerta para a busca da eficiência energética como solução, devendo ser foco de preocupação de projetos governamentais e tecnológicos, justamente por já existirem métodos e tecnologias que possibilitam a otimização do uso das fontes de energia tendo a mesma quantidade de valor energético, a fim de se evitar a repetição da crise de 2001.

Porém, em 2015, o Brasil enfrentou novamente uma crise energética que prejudicou a estabilidade do setor elétrico nacional. A crise é considerada por Street (2015) resultado de um modelo de gestão que reduz investimentos em transmissão e conservação de energia e o mais importante: não prioriza a eficiência energética.

Neste contexto, a eficiência energética surge como uma boa alternativa para reduzir a necessidade de aumento da capacidade geradora e novos investimentos, liberando recursos para medidas de proteção ambiental, de segurança e melhoria nos sistemas já existentes ou em tecnologias limpas (MENKES, 2004). Além disso, a importância da busca de maior eficiência energética e da transição para o uso de recursos renováveis tem sido ressaltada em toda avaliação sobre desenvolvimento sustentável.

Em termos de eficiência energética no consumo de eletricidade, Townsend (2013) aponta que a energia elétrica recebe maior importância quando seu serviço é interrompido por algum motivo, pois nesse caso é possível perceber o quão dependente as cidades são deste recurso. A rede de energia elétrica, considerando o nível de consumo atual, deve ser prioridade para cidades inteligentes, já que qualquer interrupção no fornecimento gera a parada de diversos serviços.

Nesse contexto, a Siemens atua na elaboração e implementação de projetos de eficiência e também *smart grids*, que são as redes de distribuição e transmissão de energia elétrica aliadas à recursos de tecnologia, ou seja, redes inteligentes. Um exemplo de aplicação ocorreu em 2011 em New Brunswick, no Canadá, onde a necessidade de modernização da rede de distribuição fez com que a concessionária de energia, em parceria com a Siemens, desenvolvesse um plano de integração da tecnologia de *smart grid* com o sistema já atuante na região. As ações incluíram planejamento do orçamento, englobando aspectos como a redução do consumo em horários de pico e eficiência (SIEMENS, 2013b).

Outro exemplo é o de Wachtendonk, na Alemanha, onde 80% da eletricidade é gerada por fontes de energia descentralizadas, principalmente painéis fotovoltaicos. Como esta geração oriunda de fontes renováveis se tornou uma realidade recente, o sistema não estava preparado para a alta entrada de energia, gerando oscilações fortes, instabilidade e sobrecargas. Assim, a Siemens atuou de maneira a manter a rede de distribuição estável, instalando medidores inteligentes nas casas e novas subestações para compensar as quedas de tensão. Uma das vantagens do projeto foi a aquisição de informações detalhadas sobre o comportamento de uma rede de distribuição inteligente e dados técnicos para futuras ampliações (SIEMENS, 2013a).

A busca por eficiência energética pode vir aliada a parcerias, como é o caso da Siemens, mas também de incentivos específicos de algum projeto. O PLEEC - *Planning for Energy*

Efficient Cities, é um projeto realizado na Europa em parceria com a *Hamburg University of Applied Sciences*. Sua abordagem visa integrar *smart cities* com energia sustentável e eficiente, atuando em 13 países da Europa para tornar suas cidades mais energeticamente inteligentes. Este projeto, que atuou de 2013 até o início de 2016, também se insere nas medidas europeias para buscar atingir as metas do Europa 2020, buscando reduzir o consumo de energia ligando empresas experientes no setor de energia com cidades ambiciosas e bem planejadas (PLEEC, 2013).

2.2.2 Plano Nacional de Eficiência Energética

As crises energéticas brasileiras e as discussões acerca de eficiência energética e a sua necessidade no planejamento das cidades levaram à elaboração do Plano Nacional de Eficiência Energética – PNEf (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MEE, 2011). Este plano refere-se à aplicação de ações que culminem na redução da energia necessária para atender as demandas da sociedade, com menor impacto à natureza.

Na verdade, o Plano surgiu da necessidade de se definir diretrizes para a eficiência energética, a fim de contribuir para o Plano Nacional de Energia 2030, cujo objetivo inclui o fornecimento de subsídios para a formulação de uma estratégia de expansão da oferta de energia com vistas ao atendimento da demanda, segundo uma perspectiva de longo prazo para o uso integrado e sustentável dos recursos disponíveis. (EPE, 2007).

O PNEf apresenta um histórico da legislação de eficiência energética no Brasil e o destaque é o marco regulatório do tema no país, por meio da Lei nº 10.295/2001, conhecida como Lei da Eficiência Energética. Ela dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, visando alocar recursos energéticos eficientemente e a preservação do meio ambiente (BRASIL, 2001b).

Na sequência, o PNEf aborda eficiência energética em diversos setores, incluindo indústrias, transportes, educação, edificações e iluminação pública. De forma breve, o plano expõe o panorama da iluminação, mostrando o potencial de redução de consumo por meio da troca das lâmpadas utilizadas, além de indicar linhas de ações propostas, que incluem a sugestão das lâmpadas de LED (*Light Emitting Diodes*).

2.3 Iluminação Pública

2.3.1 Definição, importância e funções

A Resolução Normativa da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, n.º 414 de 9 de setembro de 2010 (ANEEL, 2010), define iluminação pública como o serviço que objetiva prover de luz, no período noturno ou nos escurecimentos diurnos ocasionais, os logradouros públicos, inclusive aqueles que necessitem de iluminação permanente no período diurno. A Resolução ainda define a abrangência do serviço de fornecimento de energia para a iluminação pública:

Fornecimento para iluminação de ruas, praças, avenidas, túneis, passagens subterrâneas, jardins, vias, estradas, passarelas, abrigos de usuários de transportes coletivos, logradouros de uso comum e livre acesso, inclusive a iluminação de monumentos, fachadas, fontes luminosas e obras de arte de valor histórico, cultural ou ambiental, localizadas em áreas públicas e definidas por meio de legislação específica, exceto o fornecimento de energia elétrica que tenha por objetivo qualquer forma de propaganda ou publicidade, ou para realização de atividades que visem a interesses econômicos. (ANEEL, 2010, p. 30).

Conforme apresentado por Rosito (2009), desde a pré-história a evolução está ligada à utilização da iluminação natural e artificial, sendo fundamentais para o desenvolvimento humano. A iluminação pública tem como provável origem a Inglaterra no ano de 1415, quando comerciantes solicitaram alguma providência para combater o crime. Inicialmente foram utilizadas lâmpadas a óleo e a gás, e a partir do século XX, passou-se a utilizar as lâmpadas elétricas. Partindo da incandescente, passando pelas lâmpadas a vapor de mercúrio, vapor de sódio, multivapores metálicos e chegando ao LED, verifica-se grande transformação e avanço nos conceitos de iluminação pública.

Os sistemas de iluminação são parte integrante da infraestrutura e da paisagem urbana. Eles são responsáveis pela iluminação das ruas, por aumentar a sensação de segurança nos espaços públicos e tem contribuição para o charme noturno das cidades, especialmente as turísticas (SIEMENS, 2014). De acordo com a Figura 2, que apresenta os sistemas operacionais de uma cidade, a iluminação pública aparece no grupo de serviços públicos, junto de educação, saúde e segurança pública, o que denota ainda mais a sua importância.

A iluminação pública é essencial à qualidade de vida da população, atuando como instrumento de cidadania e permitindo aos habitantes desfrutar do espaço público no período

noturno e aproveitar melhor as áreas de lazer. Também atua na segurança do tráfego, previne a criminalidade, embeleza as áreas urbanas, valoriza monumentos, prédios e paisagens. O que se verifica é que se os sistemas de iluminação pública nas cidades forem melhorados, a imagem da cidade também será, estimulando a cultura do uso eficiente e racional da energia elétrica, e contribuindo para o desenvolvimento social e econômico da população (DAMBISKI, 2007; MASCARÓ, 2006; ROSITO, 2009).

De acordo com Eletrobras Procel (2013), a iluminação pública é um caso particular de iluminação externa que pode ser classificada como rodoviária, urbana e monumental. A iluminação rodoviária é aquela aplicada em estradas, enquanto que a urbana é relacionada às ruas, ou seja, a iluminação no perímetro urbano, instalada geralmente nos postes da rede de distribuição da concessionária de energia elétrica. Já a iluminação monumental é a que atende monumentos, fachadas de prédios ou obras civis consideradas artes, como é o caso das pontes e túneis.

Figura 2 - Sistemas operacionais da infraestrutura de uma cidade



Fonte: Adaptado de International Electrotechnical Commission (2014).

Considerando as diversas funções da iluminação pública, é praticamente impossível imaginar uma cidade de pequeno, médio ou grande porte sem este sistema. As cidades que ainda possuem iluminação inadequada ou ineficiente já têm a consciência dos benefícios que a melhoria do sistema de iluminação pode trazer, incluindo economia de energia, custos e reduzindo emissões de gases de efeito estufa (BOSE, 2010; ROSITO, 2009).

O Quadro 1 apresenta um resumo acerca das principais funções da iluminação pública, denotando a sua importância para a cidade.

Quadro 1 - Funções e importância da iluminação pública

Funções	Descrição da importância
Inibição do crime	A iluminação pública melhora a visibilidade, o sentido de orientação e, conseqüentemente, a segurança, não somente pela possibilidade de melhor identificar potenciais perigos como por inibir ações criminosas.
Promoção do jovem saudável	Com áreas bem iluminadas, pode-se fomentar a prática de atividades saudáveis nas áreas do esporte, lazer e da cultura, que afastam o jovem do crime e qualifica a sua presença nas ruas. O poder público pode promover ações esportivas, recreativas e culturais em áreas livres, bem iluminadas e atrativas.
Redução de acidentes de trânsito com pedestres e veículos	A iluminação também contribui para reduzir as possibilidades de acidentes de trânsito com pedestres, como choques com obstáculos na altura do solo – meios-fios, buracos, irregularidades. Da mesma forma, com ruas mais bem iluminadas, reduz-se o efeito do ofuscamento dos faróis de veículos sobre outros motoristas, evitando acidentes.
Atração de turistas	Pela promoção da sociabilidade, a iluminação pública permite os encontros sociais, realça certos objetos e valoriza o ambiente urbano, tornando as cidades mais atrativas, não só para a própria população, mas também para possíveis turistas.
Aumento da autoestima dos moradores	Contribui para a construção de uma cidade amigável, onde se pode circular com segurança e ter vida noturna agradável, elevando a autoestima dos cidadãos residentes nela.

Fonte: Adaptado de Governo do Estado de São Paulo (2013).

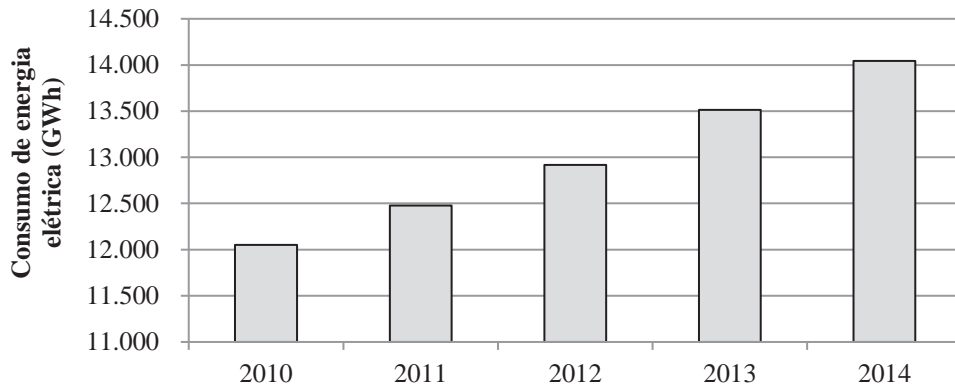
2.3.2 Situação da Iluminação Pública no Brasil e no Rio Grande do Sul

Conforme Marcato (2008), um levantamento cadastral realizado pela Procel/Eletróbrás em 2004, apontou que haviam no país aproximadamente 13 milhões de pontos de iluminação pública cadastrados, e que 46,21% desses pontos se localizavam na Região Sudeste, 21,39% no Nordeste, 19,15% no Sul, 9,40% no Centro-Oeste, e 3,85% na Região Norte. Apesar do período de mais de dez anos desde esta pesquisa, tais dados ainda vêm sendo utilizados para caracterizar a situação da iluminação pública no Brasil, em função de não haver estudo mais recente.

Por outro lado, anualmente, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) divulga o Anuário Estatístico de Energia Elétrica, que contém informações referentes ao consumo de energia elétrica por setores, englobando a iluminação pública. A Figura 3 apresenta os dados de crescimento do consumo de energia elétrica deste setor no Brasil. Em 2014, o consumo do setor representou 3,96% do total consumido pelo país, com a região sudeste sendo responsável por

43,5% do consumo global, seguida pela região nordeste com 22,8%, região sul com 16,5%, Centro-Oeste com 10,8% e por fim a região Norte com 6,5% (EPE, 2015).

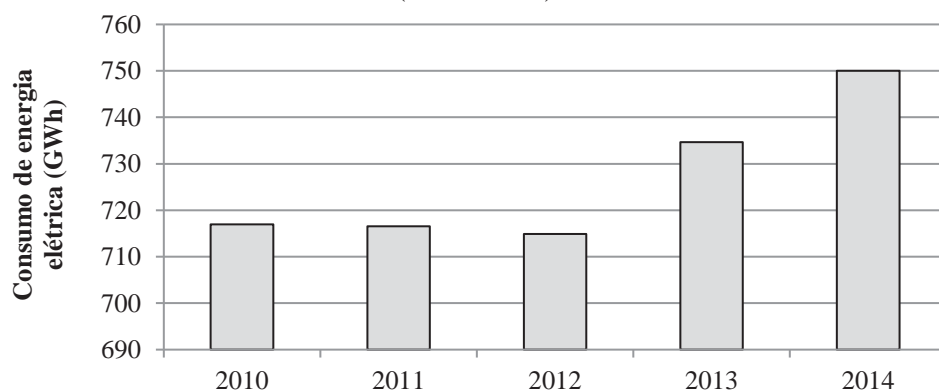
Figura 3 - Consumo de energia elétrica pelo setor de iluminação pública no Brasil (2010-2014)



Fonte: Adaptado de Empresa de Pesquisa Energética (2015).

Abordando-se especificamente o estado do Rio Grande do Sul, a Figura 4 apresenta os consumos de energia elétrica pelo setor nos últimos 5 anos disponíveis. Em 2014, este consumo representou 2,4% do total de energia consumida no estado (EPE, 2015). A avaliação do crescimento do consumo energético a nível nacional e estadual, respeitando a ordem de grandeza, denota maiores investimentos no país como um todo do que especificamente no Rio Grande do Sul, visto que de 2010 a 2014 o crescimento do consumo de energia foi de 16% no Brasil e em torno de 5% no estado.

Figura 4 - Consumo de energia elétrica pelo setor de iluminação pública no Rio Grande do Sul (2010-2014)



Fonte: Adaptado de Empresa de Pesquisa Energética (2015).

Ainda assim, observa-se, tanto em nível nacional quanto estadual, a tendência do consumo do setor ao crescimento, o que reforça a necessidade de buscar eficiência em

iluminação pública. Este aumento significativo nos últimos quatro anos são resultado da qualificação da urbanização das cidades, que passam a expandir e necessitar de melhorias na infraestrutura. A expansão urbana que vem ocorrendo nas cidades, assim como a construção de novos conjuntos habitacionais e urbanização de áreas irregulares, contribuem para o aumento dos pontos de iluminação. É importante relacionar o aumento no consumo com o quanto isto impacta nos cofres públicos em termos monetários, mesmo quando não é oferecido um serviço com a qualidade desejada pela população. Mais importante ainda é destacar que a eficiência, ao controlar este consumo, também impacta positivamente o consumidor, que paga pelo serviço.

2.3.3 Responsabilidade sobre Iluminação Pública no Brasil

De acordo com o artigo 30, inciso V da Constituição de 1988 (BRASIL, 1988), é de competência do município a organização e a prestação de serviços públicos de interesse local. Assim sendo, o serviço de iluminação pública é de responsabilidade do Poder Público Municipal.

Porém, o que ocorria em muitos estados era que a responsabilidade ficava por parte das distribuidoras de energia. A Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004 (BRASIL, 2004), que dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, em seu artigo 2º, declarava que as concessionárias de energia deveriam garantir o atendimento à totalidade do mercado, mediante contratação regulada, o que incluía o serviço de iluminação pública. A distribuidora era, portanto, responsável por este serviço, o que facilitava a questão principalmente para municípios de pequeno porte, por não terem a estrutura necessária para atividades técnicas específicas do setor.

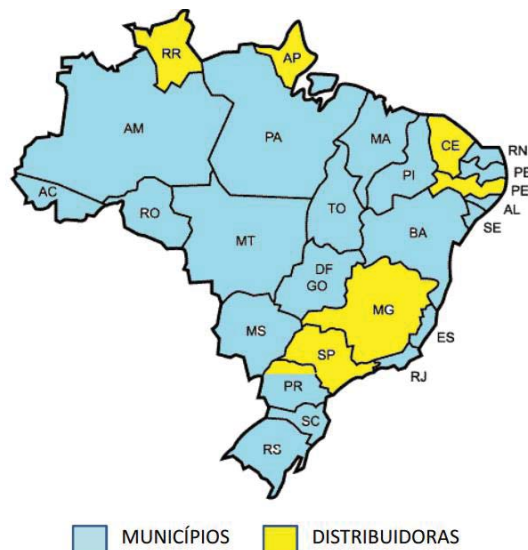
Visando manter a responsabilidade do serviço exclusiva ao poder público, a ANEEL publicou a Resolução Normativa nº 414/2010 (ANEEL, 2010), estabelecendo as condições gerais de fornecimento de energia elétrica de forma atualizada e consolidada. De acordo com o artigo 218 (reformulado pela Resolução Aneel 479/2012), a distribuidora deve transferir o sistema de iluminação pública, registrado como Ativo Imobilizado em Serviço – AIS, à pessoa jurídica de direito público competente e observando o prazo limite de 31 de dezembro de 2014 (reformulado pela Resolução Aneel 587/2013).

Assim, a partir de 2015, passou a vigorar no país a resolução que define que as distribuidoras de energia elétrica devem transferir os ativos de iluminação pública (luminárias, lâmpadas, relés e reatores) às prefeituras. Assim, o município passa a se responsabilizar pelo fornecimento, controle e planejamento dos serviços. Isto representa um desafio para muitas

idades, principalmente as menores, sem estrutura para tal responsabilidade, passando a ter três opções: criação de novos departamentos (mais funcionários públicos e novos equipamentos a adquirir e manter), contratação de empresa terceirizada para realização do serviço, por meio de licitação, ou desenvolvimento de Parcerias Público-Privadas (PPPs) que acumulem este ou mais serviços públicos (PROMON INTELLIGENS, 2014).

A situação da responsabilidade pela iluminação pública no Brasil em 2013 está apresentada na Figura 5, sendo Minas Gerais, São Paulo, Pernambuco, Ceará, Amapá, Paraná e Roraima os estados mais críticos, por possuírem maior número de cidades cujo fornecimento ainda é responsabilidade das distribuidoras. Até 2014, das 5.564 cidades brasileiras, 3.755 haviam assumido os ativos, faltando ainda 32,51% do total (PORTAL BRASIL, 2014).

Figura 5 - Distribuição da responsabilidade pela iluminação pública nos estados brasileiros



Fonte: Bragatto (2013).

Informações atualizadas do balanço mais recente da ANEEL apontam que, até maio de 2015, dos 5.564 municípios brasileiros, 5.107 (91,7%) já assumiram os ativos de iluminação pública, restando, portanto, 457 (8,3%). Os estados nos quais ainda há municípios que não assumiram a operação e a manutenção do serviço permanecem os mesmos de 2013 (ANEEL, 2015). A Tabela 1 apresenta a distribuição de municípios por estado, que já assumiram ou não a responsabilidade pela iluminação pública.

Tabela 1 - Distribuição dos municípios de acordo com a responsabilidade pela iluminação pública

Estado	Quantidade de municípios pendentes	Quantidade de municípios que assumiram
Amapá	16	-
Ceará	134	50
Minas Gerais	37	816
Paraná	18	381
Pernambuco	84	101
São Paulo	155	548
Roraima	15	-

Fonte: Adaptado de ANEEL (2015).

2.3.4 Legislação e normas sobre Iluminação Pública no Brasil

Após a Emenda Constitucional nº 39 de 2002 (BRASIL, 2002), todos os municípios e o Distrito Federal passaram a poder instituir contribuição, por meio de respectivas leis, para custeio do serviço de iluminação pública. Cada município cria sua legislação específica, instituindo a contribuição pelo serviço. Estas leis marcam a mudança da cobrança de “taxa de iluminação pública” para “contribuição”, apenas por questões legais referentes ao fato de que o termo “taxa” implicaria na obrigatoriedade pelo serviço, enquanto que a contribuição se refere ao atendimento a todo o município.

Outro requisito legal de destaque é a Resolução Normativa nº 414, de 2010, estabelecida pela ANEEL, que inclui condições gerais de fornecimento de energia elétrica (ANEEL, 2010). Esta resolução estabelece que, para fins de faturamento da energia elétrica destinada à iluminação pública, deve ser considerada duração de 11 horas e 52 minutos de consumo diário (com exceção de vias que demandem iluminação permanente, ou seja, 24 horas por dia). Apesar disso, fica claro que, após estudos realizados pelo município e distribuidora de energia, apresentados ao Observatório Nacional e aprovados pela ANEEL, o tempo a ser considerado pode ser diferente do estabelecido nesta resolução. Outra informação importante apresentada neste documento é a tarifa aplicável ao fornecimento de energia elétrica para iluminação pública, devendo ser considerada a B4a, que equivale a aproximadamente metade da tarifa residencial.

No que diz respeito a requisitos técnicos de funcionamento do sistema, a NBR 5101:2012 é uma norma que trata unicamente sobre Iluminação Pública (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2012). Ela fixa requisitos considerados como mínimos necessários à prestação do serviço e à segurança de pedestres e veículos. Além disso, esta norma serve como base para a elaboração do projeto luminotécnico das vias, e ainda

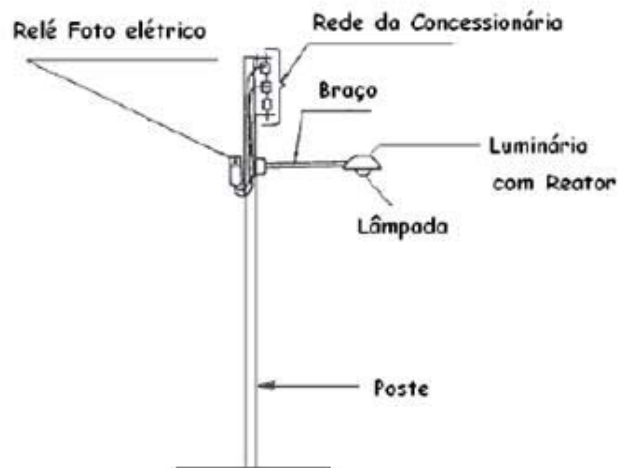
fixa níveis mínimos de iluminância para os vários tipos de vias em função da densidade de tráfego motorizado e de pedestres.

2.3.5 Partes integrantes do sistema de Iluminação Pública

Para se compreender todas as questões relacionadas à iluminação pública, também é necessário conhecer os componentes deste sistema, conforme apresentado na Figura 6, sendo eles: rede de distribuição, braço, relé fotoelétrico, reator, luminária e lâmpada.

Conforme Lopes (2002), a rede de distribuição da energia elétrica pertence à concessionária de energia do município, que também cede os postes para fixação do braço. A exceção ocorre nos casos em que o poder público municipal necessita da instalação de postes em locais onde não há os da concessionária, sendo estes novos de responsabilidade do município. O braço funciona como meio de fixação da luminária ao poste, devendo ser observada a resistência mecânica não apenas do peso da luminária, mas também de exposição ao vento, e o posicionamento com ângulo de saída não superior a 10° para não causar ofuscamento (ROSITO, 2009).

Figura 6 - Componentes do sistema de iluminação pública



Fonte: Adaptado de Santana (2010).

O relé fotoelétrico possui a função de monitorar a luminosidade local e fazer o acionamento e desligamento da iluminação pública. Acoplado normalmente junto à luminária ou ao braço, constitui-se de uma célula fotoelétrica que possibilita o acionamento da luz ao fim do dia e o desligamento ao amanhecer, além de eventuais acendimentos diurnos em caso de necessidade (SOUZA et al., 2010).

O reator é o componente que limita a corrente elétrica a ser fornecida para a lâmpada, a fim de garantir sua vida útil, representando um papel importante para a iluminação eficiente. Se for bem projetado, diminui as manutenções e perdas de energia, contribuindo para um melhor custo-benefício (ELETROBRAS PROCEL, 2013).

Lopes (2002) e Rosito (2009) apresentam a luminária como o componente que abriga a lâmpada, a protege de intempéries, e evita o direcionamento de iluminação para o céu. Mas, além disso, a função que ganhou mais destaque nos últimos anos é a de manter as condições ambientais adequadas para operação dos componentes, sendo fundamental para a eficiência da iluminação.

Por fim, a lâmpada, responsável de fato pela iluminação. Conforme Eletrobras Procel (2013), no Brasil, com o início da iluminação pública por volta de 1912, utilizaram-se as lâmpadas incandescentes, que na década de 30 foram substituídas pelas lâmpadas de vapor de mercúrio. No fim da década de 1980, começou-se a utilizar as lâmpadas de vapor de sódio. Mais recentemente, há o uso das lâmpadas de vapor metálico e LED. O Quadro 2 apresenta um resumo dos tipos de lâmpadas utilizadas em iluminação pública. A lâmpada LED se destaca pela maior eficiência luminosa, ótimo índice de reprodução de cor e longa vida útil, que faz com que o resultado de sua utilização seja vantajoso, apesar de demandar maior investimento financeiro em relação às demais.

Uma das medidas do Plano Nacional de Eficiência Energética inclui a substituição integral de todos os tipos de lâmpadas existentes na iluminação pública por lâmpadas de vapor de sódio (MEE, 2011), o que comprova o destaque desta tecnologia. Lopes (2014), Nogueira (2011) e Santos (2013), corroboram tal informação, mas ainda assim reforçam a ideia da utilização de lâmpadas LED, por sua série de vantagens.

Lopes (2014) e Santos (2013) explicam que o Plano apenas sugeriu as lâmpadas de vapor de sódio por avaliar o seu custo-benefício. Ou seja, na época, esta fonte era a ideal de se implementar, mas com o passar do tempo surgiram tecnologias mais eficientes e duradouras, com menor consumo de energia e menor frequência na realização de manutenção. Portanto, hoje em dia o LED já a supera, visto que tais trabalhos verificaram a vantagem econômica e ambiental desta tecnologia.

Com o LED passando a assumir preços mais acessíveis, espera-se que sua implementação não se restrinja apenas a grandes metrópoles, e também espera-se o declínio dos métodos tradicionais de iluminação pública, como é o caso do vapor de sódio (NOGUEIRA, 2011).

Quadro 2 - Tipos de lâmpadas utilizadas em iluminação pública e suas características

Tipos	Vantagens	Desvantagens	Potência (W)	Fluxo Luminoso (lm)	Eficiência Luminosa (lm/W)	Índice de reprodução de cor (%)	Vida útil (h)
Vapor de mercúrio	Boa eficiência luminosa e boa duração de vida.	Acendimento não instantâneo e maior consumo de energia em relação a outras fontes com mesmo fluxo luminoso.	80 - 1.000	3.600 - 58.000	45 - 58	45	9.000 - 15.000
Vapor de sódio	Ótima eficiência luminosa.	Acendimento não instantâneo e investimento inicial elevado.	70 - 600	5.600 - 90.000	80 - 150	20	18.000 - 32.000
Fluorescentes tubulares	Opções de reprodução de cor.	Inapropriada para iluminação pública, pela baixa eficiência e pela vulnerabilidade a intempéries.	40 - 110	2.700 - 8.300	68 - 76	75	7.500
Vapor metálico	Boa eficiência luminosa.	Acendimento não instantâneo e investimento elevado.	70 - 400	5.000 - 38.000	72 - 95	85	8.000 - 12.000
Mistas	Sem necessidade de equipamentos auxiliares.	Baixa eficiência luminosa e consequentemente maior consumo de energia, além de alto custo de manutenção.	160 - 500	3.100 - 13.500	19 - 27	60	6.000
LED	Elevada resistência, cores mais exatas, longo tempo de vida, muito eficiente, gerando baixo consumo de energia.	Demanda alto investimento.	60 - 100	4.200 - 7.000	70 - 208	75 - 100	50.000

Fonte: Adaptado de ELETROBRÁS, IBAM (2004); Novicki e Martinez (2004).

2.3.6 Plano de Gestão e Plano Diretor de Iluminação Pública

Tendo em vista as funções e a importância da iluminação pública e a responsabilidade dos municípios em relação a este serviço, a sua melhor gestão deve ser uma prioridade. Schulz Neto (2010) aponta como desafio a elaboração de Planos de Gestão Energética da Iluminação Pública Urbana, para que se torne eficiente e seja tratada em toda a sua complexidade.

A iluminação pública, representando considerável fração dos gastos municipais com energia elétrica, necessita de medidas de eficiência energética aliadas a planos que proporcionem a sua efetividade. Nesse contexto, atuam os Planos de Gestão em Iluminação Pública e os Planos Diretores de Iluminação Pública.

As primeiras iniciativas para a elaboração de planos surgiram na Europa, por volta da década de 1980. A maior justificativa para tal surgimento foi o desperdício energético da iluminação pública dos centros urbanos europeus e o impacto que seus custos apresentavam (INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE CURITIBA – IPPUC, 2012).

Como as primeiras iniciativas surgiram nos países desenvolvidos, são diversos os exemplos de planos relacionados com gestão da iluminação pública, como em Paris, Salt Lake City, San Jose, Columbus, Champaign e Minneapolis (DEPARTMENT OF PUBLIC WORKS, 2004; LYLE SUMEK ASSOCIATES, 2009; RALPH; CURL, 2010; SALT LAKE CITY CORPORATION, 2006; SAN JOSE REDEVELOPMENT AGENCY, 2003; SCHRÉDER GROUP, 2009). De modo geral, estes planos surgiram pela necessidade das cidades de proporcionar desenvolvimento urbano e ambiente agradável e seguro. Eles incluem os níveis adequados de iluminação, a proposta de utilização de iluminação inteligente, ou então novos *designs* de iluminação para cidade, incluindo afastamento entre postes de luz e outros parâmetros técnicos. Também abordam programas de remodelagem e manutenção da estrutura existente em certo período de tempo, e em maior ou menor destaque, a importância do plano também para os fatores ambientais de consumo de energia mais eficiente.

No Brasil, no âmbito da gestão energética municipal, o Plano Municipal de Gestão da Energia Elétrica (PLAMGE) é reconhecido como um instrumento que identifica áreas com potencial de redução de consumo de energia elétrica sem perda da qualidade do serviço ofertado, envolvendo eficiência energética (COLLAÇO, 2015). O PLAMGE aborda algumas áreas-chave, sendo elas iluminação pública, prédios públicos, saneamento, educação, fontes alternativas de energia, novas tecnologias e fornecimento de energia elétrica.

Conforme o Guia Técnico Procel – Gestão Energética Municipal (ELETROBRAS, IBAM, 2004), o Plano Municipal de Gestão de Energia Elétrica com enfoque em iluminação pública deve objetivar a redução das despesas com energia elétrica, melhoria da qualidade do sistema ao se utilizar lâmpadas e equipamentos mais eficientes, expansão do sistema, e gestão eficaz de sua rede física e de seus sistemas técnicos e administrativos.

Também existem diversos exemplos nacionais de adesão a estas ferramentas de gestão, dentre eles os planos elaborados pelas cidades de São Bernardo do Campo, Curitiba e Barbacena (SÃO BERNARDO DO CAMPO, 2015; BARBACENA, 2015; CURITIBA, 2011). Barbacena e Curitiba utilizaram o Plano Diretor de Iluminação Pública, que possui uma abordagem teoricamente mais relacionada à criação de identidade visual noturna, criativa e atraente para cidadãos e turistas. Apesar de este ser um dos objetivos do plano em ambas as cidades, e dos planos diretores como um todo, os realizados nestas cidades também incluem fortemente a eficiência energética e a sustentabilidade. Isto é feito por meio do incentivo à modernização do sistema, redução do impacto ambiental e do consumo, incluindo também processos de certificação ambiental, visando cobrar de fornecedores materiais com componentes que emitam menor quantidade de dióxido de carbono e favorecendo o reaproveitamento do material descartado.

São Bernardo do Campo construiu um Plano Municipal de Iluminação Pública, que também fugiu da abordagem tradicional de incluir apenas projeto luminotécnico e dar menor atenção à gestão do sistema de iluminação pública. O documento propõe maior enfoque ao diagnóstico da gestão energética, identificação da transversalidade da iluminação pública, avaliação de modelos de gestão para o sistema e redução do consumo de energia por meio de efficientização.

Estes exemplos mostram casos práticos de inclusão da iluminação pública na gestão energética municipal, e reforçam a ideia de um diagnóstico para avaliação da situação e também do monitoramento para continuar aplicando planos e programas em longo prazo.

2.4 Indicadores de Eficiência Energética

A eficiência energética e iniciativas de sustentabilidade têm uma ampla gama de resultados potenciais de energia, custo e outros termos. Mas para tanto, o uso de indicadores é fundamental para a gestão eficaz desses projetos (EUROPEAN COMMISSION, 2011).

Os indicadores são utilizados para se ter conhecimento acerca da situação atual do objeto de estudo, e também para monitorá-lo com o passar do tempo. A escolha dos indicadores de

cada projeto depende dos seus objetivos, e mesmo dentro de uma mesma temática podem ser observadas grandes variações.

Como exemplo Jägerbrand (2015) avalia a sustentabilidade na utilização de iluminação LED. Seus indicadores incluem aspectos relacionados a uso de sensores que limitam o tempo de iluminação para menor consumo, a intensidade luminosa (lúmen/m²), fator de perda luminosa, economia de energia (kWh/ano), luminância (cd/m²), número de luminárias por área, eficácia luminosa (lúmen/watt), uso de energias renováveis na produção dos materiais, quantidade de resíduos gerados, tempo de retorno do investimento, entre outros.

O Plano de Ação em Iluminação Pública da cidade de Ararat (ICLEI-A/NZ, 2004), na Austrália, considerou a verificação de três indicadores: emissões de gases de efeito de estufa, as percepções da comunidade sobre o serviço e custos com iluminação pública.

Abordagem semelhante foi dada pelo relatório de iluminação pública sustentável da cidade de Nova York (GALGANO, 2009). Este material sugere a avaliação do consumo de energia elétrica pelo setor de iluminação pública, assim como custos com energia, infraestrutura e manutenção e tipo de fonte utilizada.

Ostojic et al. (2013) avaliaram indicadores relacionados com o consumo de eletricidade, abrangência de iluminação da cidade, consumo de energia por poste de luz e os tipos de tecnologias utilizadas em cada um (vapor de sódio, vapor metálico, LED, entre outros).

O Guia de Iluminação Pública Sustentável da cidade de Moonee Valley (CITY OF MOONEE VALLEY, 2010), assim como o documento de Critérios para Sustentabilidade da Iluminação Pública da Holanda (NETHERLANDS ENTERPRISE AGENCY, 2011), englobam indicadores mais voltados à sustentabilidade qualitativa, envolvendo a aquisição de materiais de fornecedores locais e certificados, a utilização de materiais reciclados, e a existência de Plano de Iluminação para o município.

Becalli et al. (2015) consideram como indicadores de diagnóstico a potência instalada, o consumo de energia, a emissão de dióxido de carbono, custos de operação e de manutenção, além de informações técnicas das luminárias utilizadas, como quantidade por tipo, a tipologia da luminária e da lâmpada, e potência por lâmpada. Seguindo este mesmo padrão, Radulovic (2011) apresenta indicadores como o número de pontos de luz da cidade, o consumo total de energia por ano e o consumo médio por lâmpada.

O projeto de melhoria da qualidade e eficiência da iluminação do Rio de Janeiro, o RioLuz (PINTO, 2014), sugere a utilização de indicadores como o número total de pontos de iluminação, número de pontos por habitante, consumo médio mensal e custo médio de energia, e distribuição percentual dos pontos de iluminação pública por fonte. Este último também é

apresentado pelo Plano de Ação de Iluminação Pública Sustentável de Surf Coast Shire (SURFCOAST SHIRE, 2015).

Outro indicador é o de percentual de iluminação pública no entorno dos domicílios, considerando o total de domicílios. Este indicador é utilizado pelo Observatório da Cidade de Porto Alegre (OBSERVAPOA, 2015), que é uma base de informações sobre o município, e também é sugerido por Ostojic et al. (2013).

O que se percebe é que existe uma série de fontes de sugestão de indicadores, mas cada uma possui as particularidades de seleção que atendem à sua região, e ainda um enfoque particular de sustentabilidade, às vezes mais voltado para as informações técnicas de iluminação do que para a gestão do sistema. Além disso, observa-se grande dificuldade em encontrar informações e indicadores disponíveis, principalmente em base de dados brasileiras.

2.5 Sustentabilidade na Iluminação Pública

O principal objetivo da iluminação pública é proteger pessoas e bens, mas em função da crise financeira atual, além da própria pressão da sociedade acerca da proteção ao meio ambiente, os sistemas de iluminação devem ser também sustentáveis. A cada ano, os países consomem grandes quantidades de eletricidade em seus sistemas de iluminação pública. Nesse contexto, um excelente parâmetro para medir a sustentabilidade é a eficiência energética, e nos últimos anos, esta eficiência em instalações de iluminação pública vem se tornando uma importante área de estudo (RABAZA et al., 2013).

Sustentabilidade em iluminação pública engloba buscar soluções de iluminação ótima, atingindo todas as funções do sistema, com redução dos gastos de operação e eletricidade (KOSTIC, DJOKIC, 2009). Ou seja, esta conceituação aborda justamente os três eixos da sustentabilidade: o ambiental, o econômico e o social. A sustentabilidade ambiental em iluminação pública está no ato de reduzir o consumo, e com isso demandando menor uso de recursos naturais e emitindo menores quantidades de CO₂. A sustentabilidade econômica por haver redução dos gastos com o consumo, e com planejamento por parte da gestão, possibilidades de investimento que contribuam para a melhora de todo o sistema e das cidades como um todo. E por fim, a sustentabilidade social, pela eficiência no atendimento das funções do setor e existência de serviço disponível de qualidade para toda a população.

Radulovic (2011) aponta que a gestão sustentável da energia das cidades pode ser viável e ambientalmente responsável ao mesmo tempo. Pode também ser dito que a gestão representa uma força impulsionadora para projetos em direção ao sucesso em iluminação pública,

incentivando também a ideia do desenvolvimento de um futuro sustentável para toda a sociedade.

Um exemplo é o Plano de Ação para Iluminação Pública Sustentável da cidade de Melbourne. Este plano visa minimizar os impactos ambientais, ao mesmo tempo em que continua-se a prover iluminação pública de alta qualidade. A sustentabilidade no setor deve ser progressiva no sentido do comprometimento em prover tecnologias de iluminação eficientes e liderança governamental local para a gestão do serviço de iluminação pública (FUTURE MELBOURNE COMMITTEE, 2013).

Em outras palavras, a sustentabilidade em iluminação pública é justamente um dos itens necessários para se existir gestão sustentável de cidades. A Figura 7 ilustra a eficiência energética como parte integrante de cidades sustentáveis e inteligentes, sendo um de seus enfoques a iluminação pública.

Figura 7 - Relações envolvidas na sustentabilidade da iluminação pública



Fonte: Elaborado pela autora.

É importante que as cidades busquem modelos de gestão sustentável no setor, boas práticas e exemplos de sucesso, que incluam aplicação de tecnologia na iluminação, utilização de equipamentos mais eficientes, melhor planejamento do sistema de iluminação e sua gestão, e ainda utilização de energias renováveis (ASCURRA, 2013; BECALLI et al., 2015; FRANCO, SILVA, 2010; SÃO BERNARDO DO CAMPO, 2015; RALPH, CURL, 2010). Estes modelos de gestão incrementam cada vez mais a eficiência em iluminação e a sustentabilidade como um todo.

2.6 TRACE: ferramenta *online* para identificar oportunidades de eficiência energética

Considerando o desafio que as cidades enfrentam por ter que melhorar e ampliar os seus serviços mesmo com orçamentos limitados, a eficiência energética pode auxiliar a reduzir esta

pressão nos custos por meio do menor consumo de energia, além da contribuição para melhoria da qualidade dos serviços (ESMAP, 2013).

Neste contexto, o Banco Mundial criou uma ferramenta *online* que funciona como um sistema de apoio à decisão, projetado para auxiliar as cidades a identificar oportunidades de eficiência energética. Esta ferramenta é chamada de TRACE, do inglês *Tool for Rapid Assessment of City Energy* (Ferramenta Rápida para Avaliar a Energia das Cidades), e tem como foco os setores de baixo desempenho, avaliando seu aperfeiçoamento e potencial de redução de custos, ajudando a priorizar ações de eficiência energética em seis setores: Transportes, Resíduos Sólidos, Água e Esgoto, Iluminação Pública, Energia e Calor e Edifícios Públicos (ESMAP, 2013).

O trabalho com esta ferramenta consiste em três etapas: coleta de indicadores e *benchmarking*, priorização de setores e recomendações de eficiência energética, conforme apresentadas a seguir para o setor específico de Iluminação Pública.

2.6.1 Coleta de indicadores e *benchmarking* para iluminação pública








Os indicadores propostos pela ferramenta TRACE para iluminação pública são consumo de eletricidade por quilômetro de vias iluminadas (kWh/km), porcentagem de vias iluminadas na cidade (%) e consumo de eletricidade por poste de luz (kWh/poste).

Após a entrada destes dados nos campos específicos, conforme Figura 8, é possível avaliar os dados de *benchmark*, conferindo resultados de cada indicador obtidos por outras cidades que já informaram seus dados na ferramenta.

Até o momento, 20 cidades já preencheram os seus resultados de iluminação pública na TRACE, sendo possível verificar o desempenho da cidade em estudo em relação a estes outros dados. Uma crítica que deve ser feita, neste sentido, é que cada cidade apresenta os seus resultados de um determinado ano base, por exemplo, os dados de Nova York são de 2009, enquanto que os dados de Pristina são de 2011, ao passo que muitas cidades nem informaram o ano de referência.

No Brasil, Belo Horizonte e Rio de Janeiro são duas cidades que já utilizaram a ferramenta, mas para outros setores de avaliação (ESMAP, 2013).

Figura 8 - Preenchimentos dos indicadores na ferramenta TRACE

	Data Point	Year	Source	Proxy
	Electricity Consumed per km of Lit Roads [kWh/km]	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>
	Percentage of City Roads Lit [%]	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>
	Electricity Consumed per Light Pole [kWh/pole]	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>
				
				
				
				

Fonte: ESMAP (2016).

2.6.2 Priorização de setores

Esta fase consiste numa avaliação de cada setor com apoio de técnicos especialistas na área e tomadores de decisão. Inicialmente a TRACE mostra o "potencial de economia" de cada setor, indicando o alcance da melhoria em eficiência energética que a cidade pode buscar se corresponder à média dos melhores desempenhos das cidades com mesmos padrões de indicadores.

Na sequência, a ferramenta solicita as despesas do município com as atividades de cada setor e o grau de controle da autoridade municipal frente a cada um.

2.6.3 Recomendações de Eficiência Energética

Para que haja recomendações de medidas de eficiência energética, a ferramenta solicita mais algumas informações da cidade, referentes ao nível de competência desta em relação à Finanças, Recursos Humanos, Dados e Informações, Políticas e Regulamentações e Infraestrutura, podendo cada um ser avaliado como competência baixa, média ou alta. Estas respostas irão indicar as melhores recomendações para a cidade, conforme exemplo da Figura 9, que mostra a utilização das cores verde para bom resultado na cidade, cores amarelas para

recomendações que talvez sejam bem aplicáveis e cores vermelha para recomendações que são improváveis de funcionar na cidade (TRACE TOOL GUIDANCE, 2015).

Além disto, a TRACE disponibiliza uma “calculadora de economia de energia” em arquivo Excel, que permite o cálculo aproximado de quanto seria economizado de energia ao se considerar a situação ideal para a cidade, em cada setor. Em iluminação pública, a calculadora solicita número atual de postes de luz, número de postes após uma possível remodelagem do sistema, o custo do kWh, o gasto total do setor com energia, o número médio de horas que as luzes de iluminação pública ficam acesas por ano e distribuição percentual dos tipos de lâmpadas utilizadas e suas respectivas potências, antes e após a possível remodelagem que indica uma situação ideal para o município (TRACE TOOL GUIDANCE, 2015). Com isto, a calculadora fornece a economia que a remodelagem irá gerar, em unidades monetárias e de consumo de energia.

Figura 9 - Recomendações de eficiência energética pelo TRACE

Recommendation	Legend						Check to select
	C	F	H	D	P	A	
City Score		I	I	m	I	I	
City-Wide Integrated Public Lighting	Green	I	m	I	I	I	<input checked="" type="checkbox"/>
Lighting Timing Program	Yellow	I	I	I	m	m	<input checked="" type="checkbox"/>
Procurement Guide for New Street	Yellow	I	m	I	h	I	<input checked="" type="checkbox"/>
Public Spaces Lighting Audit and	Red	m	m	m	m	m	<input checked="" type="checkbox"/>
Street Lights Audit and Retrofit	Red	m	m	m	m	m	<input checked="" type="checkbox"/>
Street Signage Lighting Audit and	Green	I	I	m	m	I	<input checked="" type="checkbox"/>
Traffic Signals Audit and Retrofit	Yellow	I	I	m	m	m	<input checked="" type="checkbox"/>

Fonte: ESMAP (2016).

Por fim, a ferramenta apresenta as recomendações de eficiência energética de acordo com o potencial de economia de energia (kWh/ano), custo inicial de implementação (US\$) e velocidade de implementação, disponibilizando assim subsídios para que os municípios avaliem estas opções.

Apesar de ser uma ferramenta bastante completa em termos de informações sobre eficiência energética, a TRACE ainda representa um desafio para muitas cidades em função das informações que são necessárias para sua utilização não serem de fácil acesso ou de domínio

público. Além disso, a sua utilização requer tempo e recursos humanos para coleta dos indicadores, por isso a ferramenta é vista como um processo a ser implementado nas cidades, sendo que o próprio Banco Mundial dispõe equipes de consultoria externa para visitas às prefeituras e auxílio na programação do uso da ferramenta (ESMAP, 2013).

2.7 Processo de decisão

Sempre que existe uma escolha a ser feita, dentre uma série de opções e contando com alguns critérios de escolha, há a caracterização de um processo de decisão. Estes processos ocorrem na área científica, mas também no dia a dia das pessoas (como quando é necessário escolher qual carro comprar ou qual receita cozinhar) e na rotina empresarial (escolha de fornecedores ou empregados a serem promovidos, por exemplo).

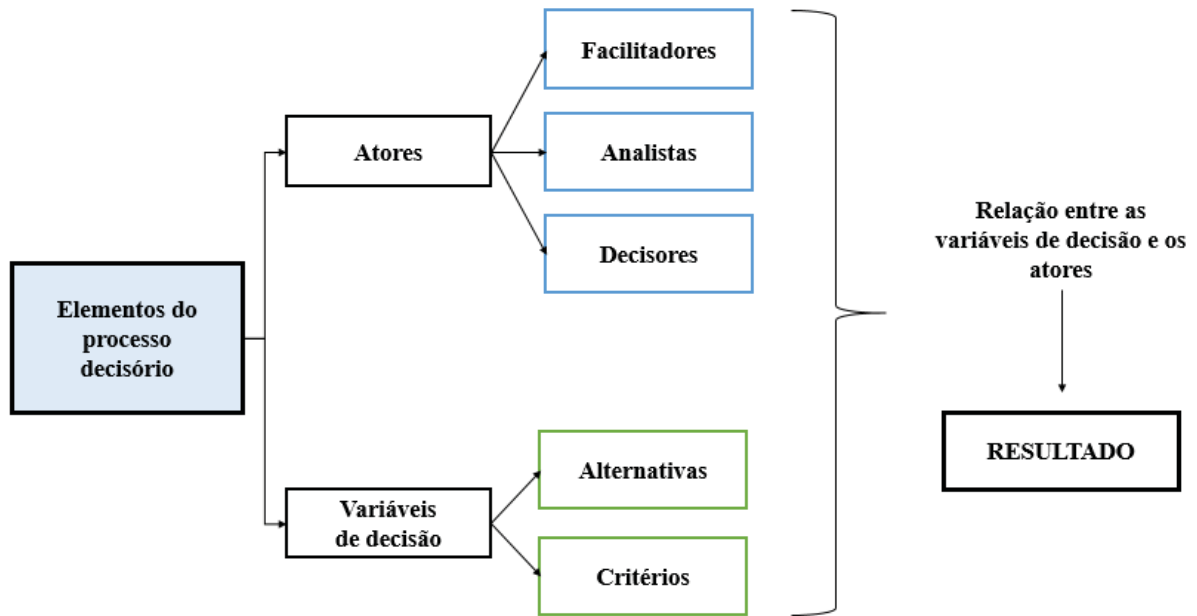
Conforme Silva (2006), uma decisão precisa ser tomada sempre que se depara com mais de uma alternativa para a solução, e mesmo que haja somente uma ação a escolher, ainda assim existe a alternativa de aplicarmos ou não esta ação. O indivíduo ou grupo responsável pela decisão, chamado de decisor, deve avaliar as alternativas, escolhendo-as segundo um ou mais critérios. Para situações simples, este processo pode acontecer intuitivamente, mas em situações mais complexas, com muitas opções e/ou critérios, é importante um tratamento adequado dos dados (CAMPOS, 2011).

Conforme Torres (2014), a definição dos elementos do processo de decisão conduz uma análise mais estruturada e avaliação mais consistente na obtenção da melhor solução. Assim, a Figura 10 descreve os elementos que fazem parte do processo decisório.

Os atores são indivíduos, entidades ou grupos de pessoas que têm interesse na decisão a ser tomada, pois estão envolvidos de forma direta ou indireta pelas consequências da decisão (CAMPOS, 2011). O decisor avalia as alternativas presentes para solucionar o problema em questão, enquanto que o analista é o consultor em multicritérios, ou seja, uma pessoa ou equipe com experiência no processo de tomada de decisão. E, por fim, tem-se o facilitador, que não é necessariamente especialista na metodologia, mas auxilia os demais atores durante o processo.

As alternativas são opções possíveis por meio das quais o decisor irá fazer sua escolha. Já os critérios são parâmetros sob os quais se deseja avaliar as alternativas, podendo ser de natureza quantitativa ou qualitativa e podem ter maior ou menor importância para a decisão (EKEL et al., 2009).

Figura 10 - Elementos do processo de decisão



Fonte: Adaptado de Torres (2014).

Para se chegar ao resultado de um processo de decisão, existem métodos específicos, e um deles é a análise multicritério, que ajuda na organização das informações disponíveis, na ponderação das consequências e na redução da possibilidade de decepção após a tomada de decisão (BELTON; STEWART, 2002).

2.7.1 Método de Análise Multicritério

Como o próprio nome diz, este método utiliza a aplicação de vários critérios na escolha da alternativa mais próxima da ideal. Segundo Belton e Stewart (2002), a análise multicritério é um auxílio na tomada de decisão, que ajuda na organização das informações disponíveis, na ponderação das consequências e na redução da possibilidade de decepção após a tomada de decisão. Ou seja, é uma ferramenta que auxilia os tomadores de decisão a lidar com situações complexas, nas quais o nível de conflito entre os critérios é muito alto (CIDAD; MANZANI, 2015).

Vincke (1986) classifica os métodos de análise multicritério em teoria da utilidade multiatributo, programação matemática multiobjetivo e métodos sobre classificação, como pode ser observado no Quadro 3.

Quadro 3 - Classificação dos métodos de análise multicritério

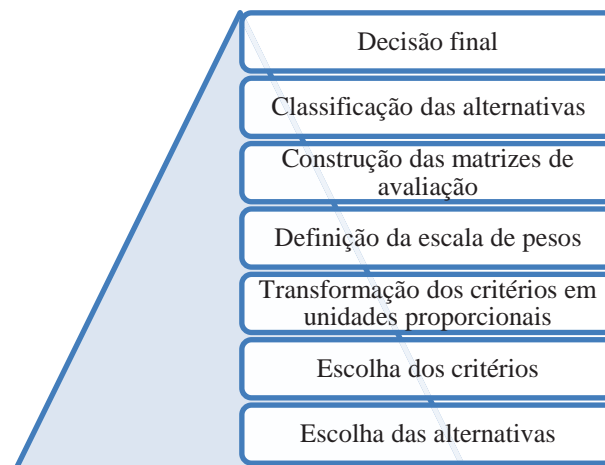
Método	Característica	Exemplo
Utilidade Multiatributo	Une diferentes pontos de vista do problema a ser solucionado	<i>Analytic Hierarchy Process - AHP</i>
Interativo ou Multiobjetivo	Seleciona a solução de melhor compromisso e busca a otimização do conjunto das funções-objetivo, através de critérios, utilizando ferramentas como programação linear e não-linear.	<i>Compromise Programming - CP</i>
Sobre classificação	Faz a comparação entre as opções com uso de relações binárias, determinando a superação de uma alternativa em relação à outra.	ELECTRE e PROMETHE

Fonte: Adaptado de Torres (2014)

Conforme estudo de Silva (2006), a maioria dos trabalhos científicos tende a utilizar o método AHP, porém a escolha entre um método e outro depende do tipo de problema com o qual se está lidando, o objetivo da decisão e a experiência do usuário com as técnicas.

Independente da escolha realizada, os passos do processo de decisão multicritério são os apresentados na Figura 11. A última etapa, chamada decisão final, requer julgamento humano, visto que os métodos apenas informam um resultado com base nas alternativas e critérios, cabendo ao decisor fazer a avaliação final (CIDAD; MANZANI, 2015).

Figura 11 - Passos sequenciais do processo de decisão



Fonte: Elaborado pela autora.

2.7.1.1 *Analytic Hierarchy Process - AHP*

O método AHP, ou Processo de Análise Hierárquica, é uma das ferramentas mais populares de apoio à decisão em função de sua simplicidade e possibilidade de serem utilizados

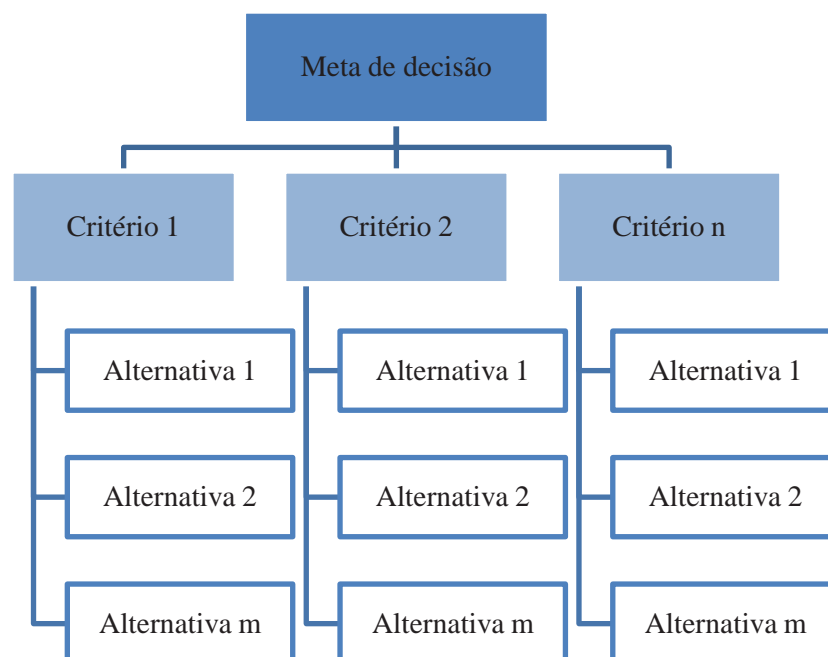
para grupos decisórios, envolvendo múltiplos atores, cenários e elementos de decisão. Foi desenvolvido por Thomas L. Saaty na década de 1970 e é, desde então, aplicado em diversos contextos: econômico, político, social e ambiental (SRDJEVIC; SRDJEVIC, 2013; SHIAU et al., 2002).

Conforme Vilas Boas (2005), o AHP é tão utilizado em função das vantagens de facilidade de uso, sólida base matemática e capacidade de avaliar fatores qualitativos e quantitativos, tangíveis ou intangíveis.

A Figura 12 mostra a estrutura do método, contando com os elementos de decisão de forma hierárquica. A estruturação deve conter todos os elementos envolvidos no processo e importantes para a resolução do problema, incluindo o objetivo da decisão, os critérios de avaliação e as alternativas para solucionar o problema e alcançar o objetivo proposto.

O AHP decompõe um problema com múltiplos fatores complexos em uma hierarquia e utiliza matrizes e álgebra linear para formalizar o processo de decisão (SRDJEVIC et al. 2002). A metodologia baseia-se numa matriz quadrada $n \times n$, onde as linhas e colunas correspondem aos n critérios analisados para o problema em questão. Assim, o valor a_{ij} representa a importância relativa do critério da linha i face ao critério da coluna j , e o mesmo vale para a avaliação das alternativas (ZAMBON et al., 2005).

Figura 12 - Estrutura do Método AHP



Fonte: Elaborado pela autora com base em Saaty (1980).

A fase da avaliação se refere ao julgamento das alternativas, incluindo a construção da matriz de julgamento, análise de consistência e análise de sensibilidade. Devem ser comparados, par a par, critérios e alternativas, de acordo com uma escala de peso chamada Escala Fundamental de Saaty, composta pela relação de uma escala numérica e uma escala verbal correspondente, conforme Quadro 4.

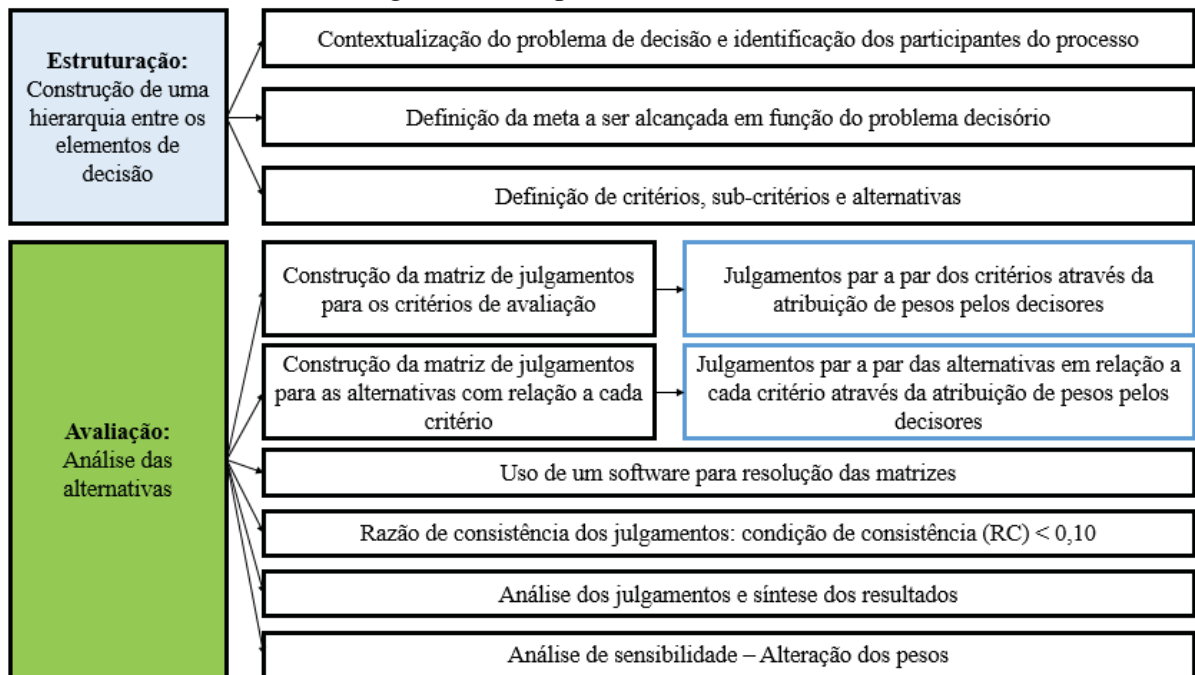
Quadro 4 - Escala fundamental de Saaty

Intensidade da importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	Os dois elementos em avaliação contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância moderada de uma sobre a outra	Experiência e o julgamento favorecem levemente um elemento em relação a outro.
5	Importância forte de uma sobre a outra	Experiência e julgamento favorecem moderadamente um elemento em relação a outro.
7	Importância muito forte de uma sobre a outra	Experiência e julgamento favorecem fortemente um elemento em relação a outro.
9	Importância absoluta de uma sobre a outra	Experiência e julgamento favorecem absolutamente um elemento em relação a outro.
2,4,6,8	Valores intermediários	Julgamento mais preciso da importância relativa dos elementos.
Recíproco dos valores acima	Se o elemento i recebe um dos valores acima quando comparado com o elemento j , então j recebe o valor recíproco se comparado a i	

Fonte: Elaborado pela autora com base em Saaty (1980).

A Figura 13 apresenta um resumo das etapas que envolvem o método AHP. Inicialmente, deve ser montada a hierarquia do problema, conforme já exemplificado na Figura 12. A avaliação em si, na sequência, pode ser feita em *software* Excel, porém são indicados softwares específicos do método para problemas com muitas alternativas e/ou critérios. Após a atribuição dos pesos, é necessário verificar a razão de consistência do estudo (que, conforme Saaty, deve ser inferior à 0,10) e com isso a análise de sensibilidade e de performance.

Figura 13 - Etapas do Método AHP



Fonte: Torres (2014)

Alguns autores já usaram este método para avaliar questões de eficiência energética em diversas áreas, como aplicação em shopping centers, escolha de indicadores de eficiência para edificações industriais e aplicação de práticas em empresas do setor metalmeccânico (BUCCIERI, 2014; CORTELETTI, 2015; MANO, 2014). Portanto, o uso da análise multicritério e especificamente do método AHP pode ser útil na avaliação de eficiência energética voltada para iluminação pública.

3 METODOLOGIA

Conforme classificação de Volpato (2011), esta pesquisa se caracteriza como descritiva, já que os passos metodológicos são determinados pela sua questão, e não por alguma hipótese pré-definida, que neste caso é desnecessária.

Adicionalmente, conforme Gil (2002), este trabalho também pode ser classificado como uma pesquisa exploratória, que visa aprimorar ideias ou conceitos e estimular a compreensão do tema estudado. Esta classificação se deve ao fato de que a pesquisa utiliza o estudo de multicasos, que compreendem o estudo profundo de alguns objetos, permitindo seu detalhado conhecimento.

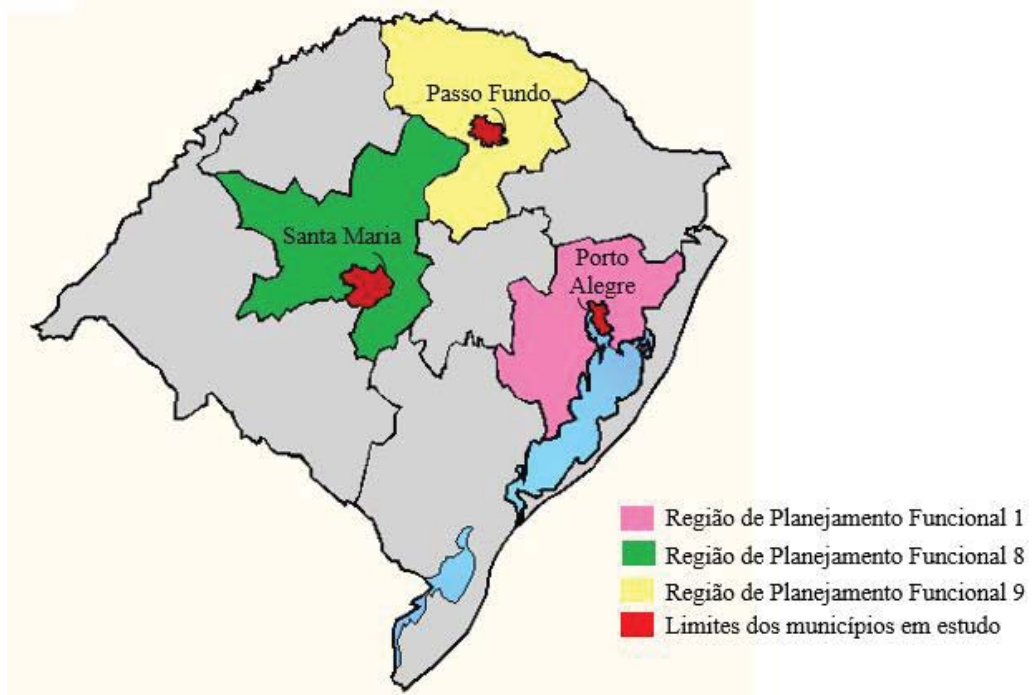
Este trabalho integra o projeto Pré-requisitos para a sustentabilidade dos municípios do Rio Grande do Sul (PRESUST-RS), que é uma parceria entre três universidades gaúchas e uma alemã, sendo elas a Universidade de Passo Fundo (UPF), a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e a Hamburg University of Applied Sciences (HAW). Todas contribuem em conjunto para o projeto que está sendo desenvolvido desde o início de 2015, com objetivo principal de investigar pré-requisitos para os municípios se tornarem mais sustentáveis, a fim de estimular medidas locais e/ou regionais que sejam adequadas às especificidades do estado do Rio Grande do Sul (SALVIA et al., 2015).

3.1 Área de estudo

A primeira etapa do projeto PRESUST-RS consistiu na definição dos municípios em estudo. Foram escolhidos Passo Fundo, Santa Maria e Porto Alegre, principalmente por considerar-se o a polaridade destes em relação aos municípios do entorno e por serem municípios-sede das universidades participantes do projeto.

Cada um destes municípios é destaque nas Regiões de Planejamento Funcional do Rio Grande do Sul. A Região de Planejamento Funcional 1 é representada pela capital Porto Alegre, sendo uma região metropolitana caracterizada pela heterogeneidade em seus setores econômico e territorial. Já a Região de Planejamento 8, com destaque para Santa Maria, que é a cidade mais antiga da região, tem função militar e educacional predominante. A Região de Planejamento 9, situada ao norte do estado, possui polo em Passo Fundo, que se destaca frente à sua região pelos equipamentos institucionais e de saúde. A localização das regiões e das cidades em estudo é apresentada na Figura 14.

Figura 14 - Localização dos municípios em estudo no estado do Rio Grande do Sul



3.1.1 Passo Fundo

O município de Passo Fundo está localizado ao norte do estado e no centro de sua Região Funcional. Apresenta, de acordo com o último censo realizado, uma população de 184.826 habitantes e área territorial de 783,4 km² (IBGE, 2010a). A estimativa do IBGE para população em 2015 era de 196.739 habitantes.

Conforme estudos de Moretto et al. (2008), em função da sua importância para a região, Passo Fundo começa a incorporar aspectos qualitativos do crescimento econômico e a responsabilidade com o meio ambiente e a própria população passa a cobrar mais da gestão pública a responsabilidade pelo desenvolvimento sustentável.

3.1.2 Porto Alegre

O município de Porto Alegre é capital do estado do Rio Grande do Sul, sendo considerada uma das principais cidades comerciais e industriais do país. A sua população de acordo com o último censo é de 1.409.351 habitantes e possui área territorial de 496,7 km² (IBGE, 2010b). Seguindo as estimativas do Instituto, a população estimada para o ano de 2015 era de 1.476.867 habitantes.

Desde 2011, Porto Alegre participa do Programa Cidades Sustentáveis, que visa contribuir para o desenvolvimento sustentável nos municípios brasileiros. De fato, foi a

primeira cidade a assinar o compromisso, que trata-se de uma iniciativa do Instituto Ethos, Rede Nossa São Paulo e Rede Social Brasileira por Cidades Justas e Sustentáveis para que os municípios programem metas que resultem em benefícios diretos para os cidadãos (PMPA, 2013). Assim sendo, a capital ganha destaque dentre as três cidades em estudo não só pelo seu porte, mas também por esta iniciativa.

3.1.3 Santa Maria

Santa Maria está localizada na região central do Rio Grande do Sul e possui 261.031 habitantes e 1.781,8 km² de área territorial (IBGE, 2010c). A estimativa do Instituto para população do município em 2015 era de 276.108 habitantes.

Conhecida como “Cidade Cultura”, Santa Maria está dando cada vez mais atenção para as questões ambientais que circundam o dia-a-dia da população, com ênfase em ações que visam promover a sustentabilidade, obtendo o reconhecimento público de sua preocupação com a educação ambiental, responsabilidade social e a sustentabilidade do município (ALMEIDA et al., 2015).

3.2 Processo metodológico

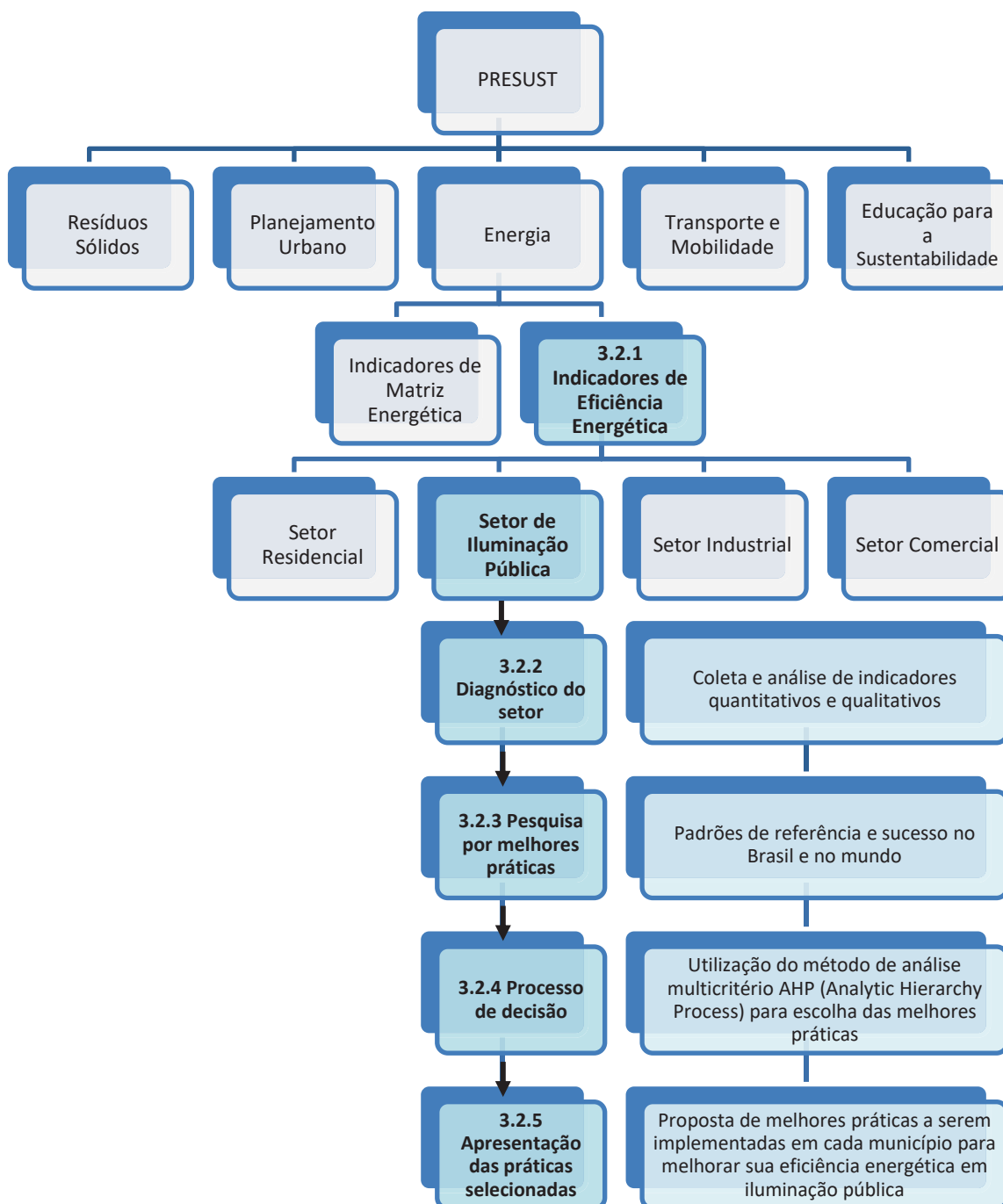
O projeto PRESUST-RS, no qual este trabalho se insere, possui diversos eixos temáticos. A abordagem metodológica desta pesquisa se enquadra no eixo Energia, com foco em eficiência energética, conforme apresentado na Figura 15. Dentro desta temática, poderia abordar os setores residencial, industrial ou comercial, mas em função das justificativas utilizadas neste trabalho, preferiu-se estudar o setor de iluminação pública.

De acordo com a legenda da figura, as etapas apresentadas em coloração cinza se referem às realizadas pelo projeto PRESUST-RS, enquanto que as etapas apresentadas em coloração azul foram realizadas pelo presente trabalho.

Inicialmente, é feita a apresentação de indicadores de eficiência energética propostos para as cidades, etapa que, após realizada, também contribuiu para o projeto PRESUST-RS. Tendo sido o setor de iluminação pública definido como foco deste trabalho, a segunda etapa refere-se ao diagnóstico deste serviço nos municípios. Para tanto, realizou-se a análise de indicadores selecionados, usando-se como escopo a iluminação pública urbana e rodoviária, quando localizada em área urbana. Na sequência, pesquisaram-se as melhores práticas de gestão da iluminação pública, ou seja, padrões de referência e sucesso nesta área. Após esta pesquisa,

foi possível identificar a aplicabilidade local destas práticas por meio de análise de decisão multicritério. Definindo-se assim, finalmente, quais medidas os municípios em estudo poderão incluir em sua gestão a fim de contribuir para a eficiência energética em iluminação pública.

Figura 15 - Delineamento do processo metodológico no qual este trabalho se insere



Legenda:  Partes integrantes do projeto PRESUST-RS

 Partes integrantes desta dissertação

Fonte: Elaborado pela autora.

3.2.1 Indicadores para diagnóstico da Eficiência Energética

A definição dos indicadores de eficiência energética considerou as seguintes fontes de pesquisa: referencial do programa Cidades Sustentáveis (PROGRAMA CIDADES SUSTENTÁVEIS, 2012); base de dados do Observatório da Cidade de Porto Alegre; o projeto PLEEC, que sugere indicadores para o monitoramento de cidades energeticamente eficientes; e a norma NBR 37120:2014, que trata sobre desenvolvimento sustentável de comunidades, apresentando indicadores de serviços municipais e qualidade de vida (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2014).

Dentre todos os indicadores disponíveis nestas fontes, os selecionados para este estudo consideraram os seguintes critérios: disponibilidade de dados, sua representatividade nas cidades em estudo e comparabilidade de seus resultados ao longo do tempo, para monitoramento da eficiência. Este conjunto de indicadores é apresentado no Quadro 5, juntamente com seu código para facilitar as discussões, os componentes da fração que geram o resultado (quando aplicável) e a unidade de medida do indicador.

A coleta de dados secundários ocorreu na base *online* da Fundação de Economia e Estatística (FEE), no Censo Demográfico 2010 do IBGE, no portal de informações da ANEEL e no Balanço Energético do Rio Grande do Sul. Por meio desta coleta, verificou-se a disponibilidade de dados dentre os anos de 1991 a 2012, sendo que se optou por coletar informações com um intervalo temporal de 5 anos, iniciando em 1992 e finalizando em 2012, a fim de se verificar variações. Tais informações referentes à fonte dos dados e período de análise podem ser observadas no Quadro 6.

Quadro 5 - Indicadores de eficiência energética

INDICADORES	CÓDIGO	FRAÇÃO	COMPONENTES	UNIDADE
Consumo de energia elétrica total per capita	EE1	Numerador	Consumo de energia elétrica total no ano (kWh)	KWh/hab. ano
		Denominador	População total do município	
Consumo total de energia elétrica	EE2	-	Quantidade total de energia elétrica consumida durante o ano de referência (em todos os setores)	MWh
Taxa percentual do aumento do consumo de energia elétrica total	EE3	Numerador	Diferença entre consumos de energia de dois anos consecutivos (MWh)	%
		Denominador	Consumo do primeiro ano (MWh)	
Consumo de energia elétrica por setor (residencial, industrial e comercial)	EE4	-	Quantidade de energia elétrica consumida por cada setor durante o ano de referência	MWh
Número total de consumidores	EE5	-	Quantidade total de consumidores atendidos pelas distribuidoras de energia em dezembro do ano de referência	un.
Taxa percentual do aumento do número total de consumidores	EE6	Numerador	Diferença entre número de consumidores de dois anos consecutivos (MWh)	%
		Denominador	Número de consumidores do primeiro ano	
Número de consumidores por setor (residencial, industrial e comercial)	EE7	-	Quantidade total de consumidores atendidos pelas distribuidoras de energia em dezembro do ano de referência	un.
Consumo de energia por unidade consumidora setorial (residencial, industrial e comercial)	EE8	Numerador	Consumo de energia (kWh) anual por setor	kWh/unidade consumidora
		Denominador	Número de unidades consumidoras em dezembro do ano de referência	
Percentual de domicílios com energia elétrica da companhia distribuidora	EE9	Numerador	Quantidade de domicílios com energia elétrica da companhia distribuidora	%
		Denominador	Total de domicílios	
Percentual de domicílios atendidos por iluminação pública	EE10	Numerador	Quantidade de domicílios atendidos por iluminação pública	%
		Denominador	Total de domicílios	
Valor da tarifa residencial de energia elétrica	EE11	-	Valor cobrado pelas distribuidoras de energia de cada município	R\$/kWh
Percentual de oferta interna de energia elétrica produzida por fontes renováveis	EE12	Numerador	Consumo de energia elétrica oriunda de fontes renováveis	%
		Denominador	Consumo total de energia elétrica	

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 6 - Fonte e período de análise dos indicadores de eficiência energética das cidades

Indicadores	Fonte dos dados e período de análise
EE1	Fundação de Economia e Estatística – 1992 a 2012 (FEE, 2015)
EE2	Fundação de Economia e Estatística – 1992 e 2012 (FEE, 2015)
EE3	Fundação de Economia e Estatística – 1992 a 2012 (FEE, 2015)
EE4	Fundação de Economia e Estatística – 1992 a 2012 (FEE, 2015)
EE 5	Fundação de Economia e Estatística – 1992 a 2012 (FEE, 2015)
EE6	Fundação de Economia e Estatística – 1992 a 2012 (FEE, 2015)
EE7	Fundação de Economia e Estatística – 1992 a 2012 (FEE, 2015)
EE8	Fundação de Economia e Estatística – 1992 a 2012 (FEE, 2015)
EE9	Censo demográfico 2010 (IBGE, 2010)
EE10	Censo demográfico 2010 (IBGE, 2010)
EE11	Agência Nacional de Energia Elétrica – 2007 a 2012 (ANEEL, 2015)
EE12	Balço Energético do Rio Grande do Sul – ano base 2012 (CAPELETTO; MOURA, 2013)

Fonte: Elaborado pela autora.

3.2.2 Indicadores para diagnóstico da iluminação pública

Conforme apresentado por Aragón et al. (2013), a etapa de diagnóstico é fundamental para se determinar os investimentos requeridos, visando a melhoria de eficiência energética. O diagnóstico tem a função de disponibilizar valores confiáveis sobre a situação atual e o entendimento sobre os benefícios que a eficiência energética traz.

De acordo com a metodologia de Becalli et al. (2015), as primeiras etapas de um trabalho sobre eficiência energética em iluminação pública devem incluir o diagnóstico do sistema atual e análise de consumo de energia, gastos e condições operacionais. Porém, de acordo com o Guia de Iluminação Pública Sustentável para a cidade de Moonee Valley (CITY OF MOONEE VALLEY, 2010), na Austrália, há uma série de informações qualitativas sobre a iluminação pública que deve ser avaliada a fim de se alcançar a sustentabilidade do setor.

Assim sendo, os indicadores para realização desta etapa foram divididos entre quantitativos e qualitativos. A seleção dos indicadores quantitativos foi realizada com base nos propostos pelo Observatório Porto Alegre (OBSERVA POA, 2015) e por Ostojic et al. (2013); nos indicadores utilizados na parceria entre o INMETRO e o programa RioLuz (PINTO, 2014); nos indicadores utilizados por Becalli et al. (2015) e Radulovic et al. (2011), além dos sugeridos pelo Plano de Ação para Iluminação Pública de uma região costeira da Austrália (SURFCOAST SHIRE, 2015) e por recomendações do Banco Mundial (ESMAP, 2016). Estes indicadores selecionados estão apresentados no Quadro 7.

Para os indicadores qualitativos, foram adaptados os indicadores sugeridos no Guia de Iluminação Pública Sustentável para a cidade de Moonee Valley (CITY OF MOONEE VALLEY, 2010) e no Guia de Critérios para Iluminação Pública da Holanda (NETHERLANDS ENTERPRISE AGENCY, 2011), sendo apresentados no Quadro 8.

Os critérios de seleção dos indicadores se basearam em três fatores: a disponibilidade de dados, a representatividade destes e a sua importância para a gestão sustentável das cidades. Estes indicadores são importantes para o monitoramento da sustentabilidade do serviço de iluminação públicas das cidades. Eles não são controlados por legislações ou normas, mas integram um grupo de informações que auxiliariam o poder público a controlar o seu sistema, e buscar a melhoria contínua.

Quadro 7 - Indicadores quantitativos de diagnóstico de iluminação pública

Indicador	Referência	Fração	Unidade
Porcentagem de domicílios atendidos por iluminação pública	Observa PoA (2015); Ostojic et al. (2013)	Domicílios atendidos por iluminação pública	%
		Total de domicílios	
Consumo mensal médio de energia elétrica da iluminação pública por ponto de luz	Adaptado de Pinto (2014); Becalli et al. (2015)	Quantidade de energia elétrica consumida pelos pontos de iluminação pública	kWh/ponto
		Total de pontos	
Custo mensal médio de energia elétrica da iluminação pública por ponto de luz	Adaptado de Pinto (2014); Becalli et al. (2015)	Gasto com iluminação pública (incluindo consumo de energia, troca de sistema e manutenção)	R\$/ponto
		Total de pontos	
Número de pontos de iluminação existentes por quilômetro de via	Adaptado de ESMAP (2016)	Quantidade total de pontos de iluminação	pontos/km
		Extensão total de vias do município	
Número de pontos de iluminação existentes <i>per capita</i>	Adaptado de Pinto (2014); Radulovic (2011)	Quantidade total de pontos de iluminação	pontos/hab.
		População total	
Distribuição percentual dos tipos de iluminação pública utilizados	Adaptado de Pinto (2014); SurfCoast Shire (2015); Ostojic et al. (2013)	Número de pontos de iluminação de cada tipo de iluminação utilizada	%
		Total de pontos	

Fonte: Elaborado pela autora.

Para coleta destas informações, foi utilizado o questionário apresentado no Apêndice A (com exceção do indicador “Porcentagem de domicílios atendidos por iluminação pública”, que foi coletado diretamente dos resultados do último Censo Demográfico do IBGE, realizado em 2010). O contato inicial feito com as prefeituras de cada município, mais especificamente com os setores de iluminação pública, foi realizado via telefone. Os responsáveis pelo setor, engenheiros eletricitas (Passo Fundo e Porto Alegre) e civil (Santa Maria), demonstraram preferência pelo contato via e-mail, para facilitar o preenchimento do questionário e evitar atraso do trabalho por necessidade de agendamento de horário presencial. Sendo assim, os questionários foram enviados por e-mail, mas manteve-se o contato por telefone com frequência quinzenal para verificar se os técnicos necessitavam de algum auxílio ou esclarecimento de eventuais dúvidas.

Junto da apresentação dos resultados dos indicadores, foram incluídas fotografias da iluminação pública, de forma a auxiliar na discussão de algumas informações.

Quadro 8 - Indicadores qualitativos de diagnóstico de iluminação pública

Indicador	Referência	Descrição	Resposta
Existência de Plano Diretor de Iluminação Pública ou de Plano de Gestão de Iluminação Pública	Adaptado de City of Moonee Valley, 2010; Netherlands Enterprise Agency, 2011.	Se o município possui Plano Diretor ou de Gestão de Iluminação Pública, com descrição de prazos de manutenção, troca de luminárias por outras mais eficientes, avaliação de posicionamento de luminárias, entre outros.	Sim ou Não
Proposta e implementação de luminárias eficientes		Se o município possui proposta e implementação de luminárias mais eficientes	Sim ou Não
Utilização de fontes renováveis na iluminação pública		Se o município possui sistema de utilização de fontes renováveis para geração de energia para iluminação pública	Sim ou Não
Uso de luminárias com materiais com longa duração		Se o município utiliza em seu sistema de iluminação pública materiais com longa duração	Sim ou Não
Uso de luminárias com certa parcela de materiais reciclados		Se o município utiliza em seu sistema de iluminação pública produtos com alguma parcela reciclada	Sim ou Não
Uso de luminárias com materiais passíveis de reciclagem/reuso ao fim de seu ciclo de vida		Se o município utiliza em seu sistema de iluminação pública materiais passíveis de reciclagem ou reuso	Sim ou Não
Utilização de materiais oriundos de fornecedores locais (raio de 300 km)		Se o município utiliza em seu sistema de iluminação pública materiais fornecidos por empresas locais	Sim ou Não

Fonte: Elaborado pela autora.

3.2.3 Pesquisa por melhores práticas

O conceito de melhores práticas engloba inovações tecnológicas, novos modos de utilização de recursos naturais, novos métodos de trabalho ou ferramentas, novas formas de colaboração entre partes interessadas, ou combinação entre estes casos, que geram resultados positivos para o ambiente e também, de preferência, para a economia e a sociedade em geral (EUROPEAN COMMISSION, 2005). Uma melhor prática deve ter sido implementada e gerado bons resultados, por isso seu conceito também inclui expressões como “bons exemplos” e “histórias de sucesso”.

Conforme Menkes (2004), o Brasil tem se baseado nas práticas de países desenvolvidos como Estados Unidos e Inglaterra, a fim de implementar ações de eficiência energética. Um grande diferencial é que nos outros países estes modelos de gestão são centrados na política ambiental, enquanto que no Brasil ainda são focados na política energética. Em sua metodologia, a autora propõe inicialmente a pesquisa por experiências internacionais nesta temática, utilizando como fontes os documentos oficiais das agências de eficiência energética

de alguns países estudados: Office of Energy Efficiency (OEE) do Canadá e Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE) do Estados Unidos.

Seguindo esta proposta de metodologia, a pesquisa por melhores práticas de gestão de eficiência energética em iluminação pública considerou estas duas fontes e outras selecionadas: materiais sobre projetos desenvolvidos pela Siemens, que é empresa líder na fabricação de diversos tipos de materiais (incluindo iluminação pública) e fornecedora de soluções para diversos setores (GRACIOSO; NAJJAR, 2001); recomendações do Banco Mundial por meio da ferramenta TRACE (TRACE TOOL GUIDANCE, 2015) e reportagens divulgadas no portal de informações do Procel.

Além destas fontes, também foram utilizadas bases de dados para pesquisa de artigos nacionais e internacionais sobre o tema, buscando-se as palavras-chave *boas práticas em iluminação pública, melhoras práticas em iluminação pública, tecnologias em iluminação pública, gestão de iluminação pública, best practices in public lighting, public lighting technologies, public lighting management, energy efficiency in public lighting e street lighting*.

Após a pesquisa por melhores práticas, elas foram organizadas em quatro tipos de programas, de acordo com seus objetivos, impactos e similaridades das ações. Para cada programa, são apresentados estudos de caso que auxiliam no entendimento das iniciativas que cada prática compila. A estratégia de agrupar as práticas pesquisadas em grandes grupos (os programas) foi utilizada a fim de facilitar a etapa seguinte da pesquisa, referente ao processo de decisão, no qual cada programa foi considerado uma alternativa a ser escolhida. É importante destacar então que, a partir deste ponto, para facilitar o entendimento das discussões, cada programa foi abordado como uma melhor prática.

Na sequência as melhores práticas foram classificadas de acordo com aspectos descritos por Abdmouleh et al. (2015). Estes aspectos, conforme os autores, regulam o sucesso do desenvolvimento e integração de práticas de energias renováveis, sendo então, neste trabalho, utilizados os mesmos aspectos em adaptação para avaliar as melhores práticas de iluminação pública, conforme Quadro 9.

Quadro 9 - Classificação das melhores práticas de acordo com os aspectos que regulam seu sucesso

<i>Aspecto Político</i>	Ações que necessitam de apoio político para implementação, como planos nacionais.
<i>Aspecto Fiscal</i>	Ações que envolvam apoio fiscal para implementação, como inclusão de taxas de penalização ou redução de taxas como bonificação.
<i>Aspecto de Financiamento</i>	Ações que necessitam de incentivo financeiro para implementação, como formas de financiamento e apoios públicos ou privados.
<i>Aspecto Legal</i>	Ações que dependem de ajustes e/ou incentivos legais, como mudanças nas tarifas e limitações de consumo.
<i>Aspecto Tecnológico e Ambiental</i>	Ações dependentes de realização de projetos e pesquisas na área tecnológica e ambiental

Fonte: Elaborado pela autora com base em Abdmouleh et al. (2015).

3.2.4 Processo de decisão

O método aplicado neste trabalho foi o de comparação par a par no contexto do processo de tomada de decisão AHP, em função da grande aceitabilidade do método no meio acadêmico e pela disponibilidade do *software*.

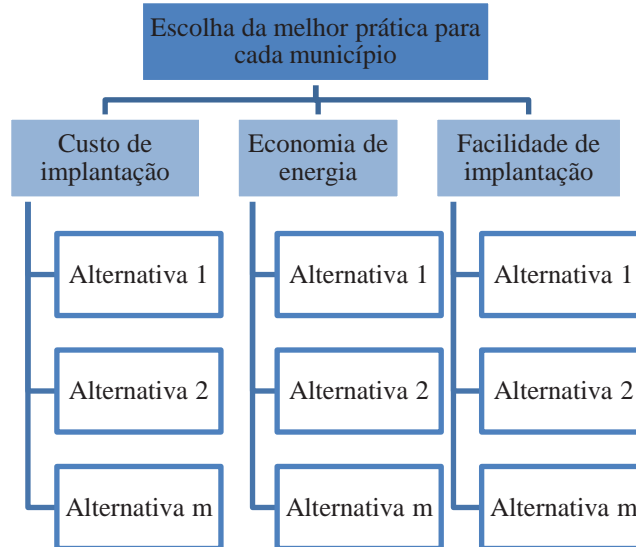
Esta metodologia demanda inicialmente a definição de um objetivo para nortear a análise, sendo este definido como a escolha da melhor prática a ser implantada em cada município. Na sequência, sugerem-se critérios que avaliarão estas práticas.

A seleção dos critérios utilizados neste trabalho baseou-se em duas principais fontes: a ferramenta TRACE (ESMAP, 2016) e o programa Promoting Energy Efficiency Best Practices in Cities, realizado pela International Energy Agency (JOLLANDS; KENIHAN; WESCOTT, 2008). A ferramenta TRACE apresenta em cada uma de suas recomendações de eficiência energética os atributos de cada uma, que incluem potencial de economia de energia, custo inicial e velocidade de implantação. E o programa citado avalia práticas de eficiência por meio de critérios referentes à economia de energia, investimento necessário e tempo demandado para sua implantação, dentre outros. Sendo estas avaliações aplicáveis e coerentes à temática do presente trabalho, os critérios selecionados foram adaptados destas fontes, apenas com ajustes no que diz respeito à nomenclatura utilizada a fim de facilitar o entendimento dos decisores no momento de fazerem seus julgamentos.

Conforme Doumpos e Grigoroudis (2013), quando se utiliza o método AHP, o número de julgamentos que devem ser feitos pelos decisores aumenta rapidamente com o aumento do número de critérios e alternativas selecionados. Além disso, quanto maior o número de critérios, maior número de comparações deve ser feito e isso pode implicar também na possibilidade de maior inconsistência dos resultados (FRANEK; KRESTA, 2014). Estes argumentos

contribuíram para a definição de três critérios neste trabalho, sendo eles o custo de implantação da prática, a economia de energia elétrica que ela representaria se implementada e a facilidade de implantação, conforme observado na Figura 16.

Figura 16 - Estrutura do método AHP nesta pesquisa



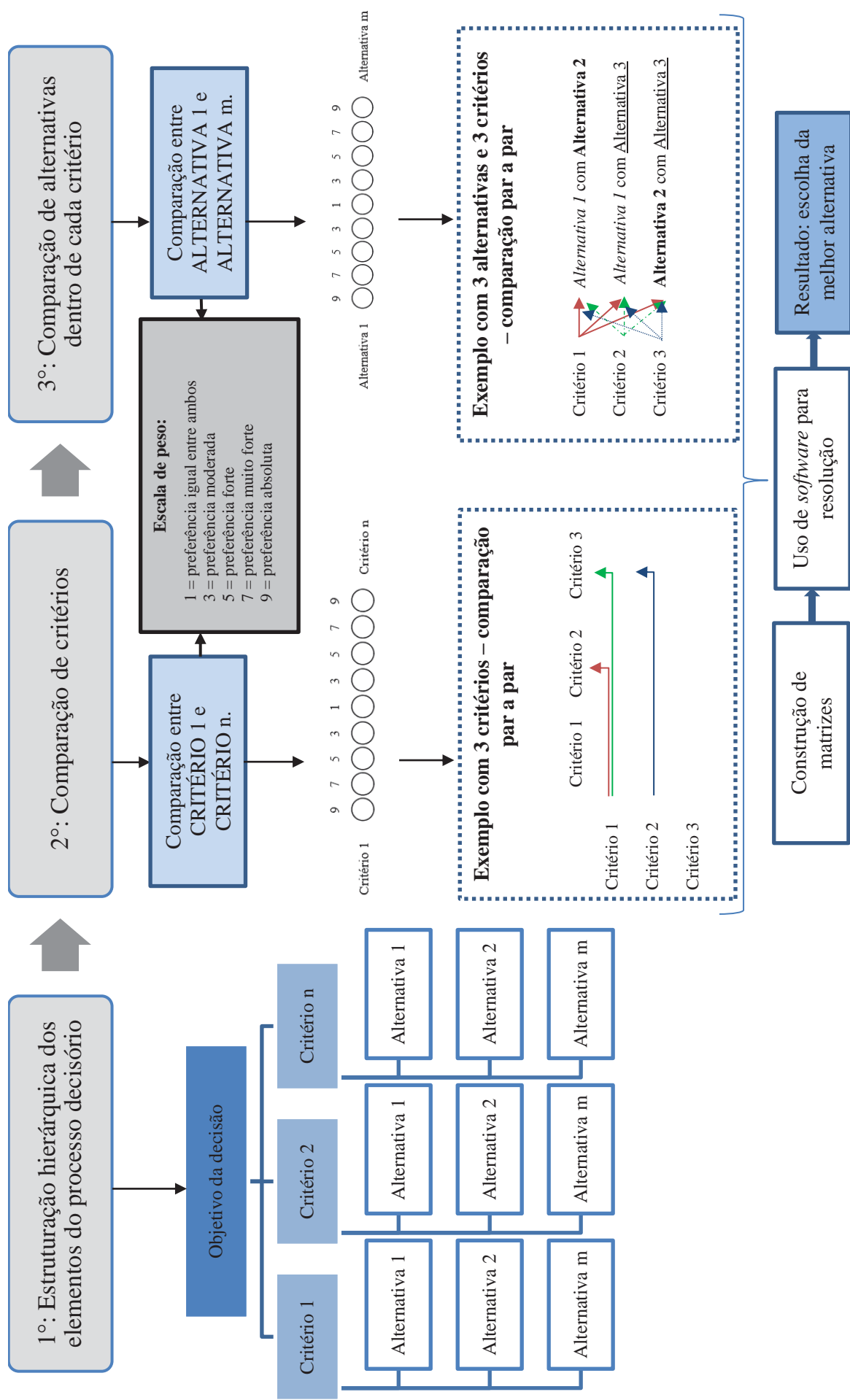
Fonte: Elaborado pela autora.

Os atores desta metodologia foram os decisores e a facilitadora. O grupo de decisores foi formado pelos técnicos responsáveis pela iluminação pública em cada município e professores das universidades participantes do projeto PRESUST, com experiência em iluminação pública. Cada técnico e professor fez a avaliação do seu respectivo município. O papel de facilitadora foi praticado por meio do envio dos questionários aos decisores, coleta das respostas e aplicação no software, funções estas realizadas pela autora desta pesquisa.

A etapa seguinte consiste na definição da importância relativa dos critérios selecionados e das alternativas a serem avaliadas. Para tanto, foi utilizado o questionário do Apêndice B, elaborado e aplicado aos decisores por meio do questionário Online Pesquisa.

Para facilitar a avaliação, esta análise multicritério utilizou a Escala de Saaty adaptada, que é uma estratégia utilizada também por outros autores (LISBOA; WAISMAN, 2007; SCALA; NEEDY; RAJGOPAL, 2010; TORRES, 2014). Este trabalho conta com cinco categorias verbais: preferência igual, moderada, forte, muito forte ou absoluta, que equivalem aos valores 1, 3, 5, 7 e 9 em escala numérica. Após a aplicação dos questionários, a facilitadora utilizou o software *Expert Choice 11* para análise dos resultados. O uso deste software permite a combinação dos julgamentos individuais a fim de se ter um resultado final para cada município. A Figura 17 resume todo o procedimento realizado.

Figura 17 - Etapas de aplicação da metodologia AHP nesta pesquisa



Fonte: Elaborado pela autora com base em Torres (2014)

Por meio dos resultados gerados pelo software, a discussão dos resultados inclui a análise de consistência, análise de sensibilidade e análise de performance. A primeira diz respeito à verificação da razão de consistência dos julgamentos realizados, que, conforme Saaty (1991), deve ser inferior à 0,10, a fim de denotar confiança no julgamento realizado. Caso contrário, as comparações devem ser reavaliadas pelos decisores. Porém, conforme Scala, Needy e Rajgopal (2010) e Briozo e Musetti (2015), a razão de consistência com limite de 0,10 é apenas uma recomendação de Saaty, e valores superiores não indicam erro no método, mas sim uma variação nos dados, que causou determinada inconsistência. Estes autores apontam então que o uso de uma razão de consistência de 0,20 como limite máximo ainda assegura resultados razoáveis quando os julgamentos finais são combinados.

Quando se aplica um questionário para diversos decisores exporem suas opiniões acerca de determinado tema, nem sempre é possível pedir para que eles revejam seus julgamentos, em caso de inconsistências (a fim de melhorar a razão obtida), e manter todas as comparações claras e consistentes pode apresentar um certo nível de dificuldade quando se fazem vários julgamentos. Por este motivo, considerar a razão de consistência com valor 0,20 é o mais apropriado em estudos desta natureza (SCALA; NEEDY; RAJGOPAL, 2010).

Considerando tais argumentos, e o fato de que os julgamentos individuais também foram combinados no presente trabalho, optou-se por considerar o valor de razão de consistência como sendo 0,20.

Além da análise de consistência, deve ser realizada a análise de sensibilidade, que consiste em avaliar a variação dos resultados caso houvessem mudanças nos julgamentos dos critérios. Para um resultado ser considerado mais confiável, o ideal é que haja pouca variação nas alternativas escolhidas, ou seja, mesmo com mudança de importância de cada critério, o resultado de escolha da melhor prática deve se manter o mesmo (ARAGONÉS-BELTRÁN et al., 2014). Utilizou-se 10% de variação mínima na pontuação original dos critérios, assim como realizado por Aragonés-Beltrán et al. (2014), para verificar se as alternativas se mantêm estáveis.

Além desta, a análise de performance avalia de forma mais aprofundada os resultados ao se considerar cada critério individualmente, possibilitando a verificação do comportamento de cada um e identificação do seu impacto nas alternativas escolhidas (SILVA, 2012).

3.2.5 Apresentação das melhores práticas selecionadas

Por fim, tendo-se como base a análise multicritério, foram propostas melhores práticas para os municípios. Conforme avaliação realizada, foi sugerida uma melhor prática ou uma associação entre elas, para melhor gestão do serviço de iluminação pública com base na sustentabilidade.

Para auxiliar a apresentação das práticas, foi utilizada a calculadora de economia de energia da ferramenta TRACE, disponibilizada em arquivo Excel no website do *software*, conforme apresentado na Figura 18.

Figura 18 - Visualização da Calculadora de Economia de Energia da Ferramenta TRACE

Street Lighting Upgrade Calculator

Background Information										
Current no. street lights		<input type="text"/>								
Post-retrofit no. street lights		<input type="text"/>								
Cost of electricity for street lighting for CA (\$/kWh)		<input type="text"/>								
Average run-hours for street lighting (hr/yr)		<input type="text"/>								
Sector Energy Spend (\$)		<input type="text"/>								
Attribute	Current Street Lighting					Post-Upgrade Street Lighting				
	% Breakdown	Wattage	No. Street Lights	Total kW	Total kWh	% Breakdown	Wattage	No. Street Lights	Total kW	Total kWh
LED	10%	60	0	0	0	50%	60	0	0	0
HPS Metal Halide	10%	135	0	0	0	10%	135	0	0	0
Mercury Vapor	10%	340	0	0	0	10%	340	0	0	0
Other 1	70%	150	0	0	0	30%	150	0	0	0
Other 2			0	0	0			0	0	0
Other 3			0	0	0			0	0	0
Other 4			0	0	0			0	0	0
Total	100%		0	0	0	100%		0	0	0
Average Run-hours /bulb/ year	<input type="text" value="4.330"/>					<input type="text" value="4.330"/>				
Total Energy Savings	<input type="text" value="0"/>					<input type="text" value="0 GWh / annum"/>				
Percentage Improvement	<input type="text" value="0"/>					<input type="text" value="0 %"/>				
Total Cost Savings	<input type="text" value="0"/>					<input type="text" value="0 \$ / annum"/>				

Legenda:

- -
 -
- Células que devem ser preenchidas de acordo com as informações de cada município
 Células automaticamente preenchidas pela calculadora assim que são os dados são inseridos
 Células automaticamente preenchidas, gerando os resultados finais da análise

Fonte: ESMAP (2016).

A calculadora permite a simulação de diferentes cenários para cada cidade, de acordo com as práticas selecionadas, devendo ser inseridas informações referentes ao número de pontos de luz, custo do kWh, número médio de horas que as lâmpadas ficam acesas por ano,

gasto do setor e percentual de cada tipo de lâmpada utilizada, que são todas informações obtidas por meio do primeiro questionário enviado aos técnicos responsáveis de cada prefeitura.

Assim, juntamente com os resultados da análise multicritério, são apresentados cenários de economia de energia e economia financeira para cada cidade, por meio de uma possível implantação das práticas.

O resultado final inclui a discussão acerca da relação entre o diagnóstico do setor de iluminação pública de cada município com as práticas sugeridas para cada um e os principais estudos de caso abordados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados de cada etapa metodológica são apresentados a seguir.

4.1 Indicadores de Eficiência Energética

Na sequência, serão apresentados os resultados dos indicadores de eficiência energética. O consumo e o número de consumidores totais englobam os setores residencial, industrial, comercial, rural e público. Para a seleção dos indicadores, optou-se pelo uso dos três primeiros setores por serem os de maior contribuição para o consumo total dos municípios e, portanto, os que integram maior número de consumidores. O setor público engloba, além da iluminação pública, os consumos de energia elétrica pelos poderes dos governos Federal, Estadual e Municipal, bem como pelas Autarquias, Fundações e órgãos de Direito Público, por isso não foi considerado como um setor de destaque nesta etapa da pesquisa.

4.1.1 Indicador EE1 - Consumo de energia elétrica total per capita

A Tabela 2 apresenta o consumo de energia elétrica total *per capita* para cada município. Em todos os anos avaliados, observa-se tendência ao crescimento dos valores do indicador.

Tabela 2 - Consumo de energia elétrica total *per capita*

Município	kWh/hab./ano				
	1992	1997	2002	2007	2012
Passo Fundo	1.188	1.512	1.820	2.033	2.422
Porto Alegre	1.698	2.030	2.095	2.286	2.533
Santa Maria	975	1.250	1.402	1.607	1.941

Fonte: FEE (2015).

Segundo dados do Anuário Estatístico de Energia Elétrica (EPE, 2014), a média do consumo *per capita* no Rio Grande do Sul para o ano de 2012 era cerca de 2.500 kWh/hab., mostrando que Porto Alegre e Passo Fundo estão próximos deste padrão estadual, enquanto Santa Maria encontra-se bem abaixo.

Conforme Ouedraogo (2013), há uma estreita relação entre o consumo *per capita* e o Índice de Desenvolvimento Humano. Considerando tal informação, verifica-se que Santa Maria possui baixo consumo em relação ao seu valor de IDH dentre os municípios em estudo, com 0,784 frente a 0,776 de Passo Fundo e 0,805 de Porto Alegre. (IBGE, 2010c; IBGE, 2010a;

IBGE 2010b). Por outro lado, Walter (2007) defende que apesar da correlação entre indicadores de qualidade de vida e o consumo de energia elétrica per capita, existem outros fatores relacionados ao maior consumo, como a localização em regiões mais frias e existência de indústrias que de fato demandam maior quantidade de energia, o que pode vir a justificar o menor consumo de Santa Maria, que possui maiores temperaturas médias anuais que as demais cidades e também menor destaque industrial.

4.1.2 Indicador EE2 - Consumo total de energia elétrica

O indicador de consumo total de energia elétrica corresponde ao total de energia elétrica consumida durante o ano de referência (FEE, 2015), englobando os consumos residenciais, industriais, comerciais, rurais e do setor público. A Tabela 3 apresenta os consumos totais para as três cidades em estudo.

Tabela 3 - Consumo total de energia elétrica

MWh					
Município	1992	1997	2002	2007	2012
Passo Fundo	177.400	244.470	312.941	366.115	454.063
Porto Alegre	2.154.155	2.680.857	2.877.185	3.192.501	3.590.739
Santa Maria	215.828	292.175	346.735	411.714	511.795

Fonte: FEE (2015).

Observa-se que o consumo apresenta um crescimento no intervalo temporal abordado para as três cidades. O consumo em Passo Fundo e Santa Maria são similares, já que ambas as cidades apresentam populações de número mais próximo do que em comparação a Porto Alegre. A capital apresenta um porte maior, o que reflete no maior consumo de energia.

4.1.3 Indicador EE3 – Taxa percentual do aumento do consumo de energia elétrica total

A Tabela 4 apresenta a taxa percentual do aumento do consumo de energia elétrica total dos três municípios em estudo. Apesar do indicador de consumo de energia elétrica total apontar que tem havido crescimento nos últimos anos, a taxa mostra que este aumento vem gradativamente reduzindo (com exceção da variação entre 2007 e 2012, que apresentou um pequeno aumento em relação a 2002-2007).

Tabela 4 - Taxa percentual do aumento do consumo total de energia elétrica

Município	%			
	1992-1997	1997-2002	2002-2007	2007-2012
Passo Fundo	37,8	28,0	17,0	24,0
Porto Alegre	24,5	7,3	11,0	12,5
Santa Maria	35,4	18,7	18,7	24,3

Fonte: FEE (2015).

Apesar de ser esperado que com o aumento populacional as cidades apresentem maior consumo de energia, esta taxa pode auxiliar na verificação da eficácia de medidas de eficiência energética que venham a ser aplicadas.

4.1.4 Indicador EE4 – Consumo de energia elétrica por setor

A Tabela 5 apresenta os consumos de energia elétrica para os setores residencial, comercial e industrial. Como já observado por meio da análise do consumo total de energia, a cidade de Porto Alegre se destaca. Santa Maria, que possui maior número de habitantes que Passo Fundo, também apresenta consumo residencial um pouco maior. Por outro lado, Passo Fundo se destaca no consumo industrial, já que possui maior quantidade de indústrias que Santa Maria.

O consumo comercial de energia elétrica é menos expressivo que o consumo residencial e mais do que o industrial e o padrão do consumo total se aplica, com Porto Alegre apresentando os maiores consumos e Passo Fundo e Santa Maria com valores de consumo próximos.

Tabela 5 - Consumo de energia elétrica dos setores residencial, comercial e industrial
 CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA (MWh)

RESIDENCIAL					
Município	1992	1997	2002	2007	2012
Passo Fundo	62.723	89.532	96.359	113.785	140.437
Porto Alegre	871.880	1.114.541	1.116.343	1.188.227	1.248.579
Santa Maria	111.856	150.840	171.887	202.718	254.337
COMERCIAL					
Município	1992	1997	2002	2007	2012
Passo Fundo	34.151	49.167	65.813	84.835	111.922
Porto Alegre	667.138	884.868	1.046.979	1.232.667	1.590.952
Santa Maria	39.350	61.347	78.933	99.561	128.769
INDUSTRIAL					
Município	1992	1997	2002	2007	2012
Passo Fundo	50.468	62.398	92.621	104.131	115.898
Porto Alegre	323.781	345.179	351.988	325.195	361.124
Santa Maria	20.621	26.312	32.233	40.085	49.648

Fonte: FEE (2015).

4.1.5 Indicador EE5 – Número total de consumidores

O indicador referente ao número total de consumidores de energia elétrica corresponde ao número total no mês de dezembro do ano de referência (FEE, 2015). Assim como para o consumo total, este indicador engloba os consumidores residenciais, industriais, comerciais, rurais e do setor público. A Tabela 6 apresenta o número de consumidores totais para as três cidades em estudo.

Apesar dos indicadores referentes ao número de consumidores refletirem a realidade mostrada pelo indicador de consumo, a importância na sua avaliação se dá pelo fato de verificar diferentes padrões entre as cidades e o seu crescimento com o passar dos anos.

Tabela 6 - Número total de consumidores

un.					
Município	1992	1997	2002	2007	2012
Passo Fundo	40.247	49.107	58.911	65.880	77.866
Porto Alegre	432.225	467.146	506.929	528.784	570.665
Santa Maria	63.970	72.553	84.534	96.122	108.963

Fonte: FEE (2015).

4.1.6 Indicador EE6 – Taxa percentual do aumento do número total de consumidores

A Tabela 7 apresenta a taxa percentual do aumento do número total de consumidores de energia elétrica dos três municípios em estudo. Verifica-se que Passo Fundo apresenta as maiores taxas de crescimento do número de consumidores, seguido por Santa Maria, enquanto que a capital apresenta as menores taxas.

Tabela 7 - Taxa percentual do aumento do número total de consumidores

Município	%			
	1992-1997	1997-2002	2002-2007	2007-2012
Passo Fundo	22,0	20,0	11,8	18,2
Porto Alegre	8,1	8,5	4,3	7,9
Santa Maria	13,4	16,5	13,7	13,4

Fonte: FEE (2015).

4.1.7 Indicador EE7 – Número de consumidores por setor

A Tabela 8 apresenta o número de consumidores residenciais, comerciais e industriais. Observa-se o crescimento do indicador nos últimos anos, o que vai ao encontro do aumento do número de habitantes de cada cidade.

Tabela 8 - Número de consumidores dos setores residencial, comercial e industrial

NÚMERO DE CONSUMIDORES (un.)					
RESIDENCIAIS					
Município	1992	1997	2002	2007	2012
Passo Fundo	35.213	42.931	51.474	57.856	69.004
Porto Alegre	383.206	409.498	445.684	463.825	488.362
Santa Maria	55.911	63.890	75.668	86.364	98.419
COMERCIAIS					
Município	1992	1997	2002	2007	2012
Passo Fundo	4.026	4.979	5.910	6.408	7.722
Porto Alegre	43.045	52.158	55.654	58.943	76.233
Santa Maria	4.087	4.980	5.304	6.157	6.900
INDUSTRIAIS					
Município	1992	1997	2002	2007	2012
Passo Fundo	611	804	1.051	1.109	529
Porto Alegre	4.485	3.882	3.723	4.265	4.261
Santa Maria	1.068	1.390	1.188	677	442

Fonte: FEE (2015).

Enquanto os indicadores referentes ao consumo de energia e ao número de consumidores apresentam um padrão comum de crescimento, o número de consumidores industriais foge desta regra. Para nenhuma das cidades verifica-se um padrão claro. Conforme sugerido pelas concessionárias de energia, tal situação explica-se pelo fato de que a cada ano as empresas podem mudar a sua classificação entre indústria e comércio, principalmente desde 2006, em função da Lei Geral da Micro e Pequena Empresa.

Quanto ao número de consumidores comerciais, o maior destaque permanece com a capital e Santa Maria e Passo Fundo possuem indicadores próximos. Os resultados estão de acordo com o apresentado no consumo comercial: maior número de consumidores do que a indústria e menor número quando comparado às residências.

4.1.8 Indicador EE8 – Consumo de energia por unidade consumidora setorial

A Tabela 9 apresenta o consumo médio de energia elétrica por unidade consumidora, ou seja, por cada residência, comércio e indústria atendida por eletricidade, por ano. Quanto ao consumo médio das residências, observam-se valores aproximadamente constantes em cada cidade, no decorrer dos anos. É possível observar também que o consumo residencial é menor em Passo Fundo e que o destaque de maior consumo residencial médio fica para a cidade de Porto Alegre em quase todos os anos, com exceção de 2012.

Assim como para o consumo residencial, observam-se dados aproximadamente constantes na maioria dos anos para o consumo industrial. A exceção é observada em 2012, para Passo Fundo e Santa Maria, com um destacado aumento no consumo. Isto é explicado por meio da redução no número de consumidores, observado na Tabela 8.

Verifica-se um gradativo aumento nos consumos comerciais médios a cada ano estudado e, além disso, o menor consumo médio é apresentado pela cidade de Passo Fundo. Santa Maria e Porto Alegre apresentam, em todos os anos, consumos mais elevados.

Este indicador é especialmente importante por retratar que, apesar do grande número de consumidores residenciais e comerciais, conforme observado nos resultados anteriores, o consumo setorial da indústria é o mais alarmante e, portanto, denota um enfoque importante a ser direcionado pelas ações de eficiência energética.

Tabela 9 - Consumo médio de energia elétrica por unidade consumidora

CONSUMO (kWh)/UNIDADE CONSUMIDORA					
RESIDÊNCIA					
Município	1992	1997	2002	2007	2012
Passo Fundo	1.781	2.085	1.872	1.967	2.035
Porto Alegre	2.275	2.722	2.505	2.562	2.557
Santa Maria	2.001	2.361	2.272	2.347	2.584
COMÉRCIO					
Município	1992	1997	2002	2007	2012
Passo Fundo	8.483	9.875	11.136	13.239	14.494
Porto Alegre	15.499	16.965	18.812	20.913	20.870
Santa Maria	9.628	12.319	14.882	16.170	18.662
INDÚSTRIA					
Município	1992	1997	2002	2007	2012
Passo Fundo	82.599	77.609	88.127	93.896	219.089
Porto Alegre	72.192	88.918	94.544	76.247	84.751
Santa Maria	19.308	18.929	27.132	59.210	112.326

Fonte: FEE (2015).

4.1.9 Indicador EE9 – Percentual de domicílios com energia elétrica da companhia distribuidora

A Tabela 10 apresenta o percentual de domicílios de cada município atendidos por energia elétrica fornecida pelas companhias distribuidoras locais. Verifica-se que praticamente a totalidade das residências possui energia repassada pela distribuidora, faltando apenas uma pequena fração para que os três municípios atinjam 100%, o que seria bastante positivo para o tripé de equidade social do desenvolvimento sustentável.

Tabela 10 - Percentual de domicílios com energia elétrica das companhias distribuidoras

Município	% (2010)
Passo Fundo	99,6
Porto Alegre	99,3
Santa Maria	99,0

Fonte: IBGE (2010).

4.1.10 Indicador EE10 – Percentual de domicílios atendidos por iluminação pública

O percentual de domicílios atendidos por iluminação pública é apresentado na Tabela 11. Este valor é inferior quando comparado à quantidade de residências atendidas por energia elétrica, o que indica que os municípios devem dar mais atenção ao fator de iluminação pública, principalmente por estar relacionado à qualidade de vida e prevenção da criminalidade.

Tabela 11 - Percentual de domicílios com iluminação pública

Município	% (2010)
Passo Fundo	97
Porto Alegre	94
Santa Maria	96

Fonte: IBGE (2010).

4.1.11 Indicador EE11 – Valor da tarifa residencial de energia elétrica

A Tabela 12 apresenta os valores médios da tarifa residencial de energia elétrica nos últimos anos. Em 2007, os três municípios possuíam valores muito próximos por quilowatt hora consumido. Neste sentido, Passo Fundo chama a atenção por ter apresentado o maior aumento do custo de energia nos últimos anos, enquanto em Santa Maria e Porto Alegre, apesar de ter ocorrido aumento da tarifa, este não foi tão significativo.

Tabela 12 - Valor da tarifa residencial de energia elétrica

Distribuidora de energia/Município	R\$/kWh					
	2007	2008	2009	2010	2011	2012
RGE Passo Fundo	0,33	0,34	0,36	0,38	0,40	0,42
CEEE Porto Alegre	0,30	0,30	0,31	0,31	0,32	0,34
AES-Sul Santa Maria	0,29	0,28	0,28	0,30	0,31	0,32

Fonte: ANEEL (2015).

Valores menores para este indicador representam tarifas de energia com maior modicidade, o que é bastante positivo em termos sociais, porém sabe-se que maiores tarifas tendem a estimular mais medidas de eficiência energética (EUROPEAN COMMISSION, 2015).

4.1.12 Indicador EE12 – Percentual de oferta interna de energia elétrica produzida por fontes renováveis

Este indicador retrata o grau de sustentabilidade ambiental dos municípios por mostrar quanto de seu consumo é gerado por fontes renováveis. Como a geração de energia no estado do Rio Grande do Sul (assim como para todo o país) é interconectada, a diferenciação por consumo de cada fonte e por cidade fica inviável. Por este motivo, a Tabela 13 apresenta os valores estimados de acordo com o Balanço Energético do Rio Grande do Sul (CAPELETTO; MOURA, 2013), considerando-se que o percentual do estado pode ser aplicado para os seus municípios.

Assim, os três municípios em estudo apresentam, como o estado, 77,5% de sua oferta de energia elétrica oriunda de fontes renováveis (hidrelétrica, eólica e biomassa). Este número já é bastante positivo, mas o incentivo à geração de energia elétrica por estas fontes deve permanecer para que seja possível aumentar este percentual, assim como a sustentabilidade das cidades e do estado.

Tabela 13 - Percentual de oferta de energia elétrica oriunda de fontes renováveis

Município	% (2013)
Passo Fundo	77,5
Porto Alegre	77,5
Santa Maria	77,5

Fonte: Adaptado de Capeletto e Moura (2013).

4.1.13 Avaliação geral dos indicadores

A avaliação dos indicadores de Passo Fundo denota o crescimento no consumo de energia elétrica em conformidade com o também aumento no número de consumidores nos períodos analisados. Do total de consumidores de energia elétrica, a grande maioria é de consumidores residenciais, também sendo observado o aumento nos últimos anos; a exceção está no setor industrial, que apresentou redução expressiva em seu número de consumidores, possivelmente em função de mudanças internas com a companhia distribuidora de energia referente à cadastramento.

Ao se avaliar o consumo por unidade consumidora, verifica-se pouca alteração entre 2007 e 2012, novamente tendo como exceção a indústria, que em 2012 possui o maior consumo por unidade em função da redução no indicador que avalia o número de consumidores. O esperado seria um comportamento similar ao setor residencial e comercial, que apresentaram apenas um pequeno incremento ao seu consumo.

Porto Alegre possui um valor de consumo total de energia elétrica de maior ordem de grandeza do que as demais cidades em estudo justamente em função de seu maior porte em termos comerciais e industriais e também pela maior população. Assim como observado em Passo Fundo, a capital do estado também demonstrou aumento em número de consumidores e consumo total de energia, além do mesmo aumento para os consumos setoriais. A maior fração de consumo fica por responsabilidade do comércio, seguida pelo setor residencial e com menor contribuição está o setor industrial.

Apesar das semelhanças entre Santa Maria e Passo Fundo, o primeiro é um município com maior população, então observa-se também maior consumo total e maior número de

consumidores. A maior diferença está nos consumos de cada setor: além da maior diferença entre as quantidades de energia elétrica consumidas, em Santa Maria a indústria é o setor com menor contribuição ao consumo e a contribuição do setor residencial é ainda maior.

Além disso, pode-se verificar que Santa Maria apresentou aumento nos consumos setoriais das residências e do comércio, possuindo em 2012 o maior consumo de energia elétrica por residência de todos os municípios analisados. Esta característica pode indicar maior necessidade de incentivos à eficiência no consumo residencial nesta cidade.

Certas diferenças observadas são justificadas pelas características de cada município, como o destaque para maior atividade industrial (caso de Passo Fundo), ou por ter destaque universitário que atrai maior número de residentes (caso de Santa Maria). Por este motivo, em 2012, o setor residencial em Passo Fundo é responsável por 30% do consumo total de energia elétrica, enquanto que em Porto Alegre este valor é de 35% e em Santa Maria chega a 50%. Já a fração consumida pela indústria é igual na capital e em Santa Maria, correspondendo a 10%, contra 25% em Passo Fundo. Porto Alegre lidera o consumo comercial de energia, sendo este 44% do total, enquanto que em Passo Fundo e Santa Maria este percentual é de apenas 25%.

O resultado da taxa percentual do aumento no número de consumidores mostra que Passo Fundo é, dentre os municípios estudados, o que mais cresceu em número de consumidores, seguido por Porto Alegre. Santa Maria, mantendo o padrão observado nos indicadores anteriores, possui a menor taxa de crescimento.

O percentual da oferta interna de energia elétrica produzida por fontes renováveis é um dos indicadores mais importantes para a eficiência energética. Este panorama exige discussões acerca do potencial de geração de energia, principalmente por parecer, em um primeiro momento, um bom resultado em termos de eficiência. A predominância de fontes renováveis na matriz elétrica no Brasil se deve ao seu grande potencial hídrico e também à sua grande área que favorece a forma de geração hidráulica. Por outro lado, conforme Costa e Valadão (2015), frente à crise hídrica nacional, fontes de energia poluentes e não-renováveis tendem a ampliar a sua participação na composição da matriz, em prejuízo à efetivação da ideia de “sustentabilidade”. Além disso, o critério de classificação das fontes de energia em limpas e não-limpas considera a emissão de gases de efeito estufa na atmosfera, não mensurando a produção de poluentes liberados pela decomposição da vegetação submersa, problema específico do modelo hidrelétrico de grandes reservatórios adotado nacionalmente.

Os dados do Balanço Energético do Rio Grande do Sul (CAPELETTO; MOURA, 2013) mostram que a oferta interna de energia elétrica é de 22% para carvão mineral, fonte não renovável e bastante impactante que tende a ter sua participação aumentada em episódios de

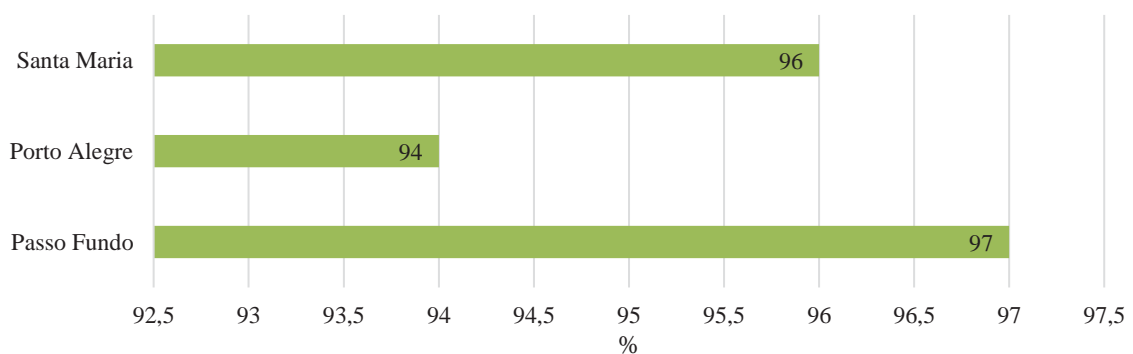
crise hídrica. Ainda, o recente Plano Energético do Rio Grande do Sul relembra que o estado ainda não possui medida política com foco em eficiência energética, estando dependente de medidas nacionais (SECRETARIA DE MINAS E ENERGIA, 2016). Neste sentido, os municípios precisam investir em medidas locais para redução do seu consumo de energia ou apoiar o uso de energias alternativas por cada setor, o que seria bastante positivo para a sustentabilidade energética.

4.2 Diagnóstico da iluminação pública

4.2.1 Indicadores quantitativos

A Figura 19 apresenta a *Porcentagem de domicílios atendidos por iluminação pública*. O conceito deste indicador, conforme o IBGE, é a de existência de pelo menos um poste de iluminação pública na face em trabalho ou na sua face confrontante (lados da quadra) (IBGE, 2010d). Passo Fundo é a cidade com melhor desempenho neste indicador, seguida por Santa Maria. A análise dos questionários permitiu concluir que em todos os municípios, nos dias atuais, este percentual é maior, pois desde a data do Censo Demográfico (2010) já foram feitas melhorias e expansões no sistema. O baixo percentual que ainda não é atendido é justificado por ocupações irregulares ou áreas invadidas.

Figura 19 - Porcentagem de domicílios atendidos por iluminação pública (2010)



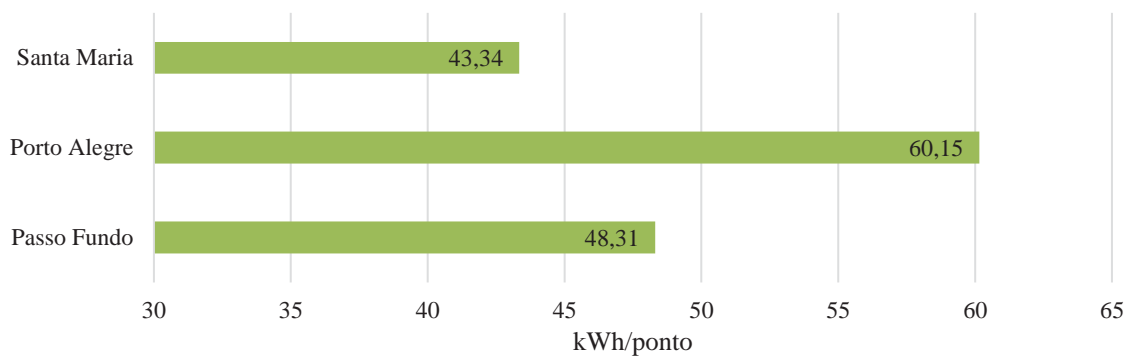
Fonte: Elaborado pela autora.

A título de comparação, a cidade de Curitiba possui 96,2% dos domicílios atendidos por iluminação pública. Outras capitais, como Rio de Janeiro e Belo Horizonte, apresentam 96% e 98,9%, respectivamente, sendo a média nacional deste indicador 94% (IBGE, 2010). Estes resultados mostram que Porto Alegre, apesar de estar de acordo com a média nacional, possui resposta inferior à outras capitais do Brasil. Já Santa Maria e Passo Fundo estão de acordo com

as demais, mesmo sendo cidades que se destacam ou em termos de sustentabilidade ou em investimentos no setor de iluminação pública (FERREIRA, 2016; PROGRAMA CIDADES SUSTENTÁVEIS, 2013; RIOLUZ, 2016).

A Figura 20 mostra o *Consumo médio mensal de energia elétrica da iluminação pública por ponto de luz*. Neste indicador, Santa Maria apresenta o melhor resultado (menor consumo) seguida por Passo Fundo. Porém, este melhor resultado de Santa Maria não necessariamente destaca positivamente o município, pois pode ter um menor consumo por ponto justamente por não atender o mesmo percentual de residências que Passo Fundo.

Figura 20 - Consumo mensal médio de energia elétrica da iluminação pública por ponto de luz (2016)



Fonte: Elaborado pela autora.

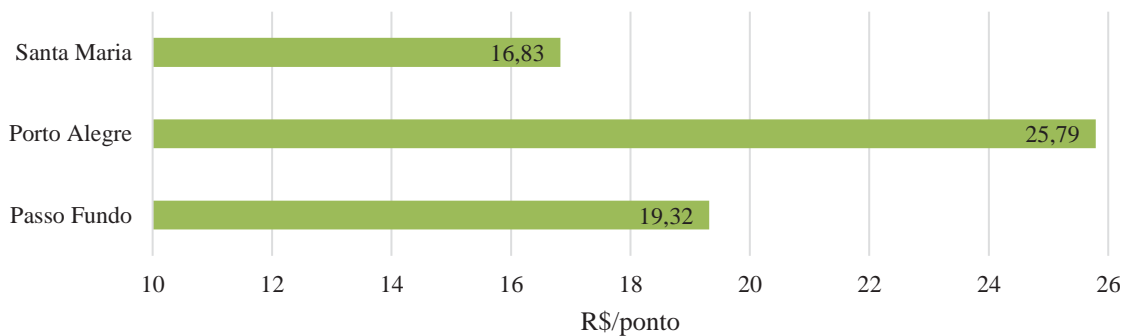
Além deste consumo estar relacionado com a distribuição do serviço nas cidades, também está ligado aos tipos de lâmpadas utilizadas e suas potências. Por exemplo, o Rio de Janeiro apresenta um valor deste indicador muito acima dos observados para os municípios em estudo: 81,33 kWh/ponto (RIOLUZ, 2016). Tal valor pode ser explicado em função de que esta cidade ainda utiliza lâmpadas muito ineficientes na iluminação pública, como incandescentes e fluorescentes. A maioria é de vapor de sódio, mas um quarto do total é de vapor metálico, que possui característica de aumentar o consumo de energia do setor, pela maior potência. Outro dado comparativo é o da cidade de Nova York, que em 2008 apresentava um resultado de 68,57 kWh/ponto, apenas um pouco acima do valor de Porto Alegre. A mesma justificativa apresentada para o Rio de Janeiro é válida para a cidade norte-americana, visto o uso de lâmpadas muito ineficientes no sistema, que consomem muita energia (GALGANO, 2009; NY SERDA, 2015).

O indicador *Custo médio mensal da iluminação pública por ponto de luz* é apresentado na Figura 21. Passo Fundo e Santa Maria novamente apresentam os melhores resultados, com menor custo. A capital do estado possivelmente vem apresentando resultados negativos nos

últimos indicadores devido ao baixo percentual de lâmpadas de LED utilizado no sistema de iluminação, em comparação às outras cidades, conforme poderá ser observado nas Figuras 28 e 29.

De acordo com pesquisa realizada pela Departamento de Energia dos Estados Unidos, em 2013, a média do custo mensal com energia elétrica do setor de iluminação no país era em torno de R\$ 28,00/ponto (considerando US\$ 1 = R\$ 3,50) (EERE, 2014), mas possivelmente este valor tenha reduzido em função de investimentos no setor, como troca de lâmpadas convencionais por LED. Outro valor comparativo é o da cidade do Rio de Janeiro, que apresenta média de R\$ 39,54/ponto (RIOLUZ, 2016).

Figura 21 - Custo mensal médio de energia elétrica da iluminação pública por ponto de luz (2016)



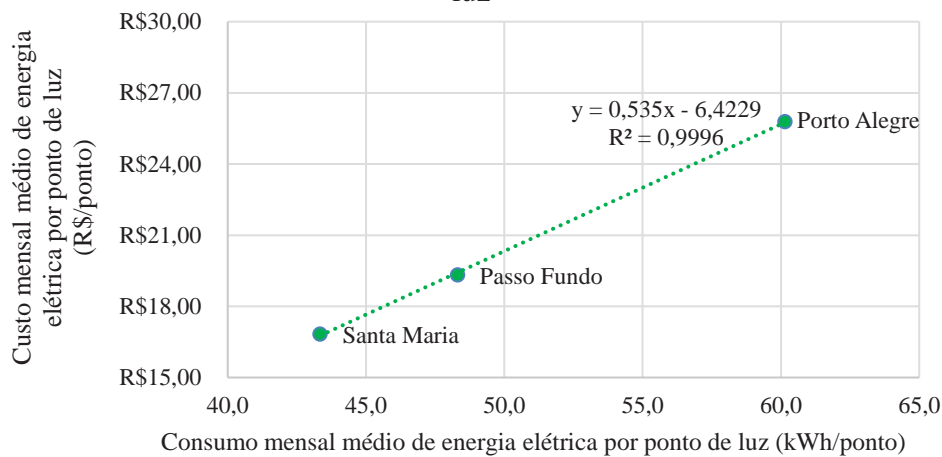
Fonte: Elaborado pela autora.

Analisando-se os resultados dos indicadores de consumo e custo mensal médio por ponto, verifica-se a mesma tendência de comportamento nos gráficos, o que é confirmado por meio da Figura 22, que apresenta a correlação entre ambos os indicadores. Isso ocorre em função de que, em todos os municípios, o custo depende do consumo e do valor cobrado pelo kWh, por isso verifica-se no gráfico que o aumento do consumo faz com que se aumente também o custo.

Conforme o observado na Figura 23, Passo Fundo possui o maior índice de pontos de luz por habitante, 0,11, seguido por Santa Maria com 0,09 e Porto Alegre com 0,06. Apesar de não haver um referencial padrão para este indicador, é possível comparar estas respostas com alguns dados existentes. A cidade do Rio de Janeiro apresenta 0,07 pontos por habitante (RIOLUZ, 2016), Belo Horizonte possuía 0,05 em 2010 (PROCEL, 2010) e um estudo feito em várias cidades dos Estados Unidos em 2007 indica uma média de 0,095, variando de um mínimo de 0,016 ao máximo de 0,147 (ACCE, 2008). Estas avaliações permitem concluir que as cidades em estudo estão dentro das médias observadas e inclusive com bons resultados

quando comparadas a estas, mas vale ressaltar que os valores podem variar de acordo com a morfologia urbana e densidade demográfica, dependendo da configuração da cidade (sendo mais concentrada ou dispersa, pode haver interferência no indicador).

Figura 22 - Correlação entre o consumo e custo mensal médio de energia elétrica por ponto de luz



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 23 - Número de pontos de iluminação existentes *per capita* (2016)



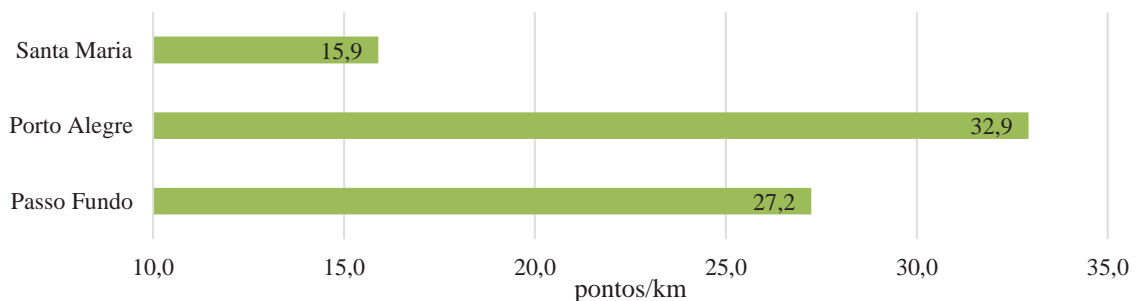
Fonte: Elaborado pela autora.

O indicador *Número de pontos de iluminação existentes por quilômetro de via* é apresentado por meio da Figura 24. Santa Maria e Porto Alegre repassaram a informação referente à extensão de vias no município no questionário aplicado para diagnóstico, mas a Prefeitura de Passo Fundo não dispunha desta informação. Assim, este dado foi estimado por meio da contabilização de vias em *software* AutoCAD 2014.

Verifica-se que o resultado de Santa Maria é 15,9 pontos/km, inferior aos resultados apresentados por Sridhar e Wan (2013) para as cidades indianas de Mumbai e Chennai, cujos valores são 68 pontos/km e 45 pontos/km, respectivamente. De acordo com os autores, seus resultados se enquadram numa norma específica para a região asiática, que indica a necessidade de no mínimo 33 pontos/km, estando a cidade de Porto Alegre de acordo, com 32,9 pontos/km,

e Passo Fundo muito próximo deste valor, com 27,2 pontos/km. Outro estudo, realizado em cidades espanholas, indica que um ponto de luz a cada 25m (ou 40 pontos por quilômetro) é o suficiente para uma via bem iluminada e representa um padrão de infraestrutura para qualidade de vida (ÁLVAREZ, 2007). Entretanto, é importante destacar que a avaliação do número de pontos por extensão de via pode variar conforme altura dos postes e tipo de lâmpada utilizada (MICHAELOWA et al., 2013). No Brasil, é praticada a NBR 5101 (ABNT, 2012), que indica iluminância mínima a ser aplicada na distribuição dos pontos de luz, sem discussão específica sobre distâncias mínimas entre um e outro, de acordo com tipo de lâmpada e/ou altura do braço.

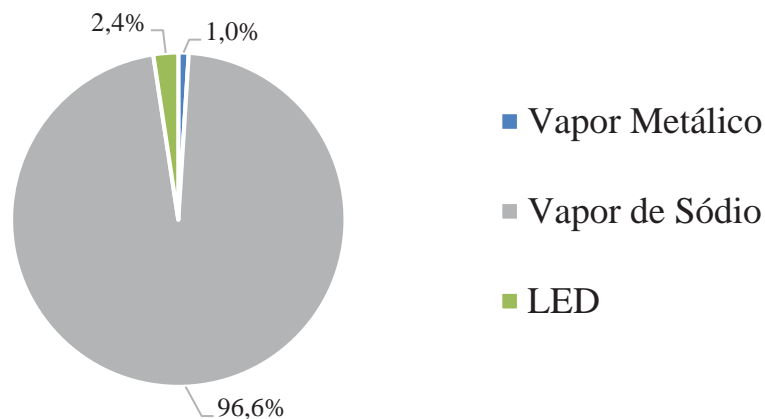
Figura 24 - Número de pontos de iluminação existentes por quilômetro de via (2016)



Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 25 apresenta a distribuição percentual dos tipos de lâmpadas utilizadas em iluminação pública em Passo Fundo. O município se destaca por não mais utilizar lâmpadas de mercúrio, embora ainda utilize em sua maioria a lâmpada de vapor de sódio ao invés do LED. Conforme análise do questionário, a ideia é gradativamente substituir a totalidade das lâmpadas de vapor metálico ainda existentes por tecnologia LED.

Figura 25 - Distribuição percentual dos tipos de iluminação pública utilizados em Passo Fundo (2016)



Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 26 mostra a Rua Independência (a), em Passo Fundo. Recentemente, um trecho desta via recebeu melhoria da infraestrutura, contando com a utilização de postes com iluminação LED (b). Nesta rua há intenso tráfego de veículos e pedestres, principalmente à noite, em função da alta concentração de restaurantes na região, o que justifica a escolha deste trecho para implementação da melhoria.

Figura 26 - Rua Independência (Passo Fundo), com utilização de postes com lâmpada LED



(a)

(b)

Fonte: Elaborado pela autora.

Já a Figura 27(a) mostra, no detalhe, um dos postes antigos que ainda utilizam a lâmpada de vapor de sódio, também na Rua Independência. A Figura 27(b) mostra a iluminação da via em funcionamento, tendo em primeiro plano os postes com lâmpada LED e, ao fundo, observa-se o outro trecho da rua, ainda com iluminação do tipo vapor de sódio, verificada pela característica de iluminação alaranjada.

Figura 27 - Rua Independência (Passo Fundo), com utilização de postes com lâmpada de vapor de sódio



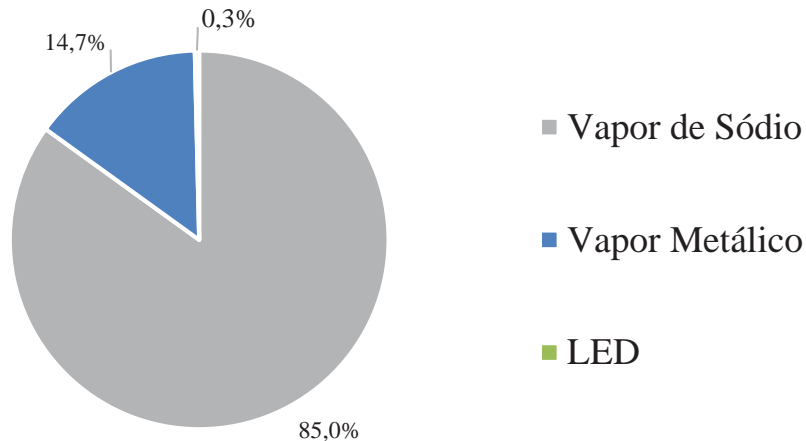
(a)

(b)

Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 28 apresenta a distribuição percentual dos tipos de lâmpadas utilizadas em iluminação pública em Porto Alegre. Este município também possui alto percentual de luminárias com lâmpadas de vapor de sódio e uma parcela considerável de lâmpadas de vapor metálico.

Figura 28 - Distribuição percentual dos tipos de iluminação pública utilizados em Porto Alegre (2016)



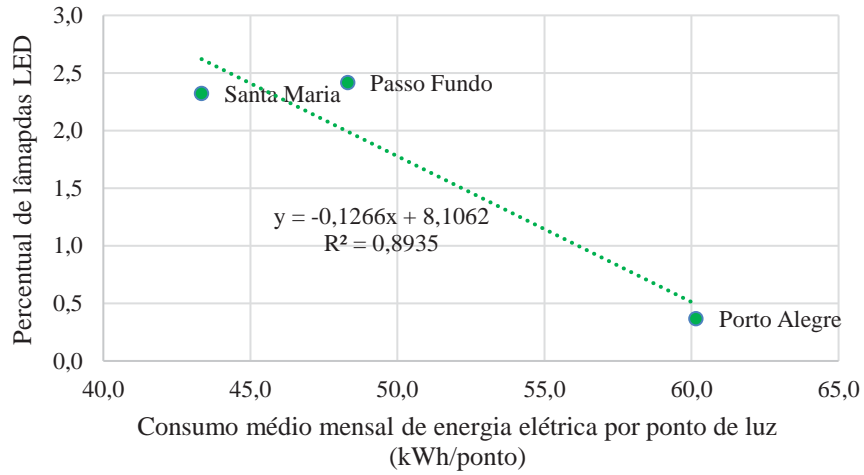
Fonte: Elaborado pela autora.

Como sugerido anteriormente, Porto Alegre possivelmente apresenta resultados negativos nos indicadores de consumo e custo médio mensal por ponto de luz em função deste baixo percentual de lâmpadas de LED utilizadas. Para confirmar esta hipótese, elaborou-se o gráfico de correlação entre consumo médio mensal de energia elétrica por ponto de luz e o percentual de lâmpadas LED, apresentado na Figura 29. De fato, observa-se uma relação satisfatória entre os indicadores, sendo eles inversamente proporcionais: a redução do percentual de LED nas cidades tende a aumentar o consumo de energia.

Conforme informações do questionário, há planos de ampliação do uso de LED em Porto Alegre, que já vem ocorrendo na forma de projetos pilotos. Um deles é na entrada da cidade, com instalação de 176 luminárias na Avenida da Legalidade e da Democracia, conforme apresentado na Figura 30. Outro projeto, ainda em fase de execução, é a substituição de 1.500 pontos no Centro Histórico, trocando lâmpadas de vapor metálico e de sódio por LED.

A Figura 31 mostra outra via de Porto Alegre, mas que ainda utiliza a lâmpada de vapor de sódio. É perceptível a melhora da qualidade de iluminação da via quando utilizada lâmpada LED, aumentando também a sensação de segurança.

Figura 29 - Correlação entre consumo médio mensal de energia elétrica por ponto de luz e o percentual de lâmpadas LED



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 30 - Av. da Legalidade e da Democracia (Porto Alegre), com utilização de postes com lâmpada LED



Fonte: Elaborado pela autora.

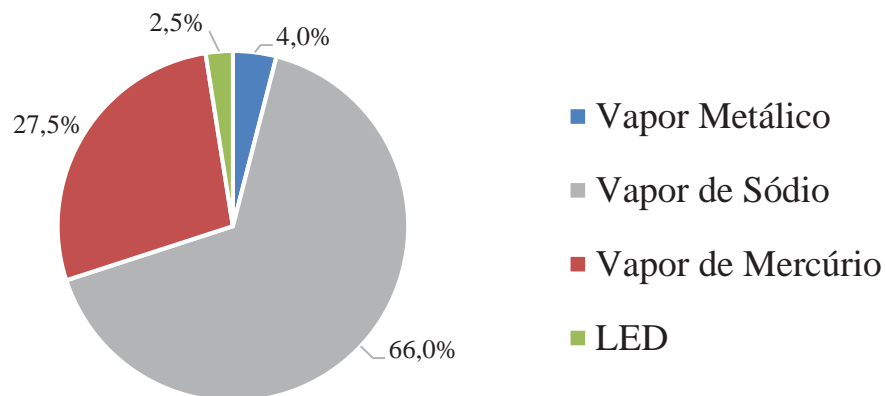
Figura 31 - Av. Osvaldo Aranha (Porto Alegre), com utilização de postes com lâmpada de vapor de sódio



Fonte: Elaborado pela autora.

Santa Maria é a cidade com maior diversificação no uso de lâmpadas, utilizando ainda um grande percentual de vapor de mercúrio, mas a maioria é, como nas demais cidades, formada pelas lâmpadas de vapor de sódio. No que diz respeito ao uso da tecnologia LED, o município vem ampliando a sua aplicação, representando atualmente 2,5% do total, conforme apresentado na Figura 32.

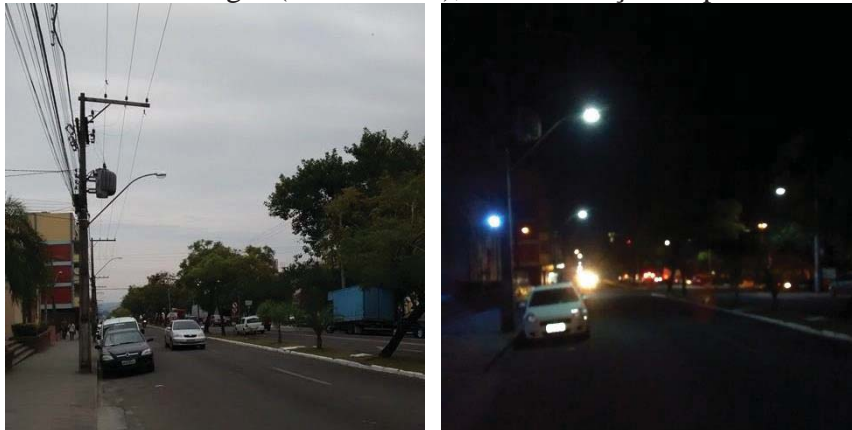
Figura 32 - Distribuição percentual dos tipos de iluminação pública utilizados em Santa Maria (2016)



Fonte: Elaborado pela autora.

As vias que já apresentam a iluminação com LED em Santa Maria são a Avenida Nossa Senhora Medianeira, a Avenida Governador Walter Jobim, a Avenida Ângelo Bolson e a Av. Presidente Vargas, sendo esta apresentada na Figura 33. Apesar de a iluminação LED que tem uma ótima qualidade, o fato de ser uma via relativamente bem arborizada traz a impressão de que não há iluminação suficiente para conforto e sensação de segurança no local.

Figura 33 - Av. Presidente Vargas (Santa Maria), com utilização de postes com lâmpada LED



Fonte: Elaborado pela autora.

Uma avaliação geral dos resultados coloca a cidade de Passo Fundo em destaque, em função do atendimento do serviço às residências, do consumo de energia e das lâmpadas utilizadas no seu sistema de iluminação. Situação mais preocupante é a de Porto Alegre, mas conforme a tecnologia LED for sendo implementada na cidade, será possível utilizar os mesmos indicadores para verificação da evolução dos resultados. Santa Maria se mostra em uma situação intermediária em comparação aos outros municípios, mas o principal motivo é a utilização de elevado percentual de lâmpadas de vapor de mercúrio, que, conforme Santos (2011), possuem efeitos negativos ao meio ambiente.

4.2.2 Indicadores qualitativos

O Quadro 10 apresenta o resumo das respostas dos indicadores qualitativos. Porto Alegre se evidencia por apresentar maior número de respostas positivas. A capital possui Plano Diretor de Iluminação Pública que, apesar de não abordar questões de eficiência no consumo, apresenta todas as informações técnicas referentes ao serviço.

Quadro 10 - Indicadores qualitativos de diagnóstico de iluminação pública

Indicador	Passo Fundo	Porto Alegre	Santa Maria
Existência de Plano Diretor de Iluminação Pública ou de Plano de Gestão de Iluminação Pública		X	
Proposta e implementação de luminárias eficientes	X	X	X
Utilização de fontes alternativas na iluminação pública			
Uso de luminárias com materiais com longa duração	X	X	X
Uso de luminárias com certa parcela de materiais reciclados		X	X
Uso de luminárias com materiais passíveis de reciclagem/reuso ao fim de seu ciclo de vida		X	X
Utilização de materiais oriundos de fornecedores locais (raio de 300 km)			

Fonte: Elaborado pela autora.

Em maior ou menor grau, todos os municípios vêm implementando luminárias mais eficientes, seja por meio da substituição de lâmpadas ou inclusão de novos postes. O critério para escolha das vias a receberem estas mudanças é o mesmo: o município faz a implementação naquelas com maior fluxo de pessoas, veículos e transporte coletivo; assim, maior parte da população pode ter acesso à nova infraestrutura e tende a haver maior potencial de economia

(em função da necessidade de usar lâmpadas mais potentes nestes locais e por serem de difícil acesso à manutenção, justamente pelo fluxo de pessoas).

O uso de energias alternativas na iluminação pública ainda não é realidade nesses municípios. Apesar de haver um certo interesse no uso da tecnologia, todos justificam a resposta negativa em função do alto investimento demandado.

Quanto ao uso de luminárias com materiais de longa duração, a resposta foi positiva para todos os municípios, em função do uso da tecnologia LED, que é o maior destaque em termos de durabilidade. Ainda assim, os demais componentes do sistema apresentam vários anos de vida útil (de acordo com as prefeituras, a média é de 15 a 20 anos para postes e braços, 10 anos para luminárias e 5 anos para lâmpadas), sendo considerados também materiais de longa duração, característica dos elementos do sistema de iluminação pública devido à necessidade de resistência e segurança. A troca ou manutenção destes equipamentos é feita conforme necessidade e pedidos externos da população.

Os fornecedores dos materiais para o sistema de iluminação de Porto Alegre e Santa Maria informam que uma parcela dos componentes é fabricada utilizando-se reciclagem de outros materiais e, além disso, também incentivam o envio destes materiais para o reaproveitamento quando chegam ao fim de sua vida útil. Conforme o questionário de Porto Alegre, os materiais são enviados para a reciclagem por meio da realização de uma licitação e a empresa vencedora apresenta todos os atestados e licenças para fazer a reciclagem devendo apresentar também um atestado do descarte correto do que não for possível reutilizar, o que também ocorre em Passo Fundo e Santa Maria.

Quanto à utilização de materiais oriundos de fornecedores locais, que é um indicador que incentiva este consumo para valorização da economia local e menores impactos ambientais em termos de transporte, as prefeituras justificam que este não é um parâmetro levado em consideração em editais de serviço, sendo normalmente verificado apenas o atendimento às normas e ensaios para aprovação, podendo participar das licitações empresas da região ou outras de locais mais distantes.

4.3 Melhores práticas na Iluminação Pública

O Quadro 11 sintetiza as melhores práticas identificadas na pesquisa, sendo apresentada uma breve descrição, quais os impactos e locais onde são aplicados, com ilustração da distribuição dos estudos de casos em escala mundial na Figura 34. Na sequência as mesmas serão apresentadas em maior detalhe.

Quadro 11 - Resumo das melhores práticas em Iluminação Pública pesquisadas

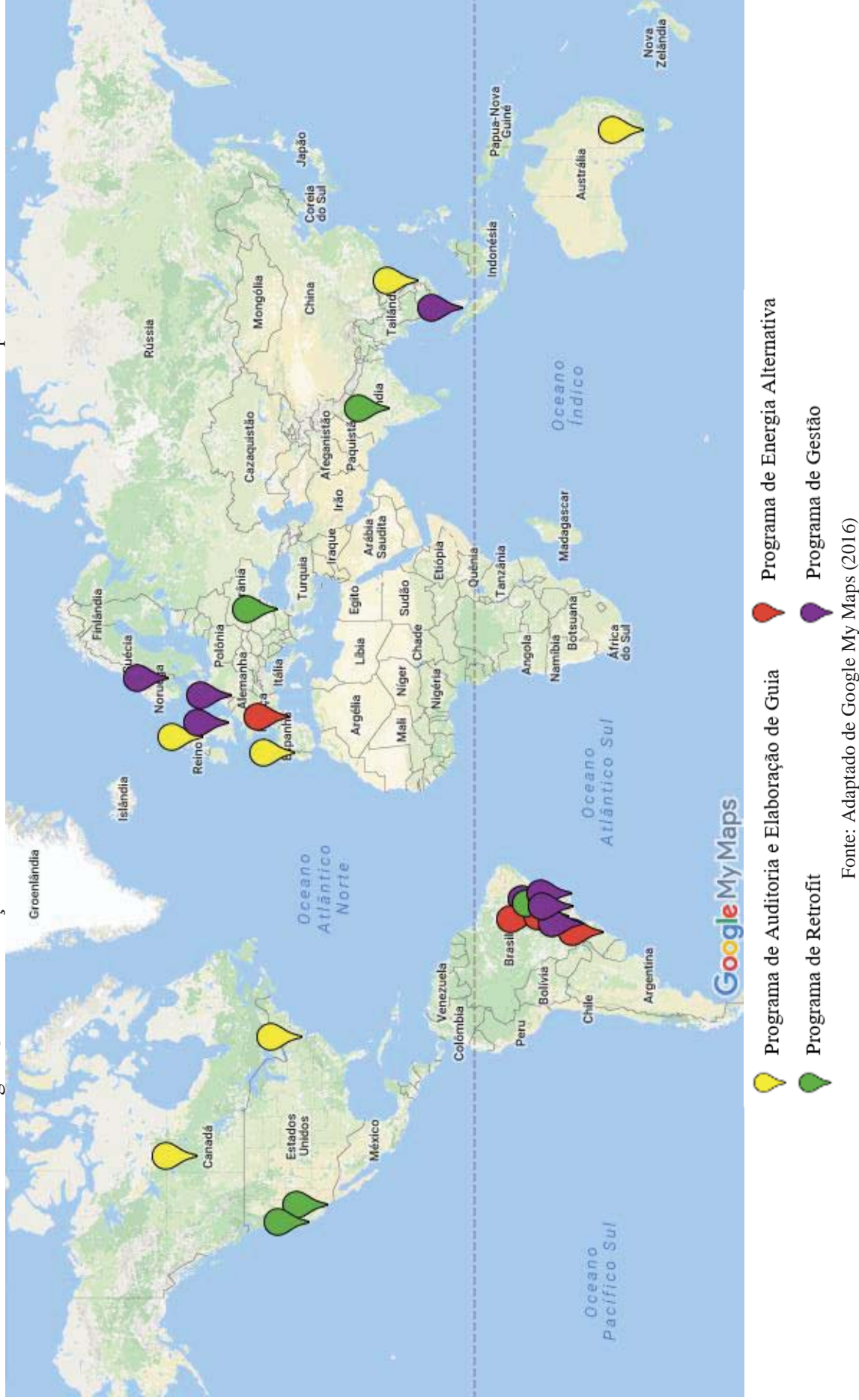
Melhor prática	Descrição	Impacto	Estudos de caso
<i>Programa de Auditoria e Elaboração de Guia</i>	Esta prática propõe a avaliação do serviço existente, verificando-se as operações de funcionamento e manutenção, de modo a auxiliar na identificação de medidas adequadas para aumento da eficiência energética. O seu principal objetivo é permitir uma avaliação global do sistema de iluminação pública para identificar áreas de melhoria em toda a rede. Após a auditoria, é possível formular um guia que especifique regras para aquisição de novas lâmpadas e a substituição das defeituosas, além de outras manutenções do sistema.	A aplicação desta prática pode contribuir para a economia de energia, consequente economia financeira e redução das emissões de carbono. Além disso, melhorias do sistema contribuem de modo geral para a qualidade de vida da população e para aumento da sensação de segurança pública.	<ul style="list-style-type: none"> • EUA • Gaia, Portugal • Vietnã • Canadá • Casey, Austrália • Reino Unido
<i>Programa de Retrofit</i>	O objetivo desta prática é atuar no sentido de renovar o sistema de iluminação pública, quando apropriado. A utilização de <i>retrofits</i> pode oferecer os mesmos níveis de iluminação para consumos energéticos mais baixos, reduzindo também as emissões de carbono e os custos do sistema, que passa a ter uma maior vida útil. Ainda, esta modernização contribui para redução das interrupções do serviço, melhorando a saúde pública e a segurança.	Esta prática, assim como a anterior, também contribui para a economia de energia, economia financeira, redução das emissões de carbono, aumento da qualidade de vida e da sensação de segurança pública.	<ul style="list-style-type: none"> • Akola, Índia • Dobrich, Bulgária • Los Angeles, EUA • Oakland, EUA • Belo Horizonte (MG), Brasil
<i>Programa de Energia Alternativa</i>	A utilização de energias alternativas em iluminação pública ainda é algo bastante novo, porém com resultados bastante positivos nas cidades que já aderiram a esta prática. O seu objetivo é a geração de energia solar e eólica para alimentar os postes de luz, garantindo maior segurança energética e autossuficiência em tempos de crise hídrica.	Apesar do investimento inicial mais elevado, esta prática favorece a economia financeira, a independência em termos de geração de energia, redução das emissões de carbono e contribui para mais consciência ambiental da população, ao ver tecnologias limpas sendo instaladas.	<ul style="list-style-type: none"> • Catalunha, Espanha • Canoas (RS), Brasil • Riacho Fundo (DF), Brasil • Rio Claro (SP), Brasil

(continua)

Melhor prática	Descrição	Impacto	Estudos de caso
<p><i>Programa de Gestão</i></p>	<p>O principal objetivo da telegestão é que os gestores tenham controle, monitoramento e operação remota da iluminação pública por meio de um sistema simples e funcional. Esta prática auxilia no controle da intensidade luminosa, facilita a integração entre sistemas e ainda possibilita a atuação preventiva por ser possível antever problemas técnicos. Além disso, também pode atuar no sentido de cronometrar estrategicamente ou escurecer controladamente as luzes conforme as necessidades de cada área, o que pode reduzir significativamente o consumo de energia e proporcionar níveis adequados de iluminação (em termos técnicos e de segurança pública).</p>	<p>O impacto da prática está relacionado à economia no consumo energético e emissões de carbono, facilidade de manutenção por haver informação de todas as instalações e ser possível um planejamento prévio, além de economia financeira como consequência dos fatores citados. Outros impactos são a segurança em termos da redução de condições de risco das instalações, aumento da qualidade do serviço e tendência a curto prazo de retorno do investimento.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Düsseldorf, Alemanha • Kirklees, Reino Unido • Kuala Lumpur, Malásia • Oslo, Noruega • Belo Horizonte (MG), Brasil • Búzios (RJ), Brasil • Curitiba (PR), Brasil • São Luiz do Paraitinga (SP), Brasil

Fonte: Elaborado pela autora com base em Akker e Nhien (2011); Ambiente Energia (2013); Campos (2014); Campos e Coutinho (2013); Canadian Urban Institute (2011); Ciclovivo (2014); Cidade Inteligente Búzios (2016); EERE (2014); Energaia (2010); Energaia (2010); ESMAP, (2009, 2011); Ferreira (2016); Grandes Construções (2016); Kunzler et al (2010); Morais (2016); Canoas (2015); PROCEL (2010); Sarti (2016); Siemens (2014); SNFOR (2016); U.S. Department of Energy (2010); World Bank (2016a, 2016b, 2016c, 2016d).

Figura 34 - Distribuição mundial dos estudos de caso estudados de cada melhor prática



Fonte: Adaptado de Google My Maps (2016)

4.3.1 Programa de Auditoria e Elaboração de Guia

Esta é uma combinação das práticas recomendadas pelo Banco Mundial, por meio da ferramenta TRACE, consideradas em conjunto neste trabalho em função de sua similaridade e aplicação em estudos de caso no mesmo contexto. Suas justificativas se baseiam nas cidades que ainda utilizam iluminação muito ineficiente, com tecnologias de alto consumo de energia e alta demanda por manutenção. A avaliação do sistema por meio da auditoria poderá sugerir intervenções que incluem novas tecnologias ou pequenas mudanças, aumentando a vida útil das luminárias, reduzindo também custos com manutenção.

A metodologia proposta pelo Banco Mundial para implementação desta prática consiste nas seguintes etapas: definição do líder da auditoria, identificação dos seus requisitos, coleta de dados, sua análise e interpretação e, por fim, a publicação dos resultados, podendo ser no formato de um Guia para o setor.

A etapa inicial, de definição do líder, é bastante importante por haver a necessidade de ser alguém com experiência e personalidade para coletar dados nos mais diversos setores da administração pública, podendo ser algum funcionário próprio ou consultor externo. Na etapa seguinte são definidas informações essenciais e desejáveis para a base de dados de iluminação pública, podendo incluir o inventário com lista de todas as ruas do município e o número de postes de luz, tipos de luminárias e lâmpadas, potência destas, entre outros. Feita esta definição, inicia-se o árduo trabalho de coleta dos dados, além da sua análise, que inclui comparação entre situações dentro da mesma cidade, como consumo de energia por poste e custo por unidade de potência das lâmpadas. Por fim, a publicação dos dados é muito importante para que, ao passar dos anos, essa avaliação continue sendo feita e seja possível verificar o progresso em direção à maior eficiência e controle sempre que uma manutenção for necessária (WORLD BANK, 2016a). Nesse sentido, o Guia ganha ainda mais importância, pois com planejamento as ações a serem implementadas tem chance muito maior de alcançar o sucesso.

O Banco Mundial sugere três opções de implementação do Guia. A primeira é a elaboração de Manuais para melhoria do *design* da iluminação pública, segundo orientações de visibilidade e segurança. Este manual deve incluir parâmetros para iluminação, recomendações de espaçamento entre postes, definições de luminárias e lâmpadas e o tempo e nível de iluminação para cada rua da cidade.

Outra opção é a elaboração de contratos de serviço para planejamento e instalação de tecnologias mais eficientes. Nesse caso, podem ser abertas licitações para serviços que incluem

design, instalação, manutenção e operação do sistema, sendo que é importante a utilização de longos períodos de tempo e requisitos rigorosos (WORLD BANK, 2016c).

Por fim, há a opção de análise do ciclo de vida, que exige de todos os projetos apresentados para mudanças na iluminação pública (seja compras, substituição ou manutenção) uma análise completa dos custos do ciclo de vida, investimento inicial e os investimentos a serem feitos dentro de um horizonte de 7 anos.

A recomendação do Banco Mundial também indica a necessidade de existir um plano de monitoramento (incluindo fonte das informações, metodologia de coleta de dados e/ou medições, manutenção de registros, programação das atividades), além da definição de metas a se alcançar ao longo do tempo, como percentual da iluminação pública auditada por tipo de luminária e lâmpada, e ainda a eficiência luminosa proposta pelo guia e a posteriormente colocada em prática.

4.3.1.1 Estudo de Caso: Estados Unidos

O Departamento de Energia dos Estados Unidos realizou, em 2013, uma pesquisa sobre iluminação pública em vários pontos do país. O objetivo desta medida foi a avaliação da real situação para compreensão do setor em termos de consumo de energia.

Os resultados foram baseados nas respostas de 245 organizações, incluindo 148 municípios, 14 distritos, 34 Departamentos Estaduais de Transportes, entre outros. As cidades incluídas na avaliação possuíam populações dos mais variados tamanhos, e do total, incluíram-se na pesquisa cerca de 11 milhões de postes (EERE, 2014).

As conclusões apontaram que 62% das respostas indicam o uso de LED na iluminação, mas a lâmpada de vapor de sódio ainda era a tecnologia mais utilizada, com 82% das respostas positivas. Das respostas da avaliação, 36% indicaram o uso de lâmpadas de vapor mercúrio, que são menos eficientes quando comparadas às de vapor de sódio e menos ainda às de LED, indicando alto potencial de economia de energia ao se substituir tais lâmpadas por outras mais eficientes.

Tais resultados foram importantes para verificar a necessidade de estudos mais aprofundados no que diz respeito à extrapolação de dados para o cenário nacional e para verificar necessidades do sistema de iluminação pública.

4.3.1.2 Estudo de Caso: Gaia, Portugal

A cidade de Gaia é uma das maiores de Portugal e o seu sistema de iluminação pública é um dos maiores consumidores de todo o país, correspondendo a 2% de toda a eletricidade consumida na cidade (ENERGAIA, 2010). Como a cidade ainda cresce, o governo se preocupa com a necessidade de aumento do sistema e conseqüente aumento do consumo de energia e dos gastos com manutenção. Conforme Energaia (2010), em 2010, a iluminação pública da cidade consumia 23 GWh/ano, correspondendo a aproximadamente € 2 milhões por ano.

Neste contexto, o objetivo do projeto desenvolvido foi reduzir o consumo de energia na iluminação pública em toda a área do município e promover metodologias eficientes de monitoramento e gestão do sistema. Para tanto, o projeto foi dividido em quatro fases, conforme o Quadro 12.

Quadro 12 - Etapas do projeto de eficiência energética na iluminação pública de Gaia, em Portugal

Etapa	Característica	Período
1	Avaliação das condições da iluminação pública e as tecnologias disponíveis para melhorar a sua eficiência	Setembro/2001 a maio/2002
2	Desenvolvimento de projeto-piloto para confirmação dos resultados teóricos	Junho a setembro/2002
3	Desenvolvimento de modelo financeiro para implementação do projeto	Outubro a dezembro/2002
4	Implementação do projeto por meio de financiamento, sendo escolhida a opção de controle de fluxo (uso de aparelhos que reduzem a potência das lâmpadas durante certos períodos noturnos)	2003 e 2004

Fonte: Adaptado de Energaia (2010) e World Bank (2016a)

O controle de fluxo é realizado por meio da instalação de equipamentos que funcionam durante certo período e reduzem a potência utilizada pelas lâmpadas. Foi constatado que essa redução, quando havia mesmo menor necessidade de iluminação, contribuiria para economia de energia. Além do Sistema, também foi instalado um equipamento de monitoramento do consumo de energia (além de servir para quantificação e verificação de falhas), a fim de corroborar as informações a partir da sua implementação.

Os resultados mostraram que foi possível economizar em média 450 MWh por ano, representando uma economia financeira de aproximadamente € 38.000,00 e evitando a emissão de 320 toneladas de CO₂ por ano (ENERGAIA, 2010).

É importante destacar que estes resultados positivos só foram possíveis por meio de um grande incentivo às primeiras etapas do projeto, nas quais a auditoria foi realizada, demandando tempo e recursos humanos e técnicos.

4.3.1.3 Estudo de Caso: Vietnã

O Vietnã vem apresentando um grande crescimento econômico nas últimas décadas, aliado ao aumento do consumo de energia. Por este motivo, o governo vem buscando medidas para reduzir a pressão sobre o fornecimento deste recurso por meio de novas leis, regulamentações em termos de eficiência energética e conservação nos diversos setores consumidores de energia. Assim, foi criado o projeto Eficiência Energética em Iluminação Pública do Vietnã, cuja sigla em inglês é VEEPL (*Vietnam Energy Efficiency Public Lighting Project*), concebido pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) e pela Academia Vietnamita de Ciência e Tecnologia (AKKER; NHIEN, 2011). O projeto começou em 2005, recebendo recursos públicos e privados.

Até a sua finalização em 2011, incluiu a realização de auditorias e consequente instalação de iluminação mais eficiente. Um dos pontos mais importantes deste projeto foi a implementação de medidas para remover barreiras que representariam desafios ao seu sucesso, tais como: estabelecimento de padrões para uma iluminação pública mais eficiente, melhorias nos laboratórios de ensaio de iluminação locais e educação ambiental para a população acerca dos benefícios da iluminação pública eficiente. Além disso, a definição dos padrões mínimos em termos de eficiência no setor foi aplicada com apoio de representantes do setor público e privado (WORLD BANK, 2016a).

As conclusões do projeto apontam para a importância de uma avaliação do sistema de iluminação pública antes de qualquer aplicação prática em termos de mudanças. Isso porque é necessário, em um primeiro momento, remover as barreiras técnicas, financeiras, políticas e inclusive de informação acerca da temática. Por isso, no Vietnã, o projeto contou com atividades nas seguintes áreas, que se mantiveram em atuação mesmo após a sua finalização oficial: desenvolvimento de políticas de iluminação pública, programa de apoio técnico, programa de financiamento, programa de demonstração do sistema de iluminação e disseminação de informação para o público (AKKER; NHIEN, 2011).

4.3.1.4 Estudo de Caso: Canadá

O Guia elaborado pelo Instituto Urbano Canadense possui uma abordagem inicial sobre a importância da iluminação pública e a justificativa para o uso de tecnologias mais eficientes. Na sequência, traz um capítulo que trata especificamente das regulamentações do setor, e como isso é fundamental para um bom serviço. Em Ontario, não há a exigência de regulamentação da iluminação pública, e embora exista o consenso sobre sua importância, ainda há pouco no que diz respeito à onde e quando fazer alterações na iluminação, por parte de organismos nacionais e internacionais (CANADIAN URBAN INSTITUTE, 2011).

Conforme este guia, o mínimo de informação que materiais deste tipo devem conter é a especificação de locais onde a iluminação é requerida e dos requisitos de design de iluminação necessários para vários tipos de ruas. Também é possível incluir padrões de design para minimizar a poluição luminosa; padrões de projeto para integração de sistemas; especificações para níveis mínimos de eficiência energética; especificações para os limites aceitáveis de reprodução de cor; normas para as variações dos níveis de iluminação; e especificações para o uso de novas tecnologias.

4.3.1.5 Estudo de Caso: Casey, Austrália

Em busca da redução do crescimento de emissões de gases de efeito estufa, a Austrália busca iniciativas em todos os níveis do seu governo para melhorar a eficiência energética, através da melhoria na qualidade da iluminação pública, reduzindo os custos e buscando sustentabilidade energética (CITY OF CASEY, 2016).

A cidade de Casey desenvolveu um guia, chamado “Lighting the Way”, que fornece informações para ajudar o poder público a melhorar a iluminação pública, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa, os custos e os riscos. O guia sugere a utilização de soluções energéticas mais eficientes a fim de se buscar um melhor serviço na iluminação pública e também a cumprir as normas australianas, além de descrever questões técnicas do setor (WORLD BANK, 2016c).

Com a utilização do guia, a cidade investiu mais de 3 milhões de dólares em um programa de renovação do sistema de iluminação, substituindo 9.200 lâmpadas de vapor de mercúrio por lâmpadas de LED, deixando de emitir quase 4 mil toneladas de gases de efeito estufa por ano. O guia foi fundamental para direcionar as ações e avaliar de melhor forma as

orientações sobre os benefícios das lâmpadas LED nos quesitos consumo de energia, manutenção e vida útil.

4.3.1.6 Estudo de Caso: Reino Unido

No Reino Unido, a iniciativa para elaboração de um guia para a iluminação pública partiu da agência de rodovias local, Midlands Highway Alliance (MHA). Por meio de um programa de melhoria da eficiência, a agência formalizou o documento que descreve as especificações mínimas e desejadas para tecnologias de iluminação, a fim de reduzir as emissões de carbono e também os custos com energia e manutenção (WORLD BANK, 2016c).

Esta aplicação beneficia a própria agência no sentido de melhorar a qualidade do serviço prestado, além de maior organização em termos de contratos de manutenção e pela aquisição de novas tecnologias, comprovando que a iluminação pública é um serviço que atinge diversos setores e sua eficiência é importante para o funcionamento de todos eles.

4.3.2 Programa de *Retrofit* da Iluminação Pública

Esta também é uma das práticas recomendadas pelo Banco Mundial, com a principal justificativa de que o uso de lâmpadas ineficientes na iluminação pública faz com que haja pouca geração de luz e muito mais de calor, aumentando o consumo de energia elétrica.

Além disso, há falta de planejamento na organização das lâmpadas e luminárias, que tendem a dispersar a luz em diversas direções, aumentando a sua ineficiência. Portanto, o uso de novas tecnologias pode melhorar significativamente a eficiência do sistema, além da sua qualidade. Para implementação desta prática há uma série de opções, conforme apresentado no Quadro 13.

Quando se aplica um projeto de *retrofit* da iluminação pública, também é fundamental haver um plano de monitoramento bem estruturado, incluindo indicadores como custo energético por quilômetro de via e a média de eficiência luminosa.

Quadro 13 - Opções de implementação do Programa de *Retrofit* da Iluminação Pública

Opções	Descrição
Auto implementação por parte do município	O poder público inicia a substituição de lâmpadas por outras mais eficientes, assumindo os riscos financeiros, mas também acumulando os benefícios que tendem a vir a médio e longo prazos.
Contratação de uma Companhia de Serviços de <i>Retrofit</i> Energético para assumir o projeto	Uma empresa divide com o poder público os riscos, os investimentos e a poupança financeira ao longo do projeto.
Realização de um contrato de fornecimento e instalação	Dá a liberdade para o município definir parâmetros de desempenho para avaliação da empresa contratada, porém exige a elaboração de um plano de financiamento para execução.
Concessão de longo prazo	Livra o poder público do financiamento, mas estabelece o repasse das poupanças financeiras acumuladas por meio da energia economizada (esta opção é benéfica para municípios sem recursos financeiros para arcar com o custo inicial mas tem interesse no aumento de sua eficiência).
Empreendimento conjunto (associação de empresa + poder público)	Permite que a cidade mantenha um grau significativo de controle sobre projetos de <i>retrofit</i> ao compartilhar riscos associados com um parceiro que é experiente em questões de iluminação pública (opção eficaz para beneficiar ambas as partes em termos de melhora na eficiência energética e quando não há conflito de interesses).

Fonte: World Bank (2016b)

4.3.2.1 Estudo de Caso: Akola, Índia

A cidade de Akola, na Índia, solicitou de uma empresa energética o serviço de *retrofit*, para substituição de mais de 11.500 pontos de iluminação (vapor de mercúrio, vapor de sódio e fluorescente padrão) por lâmpadas fluorescentes T5.

A empresa contratada arcou com todos os investimentos, sendo responsável pela implementação e manutenção das novas instalações e o seu pagamento foi feito por meio de fração da economia de energia obtida com o novo sistema (95% da economia durante 6 anos de contrato).

O investimento inicial da prática foi estimado em torno de US\$ 120.000,00 e o *retrofit* foi finalizado dentro de um período de 3 meses, com economia de energia atingida de 56%, equivalendo a US\$ 133.000,00. Este cenário fez com que o *payback* da prática se tornasse bastante atrativo, ficando em menos de 11 meses (ESMAP, 2009).

4.3.2.2 Estudo de Caso: Dobrich, Bulgária

Em 2000, a cidade de Dobrich realizou uma avaliação bastante detalhada acerca do sistema de iluminação pública. Os resultados nortearam o projeto de modernização que iniciou

no ano seguinte, com lâmpadas de mercúrio sendo substituídas por lâmpadas de vapor de sódio e lâmpadas fluorescentes compactas.

A implementação da prática fez 6.450 novas lâmpadas mais eficientes serem instaladas e o controle da iluminação também foi atualizado. O resultado deste *retrofit* foi uma economia de quase 3 GWh por ano, equivalendo a € 91.400,00 poupados (WORLD BANK, 2016b).

4.3.2.3 Estudo de Caso: Los Angeles, EUA

O projeto de *retrofit* aplicado na cidade de Los Angeles, chamado *Light Emitting Diode Street Lighting Retrofit* foi o maior já realizado, resultado de uma colaboração do poder público com programas de iniciativa sustentável.

Durante os cinco anos de aplicação, o projeto visou a substituição de 140 mil lâmpadas do sistema de iluminação pública (em torno de 67% do total), passando a se utilizar a tecnologia LED. O investimento de US\$ 57 milhões traria como resultados uma economia estimada de US\$ 10 milhões por ano em energia e custos com manutenção, além de evitar a emissão de 40.500 toneladas de emissões de CO₂ por ano.

Para implementação da prática, Los Angeles utilizou uma quantia do orçamento do setor de iluminação (aproximadamente US\$ 4 milhões) e uma fonte de financiamento (responsável por US\$ 40 milhões), além de ter contado com redução da tarifa de energia por parte da Departamento de Água e Energia de Los Angeles, que disponibilizou desconto de US\$ 0,24/kWh, representando cerca de US\$ 13 milhões. O pagamento do financiamento pode ser feito através da poupança de energia e custos de manutenção, o que não geraria impacto direto aos cofres públicos (ESMAP, 2011).

A Figura 35 apresenta uma avenida antes e depois do *retrofit*. Antes (a), eram utilizadas lâmpadas de vapor de sódio e após (b), LED. Verifica-se que o uso de LED reduz a poluição luminosa, aumentando com isso a sensação de segurança e qualidade de vida, além da própria economia de energia (WORLD BANK, 2016b).

Figura 35 - Antes (a) e depois (b) do *retrofit* realizado em Los Angeles



Fonte: ESMAP (2011)

4.3.2.4 Estudo de Caso: Oakland, EUA

Em Oakland, foi realizado um estudo de viabilidade para a implementação de lâmpadas de LED. Inicialmente, a equipe de trabalho fez avaliações pré e pós uma instalação teste em um estacionamento da cidade, a fim de verificar o impacto da mudança em termos de segurança. Avaliando-se a mudança positivamente, o projeto teve sequência com a instalação em diversas vias, e desde o princípio houve o comprometimento em se realizar o monitoramento quantitativo e qualitativo, incluindo gasto energético, custos estimados, e satisfação da população.

A implementação desta prática resultou na substituição de 15 lâmpadas de vapor de sódio de 100W por mesmo número de lâmpadas de LED, mas de 78W, em uma área residencial da cidade. Com uma média de 4.100 horas de operação das lâmpadas por ano, a economia de energia foi de aproximadamente 178 kWh/ano por luminária trocada (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2008).

A Figura 36 mostra o resultado da prática, comparando com a situação anterior à sua implementação (a), com utilização de lâmpadas de vapor de sódio, e após (b), com lâmpadas LED.

Figura 36 - Antes (a) e depois (b) do *retrofit* realizado em Oakland



Fonte: U.S. Department of Energy (2008)

4.3.2.5 Estudo de Caso: Belo Horizonte (MG), Brasil

Belo Horizonte é uma capital nacional de destaque em termos de medidas de eficiência energética em iluminação pública. Em 2010, por meio do Programa Nacional de Iluminação Pública e Sinalização Semafórica Eficiente (Procel Reluz), 30 mil dos 130 mil pontos existentes no município foram substituídos, buscando tecnologias mais eficientes. A Figura 37 apresenta um exemplo do antes (a) e depois (b) desta substituição, sendo trocadas lâmpadas de vapor de mercúrio por vapor de sódio, respectivamente.

Figura 37 - Antes (a) e depois (b) do *retrofit* realizado em Belo Horizonte em 2010



Fonte: PROCEL (2010)

Esta aplicação apresentou investimentos na ordem de R\$11,6 milhões, frente a uma economia anual estimada de 4.443 MWh e redução prevista na fatura de energia elétrica para a Prefeitura da ordem de R\$ 1 milhão ao ano. Além disso, o PROCEL realizou pesquisa de

opinião pública, o que trouxe mais um resultado positivo, que foi o aumento da satisfação da população (PROCEL, 2010).

Em 2015, Belo Horizonte apresentou um novo plano de *retrofit*, este propondo a substituição de todas as lâmpadas de vapor de sódio pelo sistema LED. Os investimentos chegam a R\$ 300 milhões, para troca de 180 mil lâmpadas em um período de 5 anos. O retorno do investimento pode ser recuperado entre 20 e 25 anos, no máximo (FERREIRA, 2016).

4.3.3 Programa de Energia Alternativa

A energia elétrica consumida pela maioria das cidades brasileiras provém da fonte hidrelétrica, considerada então uma fonte renovável. Em países com menor potencial hídrico, esta eletricidade tende a vir de fontes não renováveis, como a termelétrica e nuclear. Independente da fonte utilizada, sabe-se que o incentivo às fontes alternativas é alto em função da segurança energética a que lhe é atribuída, além da própria sustentabilidade.

Em iluminação pública, uma prática que começou a ser aplicada recentemente é justamente este maior incentivo às fontes alternativas para aproveitamento do potencial solar e/ou eólico. Um desafio desta prática é aliar o ponto positivo da sustentabilidade com a viabilidade financeira, já que o investimento inicial é alto (KUNZLER et al., 2010).

4.3.3.1 Estudo de Caso: Catalunha, Espanha

A parceria realizada entre pesquisadores da Universidade Politécnica de Catalunha e a empresa espanhola Eolgreen, com foco de seu trabalho em energias renováveis, resultou na criação de um sistema de iluminação pública que funciona de forma autônoma, apenas com energia solar e eólica (UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA, 2015).

A ideia foi justamente priorizar o setor de iluminação pública, que é tão importante para a infraestrutura de uma cidade, e um dos poucos setores que tem a possibilidade de ser completamente sustentável.

Conforme Ayre (2015), o primeiro protótipo criado possui 10 metros de altura, luzes de LED abastecidas por dois painéis solares (100W cada), uma turbina eólica, uma bateria de lítio recarregável e luzes de LED. A turbina foi desenvolvida para operar mesmo com baixa intensidade de ventos, sendo que as convencionais começariam a trabalhar com velocidade de vento maior que 2,5 m/s, e a do protótipo ativa o gerador com velocidade a partir de 1,4 m/s. O

protótipo possui um sistema eletrônico que troca o fluxo de energia entre o painel solar, a turbina eólica e a bateria conforme a necessidade.

Mesmo com baixa intensidade solar, a luminária pode gerar eletricidade por até seis noites, apenas com ventos fracos. Além disso, o poste pode durar mais de duas décadas, com único gasto sendo a manutenção a ser realizada. A estimativa do projeto é de redução de 20% dos gastos mensais com iluminação em cidades espanholas com até 100 mil habitantes, e já há acordos de aplicação de 700 destes postes em cidades como Huelva e Girona, que se interessaram na prática especialmente pela economia em eletricidade e garantir a iluminação com resiliência para o futuro (UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA, 2015).

4.3.3.2 Estudo de Caso: Canoas (RS), Brasil

Em 2013, a prefeitura de Canoas e o Grupo Baram assinaram um termo de cooperação para projeto piloto em termos de energia limpa. O projeto previa a substituição de dois postes de iluminação pública convencional na rodovia federal BR-116, por dois postes híbridos (energia eólica e solar) com quatro luminárias LED de 100 W instaladas a 18 metros de altura; aerogerador de 3000 W e nove placas solares de 90 W, em formato circular, totalizando 810 W (AMBIENTE ENERGIA, 2013).

O projeto foi planejado para gerar 724 kW/mês e evitar a emissão, durante os seis meses de teste, de 4,44 toneladas de CO₂. A iluminação pública da BR-116, no trecho do município, possui 220 postes e consumo anual de energia elétrica de 1.670.000 kW/ano, representando custo de R\$ 234.000,00 para o mesmo período, fato que contribui ainda mais para a busca de alternativas mais sustentáveis e econômicas.

A utilização do sistema híbrido garante segurança, pois mesmo havendo falta de energia elétrica, a região continua iluminada e a flexibilidade na geração é positiva pelas características climáticas da região sul do Brasil.

Em função dos resultados positivos do projeto, Canoas continuou investindo neste sistema, inclusive com abertura recente de edital para fornecimento, implantação e habilitação de modelos de microgeração ou minigeração distribuídas de energia limpa através de fontes de energias renováveis solar, eólica ou híbrida, conectada à rede de distribuição para uso na iluminação pública na cidade (CANOAS, 2015). Este incentivo é alto em função de que o município gasta cerca de R\$ 1 milhão por mês com iluminação pública e o uso de energias renováveis traria quase 100% de economia, autonomia e sustentabilidade, além de liberação de recursos que poderão ser investidos em outras áreas.

4.3.3.3 Estudo de Caso: Riacho Fundo (DF), Brasil

Em 2012, a cidade de Riacho Fundo também investiu na utilização de energia renovável para iluminação pública. Foram instalados 12 postes com placas fotovoltaicas, cada um com custo de R\$ 3,2 mil, contando com a utilização de lâmpadas de LED, pela maior vida útil e qualidade da iluminação.

Cada um dos postes funciona como uma mini usina independente, com alto potencial de retorno financeiro, já que em Brasília a incidência solar favorece o uso da energia fotovoltaica e, em dias nublados ou chuvosos, as placas funcionam com reserva de até três dias (PORTAL VERMELHO, 2012).

A energia fotovoltaica é gerada por meio de placas de quartzo e silício que captam e armazenam a energia solar durante o dia e à noite liberam-na, quando o sensor detecta a ausência de luz. Apesar do alto investimento destas placas, a garantia dos equipamentos é de 25 anos, período no qual os serviços com manutenção são pouco frequentes, contribuindo para o retorno econômico.

4.3.3.4 Estudo de Caso: Rio Claro (SP), Brasil

A cidade de Rio Claro, localizada no interior do estado de São Paulo, aderiu à implementação da prática de energia alternativa na iluminação pública. Em 2013, a prefeitura do município investiu cerca de R\$ 200 mil, mais que o dobro do que o sistema convencional iria demandar.

O resultado foi a iluminação de um trecho de 1,2 quilômetro na Avenida Tancredo Neves, com 45 luminárias equipadas com lâmpadas LED e painéis fotovoltaicos individuais, que armazenam e processam os raios de sol ao longo do dia, transformando-os em eletricidade para acender as luzes durante a noite (CICLOVIVO, 2014).

A ideia do projeto partiu do departamento de engenharia do município, visando a economia do setor e também a sustentabilidade. O sistema depende apenas da claridade para funcionar, garantindo a iluminação tanto em dias ensolarados quanto nublados, e as lâmpadas LED são acionadas automaticamente quando a intensidade da luz do sol é reduzida. A Figura 38 apresenta a iluminação na Avenida Tancredo Neves.

Figura 38 - Iluminação na cidade de Rio Claro com utilização de painéis fotovoltaicos



Fonte: Ciclovivo (2014)

Em função dos resultados positivos desta implementação, que vinha economizando cerca de R\$ 3 mil por mês em consumo de energia desde o início de 2014, recentemente o município expandiu o uso da energia solar para outros pontos da iluminação pública.

4.3.4 Programa de Gestão

A gestão do sistema de iluminação pública consiste em um controle remoto, por meio de aplicativos conectados à internet. O uso da tecnologia sem fio (*wireless*) no setor permite o monitoramento, controle, medição e gestão de todo o sistema, o que melhora a sua confiabilidade e segurança. Cada ponto de luz pode ser ligado e desligado a qualquer momento e um banco de dados armazena o seu estado de funcionamento, consumo de energia e possíveis falhas, juntamente com data, hora e localização geográfica (CAMPOS, 2014).

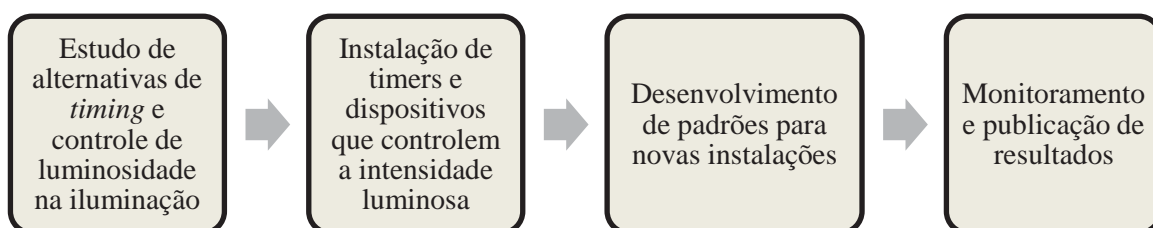
Esta prática também permite a operação inteligente do sistema de acordo com as condições meteorológicas, de tráfego ou conforme a rede de distribuição ou fonte de energia, se há mais do que uma opção. O monitoramento em tempo real prolonga a vida útil da lâmpada e indica quando algum serviço de manutenção é necessário (SIEMENS, 2016).

A gestão também pode ser implementada para adaptar o nível de iluminação conforme as horas do dia, as necessidades da cidade e atividades de cada região, já que a demanda por energia para iluminação do espaço público costuma variar nas primeiras e últimas horas do período usual, mas com pouco uso durante o meio da noite (WORLD BANK, 2016d).

A Figura 39 apresenta a sequência metodológica sugerida para o uso de *timing* e controle de luminosidade, que é uma das ações propostas pela prática. Inicialmente, deve ser preparado um estudo para escolha das ruas e luminárias que tem potencial de utilização do *timing* ou da redução da intensidade luminosa durante a madrugada. Com este estudo pronto, iniciam-se os

financiamentos para implementar as modernizações e oportunidades, com planejamento de atender a totalidade do município em certo prazo. A etapa seguinte é a elaboração de padrões para novas instalações, para que já sejam planejadas de acordo com esta prática, buscando sempre maior eficiência. Por fim, o monitoramento, com medida da economia de energia atingida pela prática, e a publicação dos resultados para incentivar outros municípios e o poder privado a investirem neste modelo.

Figura 39 - Sequência metodológica sugerida para a prática de *timing* em iluminação pública



Fonte: Elaborado pela autora com base em World Bank (2016d)

Conforme Campos e Coutinho (2013), a utilização desses sistemas de gestão em iluminação pública contribui para redução nas emissões de gases de efeito estufa, melhora a manutenção do sistema e reduz o seu custo, além de contribuir significativamente para a economia de energia através da detecção das necessidades de iluminação e prevenção de falhas.

4.3.4.1 Estudo de Caso: Düsseldorf, Alemanha

Um exemplo de aplicação da gestão da iluminação pública é a cidade Düsseldorf, na Alemanha, realizado em parceria com a Siemens em 2012 (SIEMENS, 2014). A ideia original foi utilizar gestão inteligente do setor para reduzir o consumo de energia, mas sem comprometer a segurança e a qualidade de vida.

A cidade implementou o uso do sistema de gestão Via Lumen, que controla remotamente diversos postes de ruas específicas, de maior movimentação. Este sistema faz a medição contínua do consumo de energia, ajusta a iluminação de acordo com os níveis de tráfego e condições meteorológicas (como nevoeiro, por exemplo), e permite a coleta de informações em tempo real sobre cada lâmpada e sua localização na cidade. Se eventualmente ocorre alguma falha de comunicação entre o poste e o controlador e a iluminação é desativada, um programa de emergência foi elaborado para ativar automaticamente a luz para nível de tráfego alto.

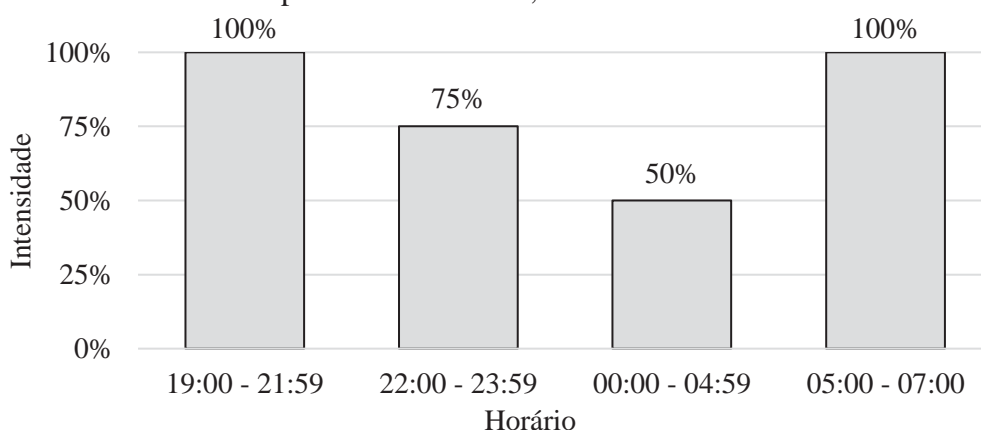
Os resultados mostram que o maior consumo se dá somente em horários de maior tráfego, e com as reduções feitas, atingiu-se economia de energia entre 60 e 90%, ficando em torno de 108 MWh economizados por ano. Apesar da economia monetária não ter sido o principal foco da prática, esta também se mostrou bastante vantajosa em função da facilidade de verificação de falhas do sistema e manutenção programada.

4.3.4.2 Estudo de Caso: Kirklees, Reino Unido

A cidade de Kirklees, no Reino Unido, ao invés de trabalhar apenas com o sistema de liga e desliga, possui desde 2009 um sistema de iluminação pública que faz com que as luzes variem de intensidade conforme as horas do dia e da noite. Essa ação foi aplicada para que não fosse necessário desligar completamente as luzes, o que contribuiria para redução da sensação de segurança no local.

A medida foi implementada com a inclusão de antenas em cada lâmpada, que por tecnologia *wireless* tornaram possível o monitoramento e controle da luminosidade. A Figura 40 apresenta o esquema de horário e percentual de funcionamento do sistema, com início às 19h e fim às 7h (WORLD BANK, 2016). Essa variação gradual em termos percentuais faz com que os olhos se adaptem naturalmente à mudança e praticamente nem a notem.

Figura 40 - Esquema de horário e percentual de luminosidade do sistema de iluminação pública de Kirklees, Reino Unido



Fonte: Elaborado pela autora com base em World Bank (2016d)

O uso deste sistema reduz custos com manutenção e troca de equipamentos, além de ter já economizado mais de 30% de energia elétrica por ano. Outra vantagem é a redução de emissão de CO₂, sendo que esta prática auxiliou a cidade a atingir as suas metas (ZIENTEK, 2009).

4.3.4.3 Estudo de Caso: Kuala Lumpur, Malásia

Na rodovia que leva até o aeroporto internacional de Kuala Lumpur, com extensão de 66 km, foi instalado o sistema de controle da luminosidade das lâmpadas. Uma central armazena todos os dados, recebendo mensagens instantâneas de falhas e perfis de necessidade de maior ou menor percentual de luminosidade (WORLD BANK, 2016d).

Os resultados mostram economias de energia em torno de 45%, além de maior eficiência em manutenção e melhor qualidade e conforto visual na estrada, principalmente pela utilização da tecnologia LED, conforme observado na Figura 41.

Figura 41 - Rodovia de implementação da prática em Kuala Lumpur, Malásia



Fonte: SNFOR (2016)

4.3.4.4 Estudo de Caso: Oslo, Noruega

A cidade de Oslo precisava de uma solução de iluminação pública para satisfazer as diretrizes europeias de redução do consumo de energia e as emissões de dióxido de carbono. Para tanto, foi instalado um sistema de controle das luminárias, conforme tráfego no local, tempo e luz disponível.

Um centro de operações monitora e registra remotamente o uso de energia da iluminação pública e seu tempo de execução. Sensores coletam informações climáticas e calculam a intensidade da luz natural do sol e da lua e, com estes dados, acionam a luminosidade de todos os postes ou só alguns, conforme a necessidade. A implementação desta prática economizou 62% de energia, prolongou a vida útil dos equipamentos do sistema e reduziu custos com substituição (WORLD BANK, 2016d).

É esperado que o sistema traga ainda mais economia de energia, pois conforme a população vai se adaptando às mudanças, estas podem ser ampliadas.

4.3.4.5 Estudo de Caso: Belo Horizonte (MG), Brasil

A cidade de Belo Horizonte costuma apresentar alguns problemas relacionados à iluminação pública, como postes com lâmpadas acesas durante o dia e vários bairros sem a iluminação durante à noite, representando desperdício de energia e falta de segurança para a região. Visando o controle desta situação, a prefeitura lançou um edital de Parceria Pública-Privada (PPP) para investimento em sistema de telegestão (MORAIS, 2016).

O sistema deve ser integrado em mais de cem ruas e avenidas, contando com um Centro de Controle Operacional, que saberá a localização de lâmpadas com problemas e ainda poderá aumentar ou diminuir a intensidade das luzes. Conforme o edital, o valor máximo do contrato é de R\$ 1,4 bilhão para o período da concessão (20 anos), incluindo operação, monitoramento e investimento em melhorias do sistema de iluminação pública.

4.3.4.6 Estudo de Caso: Búzios (RJ), Brasil

Desde 2011, a cidade de Búzios, no Rio de Janeiro, vem investindo em diversos setores para se tornar referência mundial em termos de eficiência, buscando o título de 1ª Cidade Inteligente da América Latina. A Figura 42 mostra que a iluminação pública está dentre as prioridades do programa.



Atualmente o sistema conta com 150 luminárias com tecnologia LED, 15 luminárias com micro geração eólica e 40 pontos de luz telecomandados (CIDADE INTELIGENTE BÚZIOS, 2016). Esta gestão à distância é o grande destaque, pois com redes inteligentes, a iluminação pública da cidade pode ser gerenciada de forma mais eficiente, com regulação dos níveis de luminosidade em função do horário e o fluxo de pessoas, evitando-se desperdícios e tendo a possibilidade de verificar necessidade de manutenções e falhas, por meio de relatórios gerados para cada lâmpada.

4.3.4.7 Estudo de Caso: Curitiba (PR), Brasil

A cidade de Curitiba, que possui 156 mil pontos de iluminação pública, vem recentemente inovando sua forma de gerenciamento do sistema. O uso da gestão será feito por meio de uma ferramenta desenvolvida pela empresa curitibana Exati Tecnologia, que está em processo de finalização do produto (SARTI, 2016).

Quando pronto, o software terá disponível todos os dados referentes ao sistema de iluminação pública e servirá também para que a comunidade possa reclamar sobre os problemas com o serviço. Todo o sistema será integrado e possibilitará maior controle sobre a demanda e agilidade da equipe de manutenção nos reparos.

Conforme Sarti (2016), o uso da telegestão representa principalmente ganho em desempenho, pois possibilita aos gestores o acompanhamento das deficiências do parque de iluminação pública e a identificação de oportunidades de melhoria e eficiência. Além disso, o uso de indicadores, gráficos e relatórios gerenciais torna possível a avaliação de deslocamentos excessivos, controle de estoques e qualidade e duração dos materiais aplicados.

4.3.4.8 Estudo de Caso: São Luiz do Paraitinga (SP), Brasil

A cidade paulista de São Luiz do Paraitinga passou a ser reconhecida recentemente pela sua iluminação pública. Participante do projeto Cidade Inteligente, idealizado pela Elektro (que inclui as vertentes Medição Inteligente, Geração Distribuída, Iluminação Pública, Veículos Elétricos e Interação com Consumidores), a cidade foi contemplada com novas tecnologias para tornar o consumidor participativo e consciente do uso racional de energia. Em iluminação pública, as mudanças incluem a aplicação de luminárias com tecnologia LED e gestão remota do consumo, para alcançar maior eficiência nesse setor.

A gestão do setor no município permite o monitoramento de todos os pontos de iluminação pública em tempo real, por meio de um controlador (composto por foto célula inteligente e rádio) instalado nas luminárias, que se comunica com sistema de gerenciamento por rede sem fio. Também é possível ligar, desligar, ver o status atual de cada ponto e extrair relatórios de consumo de todas as luminárias, podendo-se saber o tempo em que a luminária esteve ligada e se apresentou alguma falha (GRANDES CONSTRUÇÕES, 2016).

Diferentemente dos controladores do tipo fotocélula, que podem levar até 20 minutos para acenderem todos os pontos de iluminação, o controlador de rádio frequência garante o acendimento conforme sua programação, podendo ser em horário previamente definido e, além disso, permite a configuração de avisos diários ou em tempo real de alguma divergência, facilitando a identificação de eventuais falhas e agilizando o trabalho de localização e manutenção.

O projeto iniciou em 2012 e começou a ser implantado na cidade em 2015. A escolha de São Luiz do Paraitinga aconteceu em função da pequena população e maior facilidade de interação e mobilização e, ainda assim, a integração de todos os parceiros foi uma das maiores dificuldades da implementação desta prática (GRANDES CONSTRUÇÕES, 2016).

4.3.5 Classificação das melhores práticas

O Quadro 14 apresenta a classificação das melhores práticas de acordo com os aspectos que regulam o sucesso de sua implementação. Na intersecção das práticas com os aspectos é apresentada a justificativa da classificação.

Todas as melhores práticas apresentam em sua concepção o aspecto tecnológico e ambiental como regulador, pois visam a economia de energia, a redução de custos e um sistema de iluminação mais eficiente, e/ou relacionados ainda com o uso de novas tecnologias. O mesmo vale para o aspecto de financiamento, visto que, dependendo do porte do município que vise a sua implementação, qualquer uma das práticas pode demandar a necessidade de incentivo financeiro para implementação, como formas de financiamento e apoios públicos ou privados.

Da mesma forma que para os demais, o aspecto político também regula o sucesso das práticas, principalmente em função de que todas tendem a ter maior efetividade se apoiadas por

planos energéticos municipais, estaduais ou até mesmo nacionais, que dariam maior subsídio para suas implementações.

O Programa de Energia Alternativa também possui característica de dependência de apoio fiscal, podendo os municípios que implementem sua prática receberem redução de taxas como bonificação e incentivo. Além disso, o Programa de Gestão é uma prática que pode ter melhores resultados se já estiver relacionada a mudanças legais, como ajustes tarifários e a não necessidade de fixação de horas de iluminação diárias, o que poderia prejudicar a sua implementação.

E ao comentar a implementação de outras práticas, é importante destacar que várias destas estudadas podem ou devem ser aplicadas em conjunto, para um melhor resultado global do sistema, como é o caso da Auditoria antevendo o *Retrofit*, ou o Programa de Gestão auxiliando o uso de energias alternativas.

Quadro 14 - Classificação das melhores práticas de acordo com aspectos reguladores de seu sucesso

Melhor prática	Enquadramento de acordo com Abdmouleh (2015) (adaptado)				
	Aspectos				
	Político	Fiscal	Financiamento	Legal	Tecnológico e Ambiental
Programa de Auditoria e Elaboração de Guia	<i>Maior efetividade se apoiado por Planos Nacionais, Estaduais ou Municipais</i>		<i>Necessidade de subsídios para realização</i>		<i>Visa maior eficiência do sistema</i>
Programa de <i>Retrofit</i>	<i>Maior efetividade se apoiado por Planos Nacionais, Estaduais ou Municipais</i>		<i>Necessidade de incentivo financeiro</i>		<i>Visa economia de energia</i>
Programa de Energia Alternativa	<i>Maior efetividade se apoiado por Planos Nacionais, Estaduais ou Municipais</i>	<i>Redução de taxas como bonificação e incentivo</i>	<i>Necessidade de incentivo financeiro</i>		<i>Visa maior eficiência do sistema</i>
Programa de Gestão	<i>Maior efetividade se apoiado por Planos Nacionais, Estaduais ou Municipais</i>		<i>Necessidade de incentivo financeiro</i>	<i>Necessidade de ajuste tarifário e não fixação de horas de iluminação</i>	<i>Visa economia de energia</i>

Fonte: Elaborado pela autora.

4.4 Processo de decisão de escolha das melhores práticas

O início do processo de decisão para escolha das melhores práticas foi realizado por meio do contato com os técnicos do setor de iluminação pública de cada município e professores dos cursos de Engenharia Elétrica com experiência na área, nas universidades participantes do projeto PRESUST-RS.

4.4.1 Perfil dos decisores

O contato inicial fez-se apresentando o projeto e temática da dissertação, a fim de verificar a disponibilidade de participação dos decisores. Aos que concordaram em participar da pesquisa, foi encaminhado o link para o questionário online, com prazo de resposta de 7 dias a partir do recebimento. Dos 20 profissionais que aceitaram participar, apenas três não concluíram o questionário, mesmo com novo contato e extensão do prazo de conclusão, possivelmente por não se sentirem com domínio suficiente acerca da temática para responder.

Dos 17 decisores participantes, 16 são do sexo masculino e apenas uma do sexo feminino, com faixa etária predominante de 33 a 41 anos. Todos os participantes possuem como nível de escolaridade pós-graduação (PG) completa ou incompleta, e formação engenharia elétrica ou civil, conforme observado no Quadro 15, que apresenta o perfil dos entrevistados.

Não se tem mesmo número de decisores em cada município em função da disponibilidade de participantes em cada um, de acordo com número de técnicos nas prefeituras dispostos a participar da pesquisa, e também de professores com experiência na área de iluminação pública.

Quadro 15 - Perfil dos decisores participantes do questionário online

Município/ Entrevistado	Sexo	Faixa Etária	Nível de escolaridade	Formação	Função	Tempo na função	
Passo Fundo	1	M	42 - 51	PG* completa	Eng. Elétrica	Profissional da área e professor	28 anos
	2	M	33 - 41	PG completa	Eng. Elétrica	Eng. de projetos e professor	10 anos
	3	M	26 - 32	PG completa	Eng. Elétrica	Professor	5 anos
	4	M	26 - 32	PG completa	Eng. Elétrica	Professor	4 anos
	5	M	33 - 41	PG completa	Eng. Elétrica	Engenheiro (Prefeitura)	5 anos
	6	M	18 - 25	PG incompleta	Eng. Elétrica	Engenheiro	8 meses
Porto Alegre	7	F	42 - 51	PG incompleta	Eng. Elétrica	Responsável por aprovação de materiais (Prefeitura)	5 meses
	8	M	26 - 32	PG completa	Eng. Elétrica	Atuação em projetos elétricos e professor	1 ano
	9	M	33 - 41	PG completa	Eng. Elétrica	Engenheiro (Prefeitura)	7 anos
Santa Maria	10	M	26 - 32	PG completa	Eng. Elétrica	Professor	4 anos
	11	M	26 - 32	PG completa	Eng. Elétrica	Professor	6 anos
	12	M	42 - 51	PG completa	Eng. Elétrica	Professor	20 anos
	13	M	33 - 41	PG completa	Eng. Elétrica	Professor	12 anos
	14	M	33 - 41	PG completa	Eng. Elétrica	Professor	8 anos
	15	M	33 - 41	PG completa	Eng. Elétrica	Professor	7 anos
	16	M	42 - 51	PG completa	Eng. Elétrica	Professor	15 anos
	17	M	Acima 52	PG completa	Eng. Civil	Superintendente (Prefeitura)	8 anos

*PG = Pós-graduação

Fonte: Elaborado pela autora.

4.4.2 Análise da Razão de Consistência

Após recebimento das respostas dos questionários, os dados foram inseridos no *software Expert Choice*. Inicialmente foi verificada a consistência dos resultados de cada decisor, conforme observado no Quadro 16, que apresenta as razões de consistência para os quatro julgamentos realizados (avaliação dos critérios e avaliação das práticas conforme critério custo de implantação, economia de energia e facilidade de implantação) e a consistência global dos julgamentos.

Quadro 16 - Razão de consistência para os julgamentos de cada decisor

Município/ Entrevistado	Avaliação dos critérios	Avaliação das práticas			Global	
		Critério Custo de Implantação	Critério Economia de Energia	Critério Facilidade de Implantação		
Passo Fundo	1	0,00	0,06	0,20	0,14	0,08
	2	0,53	0,42	0,39	0,39	0,44
	3	0,38	0,03	0,02	0,25	0,18
	4	0,00	0,14	0,10	0,22	0,08
	5	0,20	0,13	0,03	0,21	0,14
	6	0,04	0,06	0,01	0,12	0,04
Porto Alegre	7	0,00	0,01	0,53	0,13	0,14
	8	0,42	0,13	0,19	0,15	0,25
	9	0,03	0,13	0,13	0,13	0,09
Santa Maria	10	0,42	0,11	0,30	0,32	0,32
	11	0,17	0,39	0,20	0,13	0,21
	12	0,13	0,14	0,14	1,24	0,19
	13	0,06	0,17	0,19	0,03	0,13
	14	0,20	0,09	0,09	0,11	0,13
	15	0,20	0,06	0,23	0,06	0,19
	16	0,00	0,04	0,00	0,33	0,02
	17	0,00	0,12	1,10	0,00	0,25

Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se que os decisores 2, 8, 10, 11 e 17 possuem razão de consistência globais acima do limite máximo permitido (0,20). Optou-se então por desconsiderar tais julgamentos para se ter um resultado final mais confiável.

Com os julgamentos de cada decisor inseridos no software, foi possível verificar a preferência de cada prática por município estudado. Os Quadros 17 a 19 apresentam os resultados para cada município, antes e depois da retirada dos julgamentos inconsistentes.

O Quadro 17 mostra os resultados obtidos para o município de Passo Fundo. Considerando a combinação dos julgamentos de todos os decisores, a razão de consistência foi de 0,03, e a prática Programa de *Retrofit* foi a preferível com 39,1% do total. Descartando o

juízo inconsistente deste município, a razão de consistência global passou a ser 0,04 e o Programa de *Retrofit* continuou sendo a prática preferível pelos decisores.

Quadro 17 - Resultado obtido para o município de Passo Fundo, antes e depois do descarte de julgamentos inconsistentes

Práticas	Antes	Depois
Programa de Auditoria e Elaboração de Guia	19,7%	19,3%
Programa de <i>Retrofit</i>	39,1%	36,7%
Programa de Energia Alternativa	18,5%	21,5%
Programa de Gestão	22,7%	22,5%
Razão de consistência	0,03	0,04

Fonte: Elaborado pela autora.

Em Porto Alegre, conforme apresentado no Quadro 18, a razão de consistência da combinação de todos os julgamentos foi 0,06, e após a exclusão dos inconsistentes, passou a 0,04. Em ambas as situações os Programas de Auditoria e Guia e *Retrofit* foram os que obtiveram maior pontuação.

Quadro 18 - Resultado obtido para o município de Porto Alegre, antes e depois do descarte de julgamentos inconsistentes

Práticas	Antes	Depois
Programa de Auditoria e Elaboração de Guia	33,8%	36,7%
Programa de <i>Retrofit</i>	32,9%	38,6%
Programa de Energia Alternativa	14,1%	8,6%
Programa de Gestão	19,2%	16,0%
Razão de consistência	0,06	0,04

Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com o apresentado no Quadro 19, em Santa Maria a razão de consistência era de 0,05 com todos os julgamentos, e reduziu para 0,03 com a exclusão dos três decisores com julgamentos inconsistentes. Neste município observou-se pontuação muito próxima entre as práticas, mas, especialmente após o descarte dos inconsistentes, tem-se os Programas de Energia Alternativa e de Gestão como os preferíveis.

Quadro 19 - Resultado obtido para o município de Santa Maria, antes e depois do descarte de julgamentos inconsistentes

Práticas	Antes	Depois
Programa de Auditoria e Elaboração de Guia	25,0%	20,5%
Programa de <i>Retrofit</i>	23,4%	22,4%
Programa de Energia Alternativa	25,7%	28,4%
Programa de Gestão	26,0%	28,6%
Razão de consistência	0,05	0,03

Fonte: Elaborado pela autora.

Observando as razões de consistência globais de cada município, considerando todos os julgamentos, verifica-se que os valores estão abaixo de 0,20 (que é a razão considerada neste trabalho), e, também abaixo do valor de 0,10, indicado por Saaty. Porém, mesmo assim, foi considerado como resultado final o obtido depois do descarte dos julgamentos inconsistentes, para se ter uma conclusão ainda mais confiável. A seguir, serão discutidos de forma mais aprofundada os resultados de cada município.

4.4.3 Análise de Sensibilidade

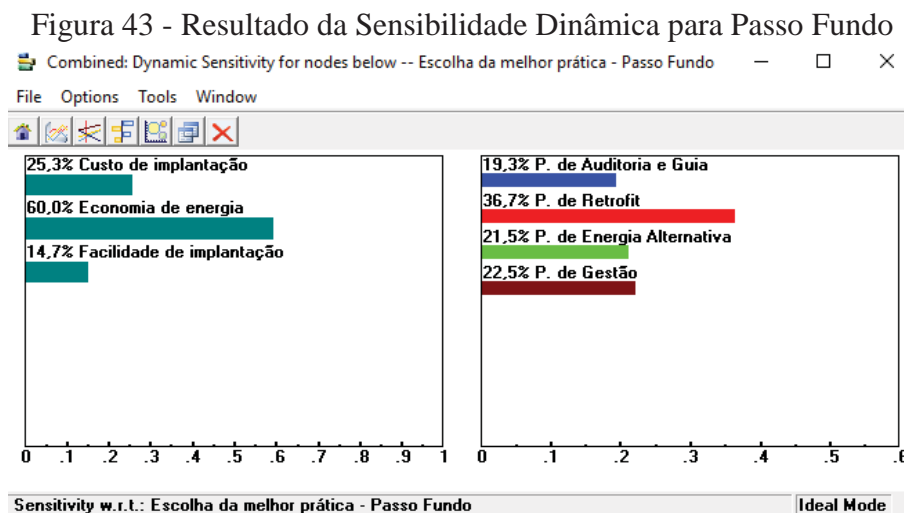
A análise de sensibilidade consiste na alteração dos pesos atribuídos a cada critério a fim de verificar a resposta nas alternativas escolhidas. Um resultado confiável é observado quando a conclusão obtida não varia, mesmo com pequena modificação nos pesos dos critérios.

4.4.3.1 Passo Fundo

A Figura 43 apresenta o resultado do gráfico de sensibilidade dinâmica que o software disponibiliza, a fim de mostrar o peso médio de cada critério baseado nos dados fornecidos nos questionários. Observa-se que o critério Economia de Energia foi o considerado mais importante para os decisores de Passo Fundo, seguido pelo Custo de Implantação e com menor importância está o critério de Facilidade de Implantação. Assim, as escolhas feitas contribuíram para a preferência do Programa de *Retrofit* como prática a ser aplicada.

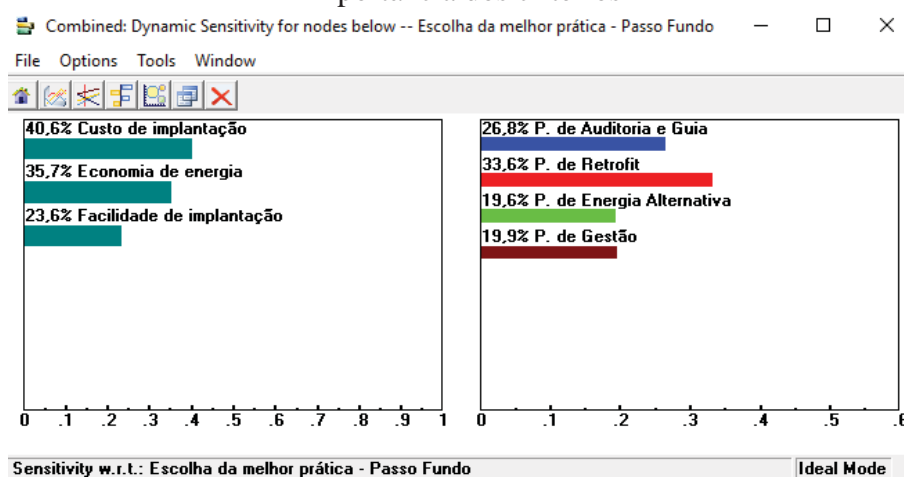
A análise de sensibilidade exige que, com a utilização da interface gráfica do software, modifique-se ligeiramente a importância de cada critério, a fim de verificar o impacto da alteração no resultado de preferência de cada alternativa. Para o resultado ser considerado robusto, não deve haver mudança na classificação das alternativas. Isto é observado para Passo Fundo, já que, mesmo reduzindo a importância do critério Economia de Energia e aumentando

a do Custo de Implantação, ainda assim o Programa de *Retrofit* é a prática com maior pontuação, conforme observado na Figura 44.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 44 - Resultado da Análise de Sensibilidade para Passo Fundo, com variação da importância dos critérios



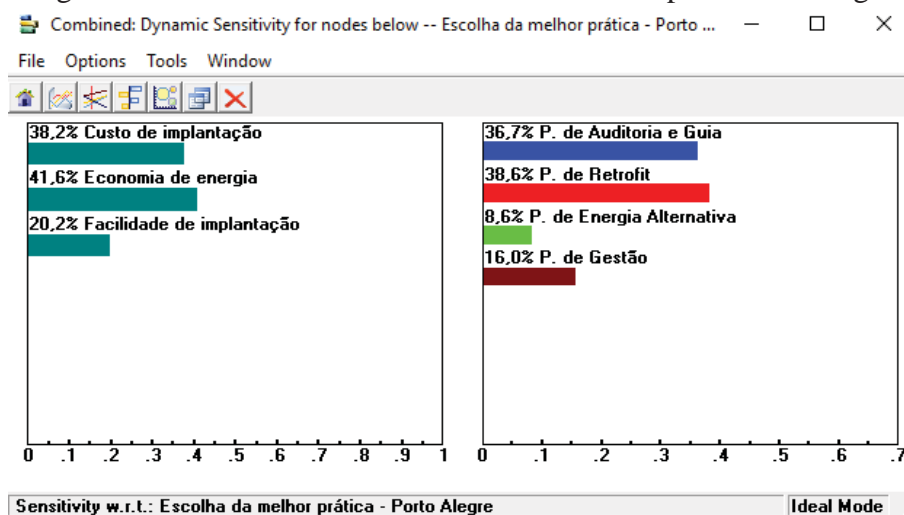
Fonte: Elaborado pela autora.

4.4.3.2 Porto Alegre

Para o município de Porto Alegre, o resultado do gráfico de sensibilidade dinâmica é apresentado na Figura 45. Na capital do Estado, observa-se que o critério Economia de Energia também foi considerado o mais importante para os decisores, mas com muita proximidade do critério Custo de Implantação. Estas preferências favoreceram a escolha dos Programas de Auditoria e Guia e *Retrofit* como práticas para Porto Alegre.

Foram definidas estas duas práticas como as escolhidas em função da proximidade do percentual de preferência de cada uma. Esta definição ganha força ao se avaliar a análise de sensibilidade, que mostrou que a variação no peso dos critérios fez com que ambas as práticas citadas continuassem como as preferíveis, com pouca variação percentual entre elas.

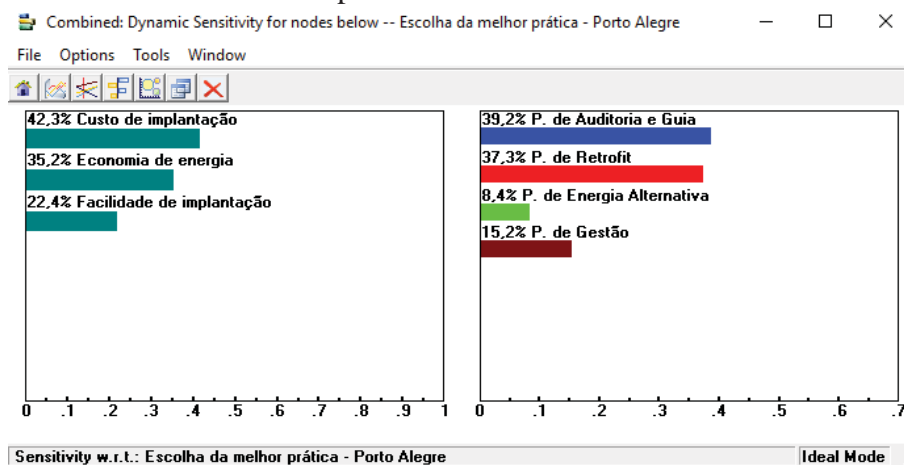
Figura 45 - Resultado da Sensibilidade Dinâmica para Porto Alegre



Fonte: Elaborado pela autora.

Ou seja, mesmo que os decisores mudassem suas opiniões, passando a considerar o custo como critérios mais importante, ainda assim as práticas previamente escolhidas seriam as preferíveis. A única diferença é que, se o Custo fosse mais importante que a Economia, o Programa de Auditoria e Guia teria uma leve vantagem sobre o Programa de *Retrofit*, conforme observado na Figura 46.

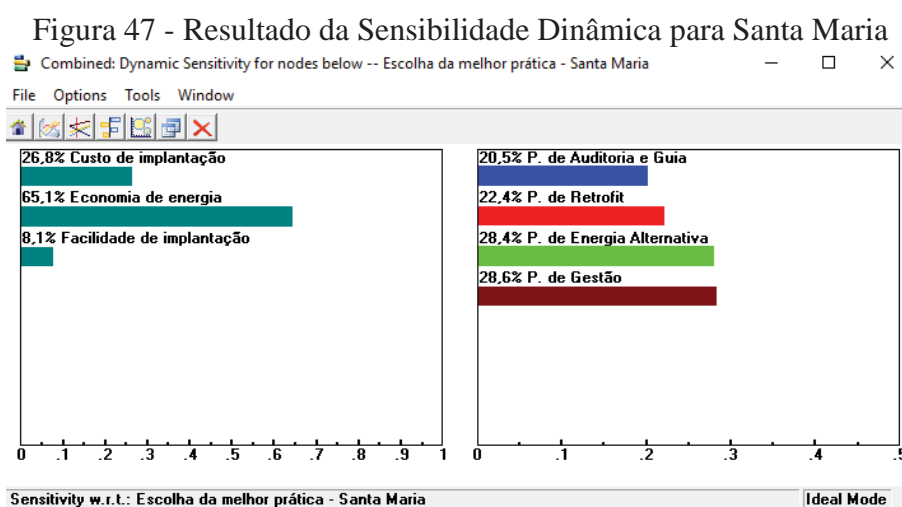
Figura 46 - Resultado da Análise de Sensibilidade para Porto Alegre, com variação da importância dos critérios



Fonte: Elaborado pela autora.

4.4.3.3 Santa Maria

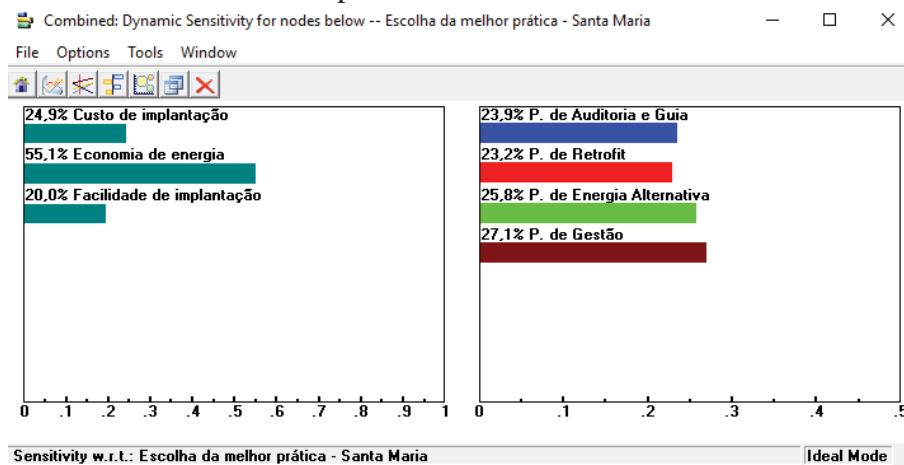
Em Santa Maria, conforme Figura 47, observa-se que, assim como nas demais cidades, o critério Economia de Energia foi considerado o mais importante para os decisores. Nesta cidade, porém, nenhuma prática obteve maioria absoluta em comparação com as demais, podendo-se dizer que elas apresentam preferências muito próximas. Ainda assim, o resultado da análise multicritério aponta para os Programas de Energia Alternativa e de Gestão como os escolhidos para implantação em Santa Maria.



Fonte: Elaborado pela autora.

Da mesma forma que para Porto Alegre, em Santa Maria também se optou por ter como resultado final duas práticas em conjunto em função da proximidade do percentual de preferência de cada uma. A análise de sensibilidade mostra que, mesmo reduzindo a importância dos critérios de custo e economia de energia, ainda assim o Programa de Energia Alternativa e o de Gestão seriam os escolhidos, de acordo com a Figura 48. Isso implica que, apesar de Santa Maria ser o município com resultado de preferência entre práticas mais próximo entre elas, mesmo com uma possível mudança de opinião dos decisores, as práticas escolhidas poderiam ser mantidas.

Figura 48 - Resultado da Análise de Sensibilidade para Santa Maria, com variação da importância dos critérios



Fonte: Elaborado pela autora.

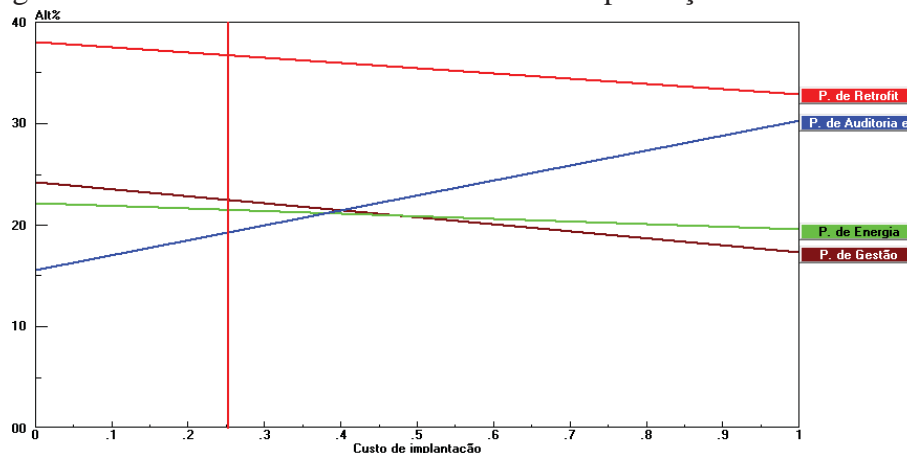
4.4.4 Análise de Performance

A análise de performance é realizada a fim de discutir os resultados obtidos de escolha de cada alternativa levando em consideração cada critério utilizado. Os gráficos gerados pelo *software* apresentam os critérios no eixo das abscissas de acordo com a importância recebida para cada um, e no eixo das ordenadas a preferência obtida para cada alternativa. A linha vertical vermelha indica a preferência de cada critério estabelecida pela combinação dos julgamentos de todos os decisores em cada cidade.

4.4.4.1 Passo Fundo

A Figura 49 mostra a performance do critério Custo de Implantação. Com a importância atribuída a este critério, tem-se o Programa de *Retrofit* como prática preferível. Esta análise ainda mostra que, quanto maior a importância do critério (maior valor no eixo das abscissas), maior a tendência do Programa de Auditoria e Elaboração de Guia também ter preferência no momento de se escolher as práticas.

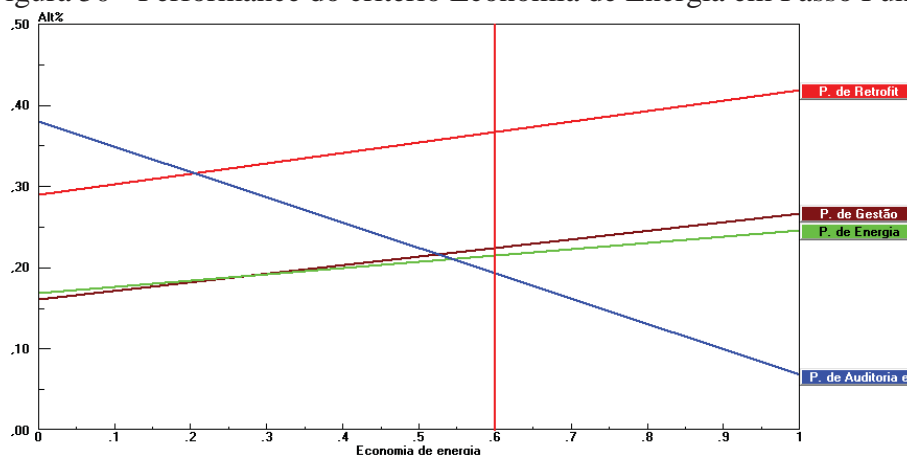
Figura 49 - Performance do critério Custo de Implantação em Passo Fundo



Fonte: Elaborado pela autora.

Por outro lado, se o critério Economia de Energia, que já foi o preferível neste município, tivesse importância aumentada, o Programa de Auditoria e Elaboração de Guia perderia importância, conforme apresentado na Figura 50. Isso é justificado em função de que esta prática realmente não tende a contribuir de forma tão direta quanto às demais na economia de energia, apesar de sua importância.

Figura 50 - Performance do critério Economia de Energia em Passo Fundo

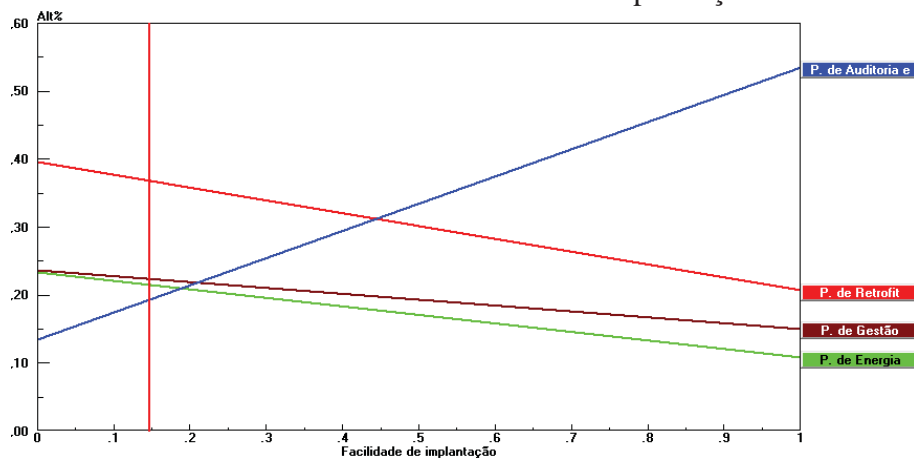


Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 51 mostra o comportamento das práticas de acordo com o critério de Facilidade de Implantação. Com a importância atribuída a ele pela combinação dos julgamentos dos decisores, observou-se a preferência pelo Programa de *Retrofit*. Porém, aumentando-se a importância deste critério, pode-se verificar aumento da tendência do Programa de Auditoria e Elaboração de Guia ser a prática escolhida. Assim como constatado no critério anterior, esta situação é compreensível, em função de que, apesar dos esforços demandados por uma auditoria

e elaboração de um guia, a implementação de um *retrofit* tende a demandar muito mais recursos, o que dificulta o processo.

Figura 51 - Performance do critério Facilidade de Implantação em Passo Fundo



Fonte: Elaborado pela autora.

4.4.4.2 Porto Alegre

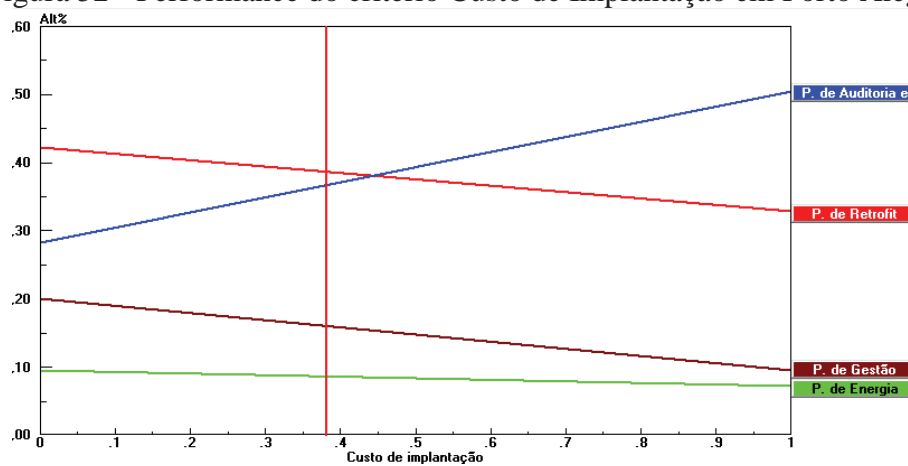
A Figura 52 apresenta o critério Custo de Implantação e sua performance em Porto Alegre. Como já discutido na Análise de Sensibilidade, os resultados do Programa de Auditoria e Elaboração de Guia e do Programa de *Retrofit* são próximos, e mesmo se este critério tivesse importância aumentada, ainda sim estas duas práticas seriam as escolhidas.

Analisando o critério Economia de Energia, por meio da Figura 53, o resultado da importância dada às práticas escolhidas é bem distante das demais; porém, com aumento da importância deste critério, o *Retrofit* se torna ainda mais importante e com maior destaque perante as demais práticas.

Em contrapartida, se o critério Facilidade de Implantação ganhasse maior pontuação por parte dos decisores, seria o Programa de Auditoria e Elaboração de Guia que se destacaria, seguido ainda pelo Programa de *Retrofit*, de acordo com a Figura 54.

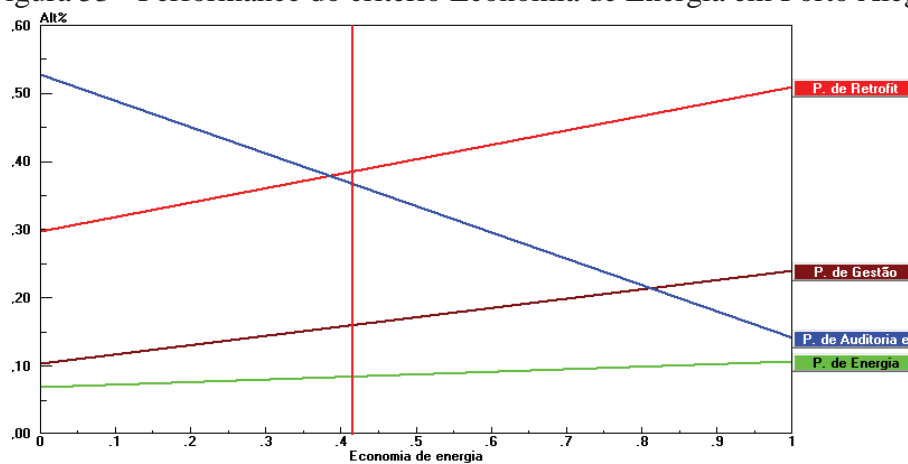
Estas avaliações indicam que, apesar de possíveis variações nas importâncias dos critérios, as duas práticas selecionadas pela análise multicritério se mostram as preferíveis em diversas situações.

Figura 52 - Performance do critério Custo de Implantação em Porto Alegre



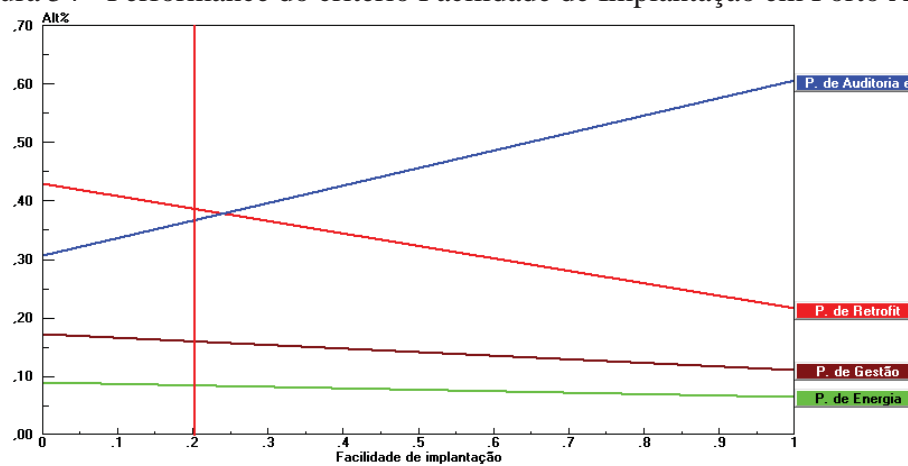
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 53 - Performance do critério Economia de Energia em Porto Alegre



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 54 - Performance do critério Facilidade de Implantação em Porto Alegre



Fonte: Elaborado pela autora.

4.4.4.3 Santa Maria

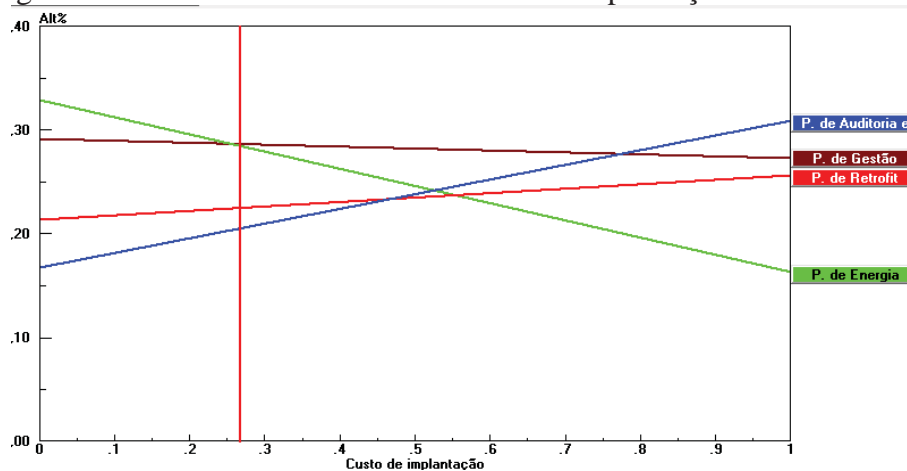
Santa Maria foi, dentre os municípios em estudo, aquele em que se observou maior instabilidade na variação das opiniões e importâncias atribuídas aos critérios. Além disso, também foi o município cujo resultado indicou a preferência por práticas que não foram as preferíveis em Passo Fundo e Porto Alegre, destacando então o Programa de Energia Alternativa e o Programa de Gestão.

A avaliação dos decisores, de acordo com as pontuações atribuídas aos critérios, apontou estas duas práticas como as que devem ser escolhidas para melhorar a eficiência energética do sistema de iluminação pública da cidade, apesar de seu nível de complexidade. Esse resultado possivelmente ocorreu em função de que, em Santa Maria, após a exclusão dos julgamentos inconsistentes, ficou-se apenas com julgamentos de professores, sendo estes participantes de um grupo de pesquisa em iluminação que envolve o uso de sistemas inteligentes e energias alternativas.

Com o aumento da importância do critério de Custo de Implantação, destaca-se mais o Programa de Auditoria e Elaboração de Guia, que, como já discutido anteriormente, tem mesmo uma característica de demandar menor quantidade de recursos financeiros. Mas em segunda opção ainda figuraria o Programa de Gestão, conforme Figura 55.

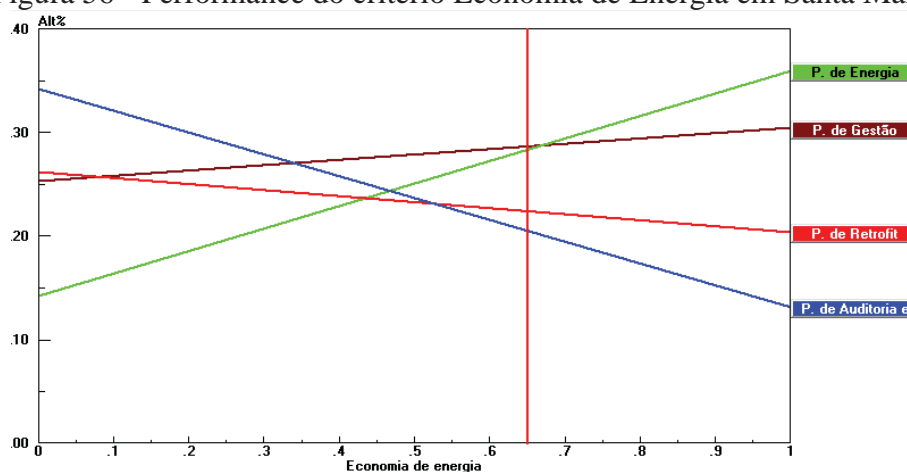
Com variação da importância da Economia de Energia, o resultado se mantém o mesmo, com as duas práticas escolhidas sendo ainda as preferíveis, inclusive com maior porcentagem em comparação às demais, como observado na Figura 56.

Figura 55 - Performance do critério Custo de Implantação em Santa Maria



Fonte: Elaborado pela autora.

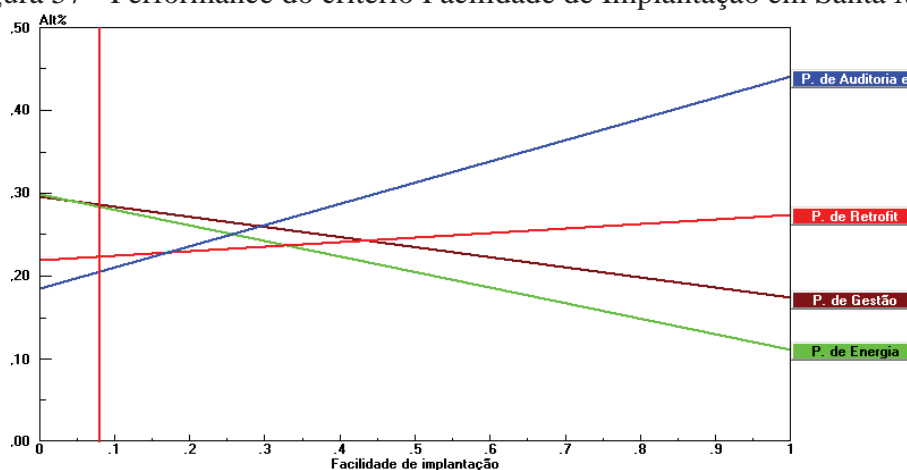
Figura 56 - Performance do critério Economia de Energia em Santa Maria



Fonte: Elaborado pela autora.

E por fim, o critério Facilidade de Implantação, apresentado na Figura 57. Ele possui o menor peso de importância relativa, mas ainda assim apontou as mesmas práticas que os demais critérios como as preferíveis para o município. Porém, considerando que estas práticas de destacam em termos de dificuldade de implantação, principalmente por demandarem diversos recursos (não apenas financeiros, mas também humanos e temporais), observa-se que, se a Facilidade de Implantação fosse o critério mais importante na análise para os decisores, teríamos o Programa de Auditoria e Elaboração de Guia assumindo a preferência neste município.

Figura 57 - Performance do critério Facilidade de Implantação em Santa Maria



Fonte: Elaborado pela autora.

4.5 Melhores práticas escolhidas

Tendo os resultados da análise multicritério para escolha da melhor prática (ou grupo de práticas aplicadas em conjunto), apresenta-se o resultado final por município, discutindo-se as necessidades observadas no diagnóstico do setor de iluminação pública e as vantagens a serem obtidas com a possível implantação das práticas.

É importante destacar que todas as práticas sugeridas, independente do município, seriam mais eficientes se apoiadas por um Plano Diretor de Iluminação Pública, ou mesmo um Plano de Gestão do setor. Conforme diagnóstico qualitativo realizado, apenas Porto Alegre já possui o seu Plano Diretor, e isso é muito importante pois a existência de legislação que regule as ações do setor serve como um incentivador de seu sucesso.

4.5.1 Passo Fundo: Programa de *Retrofit*

O resultado final obtido para o município de Passo Fundo indica a sugestão de implantação do Programa de *Retrofit* como prática que colaboraria para a gestão sustentável do setor.

Esta prática contribuiria muito para a situação atual observada na cidade, principalmente no que diz respeito ao atendimento de iluminação pública para a totalidade de residências, ao aumento do percentual de lâmpadas LED utilizadas e à melhoria dos resultados obtidos para os indicadores qualitativos no município. Os indicadores de consumo médio e custo médio por ponto de luz, além do número de pontos de iluminação *per capita* não apresentaram resultados preocupantes para este município, mas o *retrofit* também tem alto potencial de melhorar este desempenho.

Considerando que Passo Fundo já vem realizando algumas mudanças em seu sistema de iluminação pública, o Programa de *Retrofit* viria a apresentar ainda mais vantagens, incluindo maior planejamento e segurança na execução das mudanças. Além disso, com base nos estudos de caso realizados acerca desta prática, verifica-se a necessidade de buscar apoios financeiros para sua implementação, mas os resultados positivos são praticamente garantidos, seja em termos de consumo de energia ou em economia financeira a médio ou longo prazos.

Passo Fundo poderia utilizar a metodologia de contrato de fornecimento e instalação, como feito pela cidade de Los Angeles no seu estudo de caso apresentado, que necessitou de uma fonte de financiamento para implantação da prática. Outra alternativa é a metodologia de concessão de longo prazo, por meio da qual a cidade não precisaria depender de um

financiamento, mas realizaria o pagamento do *retrofit* com as poupanças financeiras da energia economizada, o que é extremamente positivo caso Passo Fundo demonstre interesse na implantação sem ter recursos financeiros para arcar com o custo inicial. Um exemplo de empresa que poderia assumir esta concessão é a Siemens, que apoia medidas de eficiência energética sem limitar o valor de investimento inicial, proporcionando a flexibilidade de receber o seu pagamento por meio das economias obtidas, o que significa que a prática implementada será paga por si mesma (SIEMENS, 2012).

A utilização da calculadora de economia de energia da ferramenta TRACE, que permite a simulação de mudanças no sistema de iluminação pública, foi realizada com base em três cenários, apresentados na Tabela 14. O Cenário 1 foi preparado mantendo-se o percentual de lâmpadas de vapor metálico, mas aumentando-se a quantidade de lâmpadas LED de 2,4% para 10%, com conseqüente redução da quantidade de lâmpadas de vapor de sódio. Da mesma forma, o segundo cenário sugerido aumenta ainda mais a quantidade de lâmpadas de LED, considerando uma substituição maior de lâmpadas de vapor de sódio. E o terceiro cenário incrementa de forma mais audaciosa o percentual de LED, passando a representar 30% do total, substituindo todas as lâmpadas de vapor metálico e mais uma fração das lâmpadas de vapor de sódio.

Tabela 14 - Simulação de cenários de economia de energia com o Programa de *Retrofit* em Passo Fundo

Lâmpada utilizada	Situação atual (%)	Cenário 1 (%)	Cenário 2 (%)	Cenário 3 (%)
LED	2,4	10,0	20,0	30,0
Vapor de Sódio	96,6	89,0	78,0	70,0
Vapor Metálico	1,0	1,0	1,0	0,0
Economia de energia (GWh/ano)		1	2	3
Economia financeira (R\$/ano)		274.701,00	712.100,00	1.025.432,00

Fonte: Elaborado pela autora.

Esta simulação permite observar que, mantendo constantes as potências das lâmpadas atualmente utilizadas, quanto maior o percentual de lâmpadas LED inserido no *retrofit* do sistema, maior é a contribuição para a economia de energia em GWh por ano e conseqüentemente maior economia financeira é obtida, o que poderia auxiliar no pagamento de um eventual financiamento a ser realizado, mesmo que cada cenário seja utilizado como meta de substituição em diferentes horizontes.

Estes resultados corroboram o enquadramento feito para esta prática, citando os aspectos político, de financiamento e tecnológico/ambiental para o *Retrofit*, visto que o uso da

tecnologia, apesar de uma possível necessidade de investimento, tende a ser revertido em vantagens ambientais e cada vez mais deve-se verificar o auxílio da legislação como um incentivador de sua implementação.

4.5.2 Porto Alegre: Programa de Auditoria e Elaboração de Guia e Programa de *Retrofit*

O resultado obtido para a capital do Estado aponta para a sugestão de duas práticas em conjunto: o Programa de Auditoria e Elaboração de Guia e o Programa de *Retrofit*. Esta conclusão vai ao encontro do diagnóstico realizado sobre a situação do setor de iluminação pública da cidade, visto que, em questões quantitativas, Porto Alegre teve os piores resultados em comparação às demais cidades, com menor porcentagem de domicílios atendidos por iluminação pública, elevado consumo de energia e custo médio por ponto de luz, além do menor percentual de lâmpadas LED utilizadas no seu sistema.

Por outro lado, Porto Alegre foi o município com melhor resultado na avaliação dos resultados qualitativos, mas ainda assim as práticas sugeridas podem contribuir, especialmente no que se refere à uma melhor padronização do Plano Diretor de Iluminação Pública, que pode funcionar como o Guia da prática, mas com maiores discussões sobre eficiência no consumo de energia.

Conforme analisado por meio dos estudos de caso, o Programa de Auditoria e Elaboração de Guia poderá contribuir para o entendimento de por que motivo os indicadores quantitativos do município estão apresentando tais resultados, enquanto que o *Retrofit* atuará no sentido de solucionar eventuais falhas e melhorar o desempenho do setor.

De acordo com o apresentado anteriormente na descrição de cada melhor prática, a auditoria deve iniciar com definição do líder da equipe, definição de informações sobre o sistema a serem avaliadas, coleta de dados e elaboração do Guia. Para Porto Alegre, pode-se sugerir a utilização da própria equipe do setor de iluminação pública, que faz parte da Secretaria Municipal de Obras e Viação, como grupo responsável pela auditoria, mas também há a possibilidade de se contratar um grupo de auditores externos, devendo-se considerar este custo a mais no caso de escolha.

Dentre as opções de elaboração de Guia apresentadas na descrição da prática, as melhores incluem a elaboração de manual para melhoria do *design* do sistema (atuando apenas como melhoria do Plano Diretor já existente) e a elaboração de contratos de serviço para planejamento e instalação de tecnologias mais eficientes, como o uso de licitações.

Ainda, para a implantação do Programa de *Retrofit*, Porto Alegre poderia também utilizar da ferramenta de concessão de longo prazo, que não sugere a necessidade de financiamento, ou também, por ser uma cidade com porte maior, buscar a contratação de uma companhia de energia que assumisse o projeto e com quem os investimentos e economia de energia fossem partilhados, como feito pela cidade de Akola, na Índia, conforme apresentado em seu estudo de caso.

Estas opções de procedimentos a serem realizados para implantação das práticas são muito semelhantes aos feitos na cidade de Gaia, em Portugal, também conforme seu estudo de caso, que apresentou uma etapa inicial formada pela avaliação do sistema, seguida pelo projeto e modelo financeiro e de fato a sua implementação, que apesar de algumas variações na abordagem geral, levou aproximadamente 3 anos para ser completamente realizado.

A Tabela 15 apresenta as simulações feitas para Porto Alegre, por meio da calculadora de economia de energia. Apesar de o conjunto de práticas de Porto Alegre incluir o Programa de Auditoria e Guia, que seria a melhor forma de se obter os melhores cenários a serem analisados, já são estudadas três opções de *retrofit*. O Cenário 1, em relação à situação atual observada na cidade, mantém o percentual de lâmpadas de vapor metálico mas propõe a substituição de 5% das lâmpadas de vapor de sódio por LED. No segundo cenário, observa-se manutenção das lâmpadas de vapor de sódio e substituição de parte de vapor metálico por LED. E, por fim, o Cenário 3 indica a substituição de parte das lâmpadas de vapor de sódio e metálico por LED, aumentando ainda mais o percentual destas.

Tabela 15 - Simulação de cenários de economia de energia com o Programa de *Retrofit* em Porto Alegre

Lâmpada utilizada	Situação atual (%)	Cenário 1 (%)	Cenário 2 (%)	Cenário 3 (%)
LED	0,3	5,0	5,0	10,0
Vapor de Sódio	85,0	80,0	85,0	80,0
Vapor Metálico	14,7	14,7	10,0	10,0
Economia de energia (GWh/ano)		2	4	6
Economia financeira (R\$/ano)		899.056,00	1.606.056,00	2.393.216,00

Fonte: Elaborado pela autora.

Como era de se esperar, todos os cenários se mostram muito satisfatórios, principalmente em função do aumento do percentual de LED e sua contribuição direta para a maior economia de energia e financeira. Apesar do alto investimento que uma substituição de lâmpadas deste porte iria demandar, os resultados sugerem viabilidade econômica de implantação.

Da mesma forma que para Passo Fundo, os resultados estão de acordo com o enquadramento das práticas por aspectos, sendo também o financiamento uma alternativa a ser buscada, o aspecto político um incentivador do sucesso de sua implantação, e, com isso, a garantia das vantagens ambientais.

4.5.3 Santa Maria: Programa de Energia Alternativa e Programa de Gestão

Em Santa Maria o resultado obtido também sugere duas práticas em conjunto: o Programa de Energia Alternativa e o Programa de Gestão. As vantagens da implantação destas práticas incluem economia financeira, segurança energética e o maior controle sobre a situação do sistema, com a gestão à distância.

Assim como as demais cidades, o diagnóstico dos indicadores qualitativos de Santa Maria apontou que não são usadas fontes alternativas de energia no sistema de iluminação pública, então a prática sugerida tende a contribuir neste sentido. Além disso, esta cidade ainda utiliza lâmpadas muito ineficientes no seu sistema de iluminação, e o Programa de Energia Alternativa tende a favorecer o uso de luminárias LED, o que também contribuirá para o melhor resultado deste indicador, maior qualidade da iluminação e menores consumos de energia.

O Programa de Gestão visa principalmente melhorar o controle do sistema, favorecer o gerenciamento da iluminação e sua manutenção, podendo também ser aplicado a fim de reduzir a intensidade luminosa durante certas horas da noite, o que tende a contribuir para menor consumo e menor emissão de dióxido de carbono. Porém, deve-se destacar que Santa Maria apresentou o pior resultado no indicador de número de pontos de iluminação por quilômetro de via, muito abaixo de outros valores observados. Então, é importante considerar que antes de uma possível implementação do Programa de Gestão atuando como controlador da luminosidade de cada poste, deve-se investir na etapa de estudo detalhado para escolha das ruas e luminárias que tem potencial de utilização deste sistema.

Para o uso do Programa de Energia Alternativa, Santa Maria poderia seguir os moldes do projeto realizado na cidade de Canoas, também no Rio Grande do Sul, que sugere o uso de postes híbridos (com placa solar e aerogerador), ou também o exemplo da cidade paulista de Rio Claro, que focou suas ações na instalação de placas solares em 45 postes. Ambos os projetos apontam resultados positivos, podendo ser replicados com estudo prévio acerca da sua viabilidade.

Quanto ao uso do Programa de Gestão, um bom exemplo metodológico é o realizado em Kirkless, no Reino Unido. Para que não se use o sistema de liga e desliga de todo ou partes

do sistema de iluminação (o que poderia gerar insegurança na cidade), pode-se trabalhar apenas com a redução de luminosidade das lâmpadas em horários específicos, conforme detalhado na Figura 40 no estudo de caso desta cidade.

A Tabela 16 apresenta as simulações feitas para Santa Maria, utilizando-se a calculadora de economia de energia. A prática de *retrofit* possui diversas opções a serem simuladas, com variação do percentual de LED utilizado, por exemplo, mas as práticas de Santa Maria possuem ainda maior variedade de possibilidades a serem sugeridas. Para não tornar esta simulação muito extensa e complexa, optou-se por considerar, em todos os cenários, que o uso do Programa de Energia Alternativa faz com que o percentual de lâmpadas LED passe de 2% para 5%, havendo então substituição de lâmpadas de vapor de mercúrio, cujo percentual baixa de 28% para 25%. Essa substituição foi considerada visto que lâmpadas de vapor de mercúrio são consideradas menos eficientes e também mais ambientalmente impactantes, além do fato de que em todos os estudos de caso analisados, com implantação de energia alternativa, sempre são utilizadas lâmpadas de LED. Portanto, a mudança dos cenários limitou-se a variar questões referentes ao Programa de Gestão, incluindo número de horas de acionamento das lâmpadas e nível de luminosidade destas.

Tabela 16 - Simulação de cenários de economia de energia com os Programas de Energia Alternativa e Gestão em Santa Maria

Lâmpadas ligadas	Situação atual	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3*
Duração por dia	11h 52min	10h 52min	9h 52min	11h 52min
Média de horas por ano	4330h	3970h	3600h	1825 h (100%) + 680 h (75%) + 1825 h (50%)
Economia de energia (GWh/ano)		2	3	5
Economia financeira (R\$/ano)		629.021,00	1.176.976,00	1.853.819,00

*A média de horas por ano neste cenário foi considerada como sendo duas partes iguais divididas entre luminosidade total do sistema (100%) e luminosidade parcial (50%) e uma pequena parte também com luminosidade parcial (75%).

Fonte: Elaborado pela autora.

Ao analisar o primeiro e segundo cenários, verifica-se que ambos sugerem menor quantidade de horas por dia com as lâmpadas acionadas, ou seja, no Cenário 1 considera-se que por uma hora durante a noite/madrugada/manhã as lâmpadas sejam desativadas, podendo-se optar por desativar diferentes postes em diferentes horários. O Cenário 2 tem o mesmo objetivo, mas sugere o tempo total de duas horas de desativação das lâmpadas. Já o Cenário 3 é o mais complexo, mas provavelmente o mais preferível também. Optou-se por manter as lâmpadas acesas na mesma duração que se observa na situação atual (11h52min), com a diferença de que,

assim como apresentado no estudo de caso de Kirkless, varie-se o nível de luminosidade das lâmpadas conforme as horas da noite. Nas primeiras quatro e últimas duas horas do intervalo comum de acionamento das lâmpadas (normalmente entre 19h e 7h da manhã), considerou-se potência máxima das lâmpadas (100%), que brilhariam com luminosidade normal. Durante aproximadamente duas horas (possivelmente entre 22h e 23h52min), considerou-se 75% do total da potência das lâmpadas; e durante as próximas cinco horas considerou-se que as lâmpadas funcionariam com metade de seu potencial (50%).

O terceiro cenário se mostra o mais vantajoso por diversas razões, incluindo a maior economia de energia e maior economia financeira. Porém, o seu principal destaque está no fato de que utiliza o mesmo período de iluminação que a situação atual da cidade, sem propor que as lâmpadas fiquem desligadas por determinado número de horas, mas garantindo maior eficiência ao se controlar o nível de luminosidade. No estudo de caso de Kirkless, esta opção rendeu cerca de 30% de economia de energia por ano, que é o mesmo percentual encontrado para a simulação deste cenário.

Vale destacar que os valores de economia de energia e financeira para os cenários foram calculados com base em uma pequena variação na quantidade de lâmpadas LED no município, sendo que o resultado poderia ser ainda melhor ao se considerar maior percentual para este tipo de iluminação.

Em Santa Maria, todos os aspectos de enquadramento das práticas são observados. A questão política novamente como incentivadora, principalmente pelo fato de que o município ainda não possui um Plano Diretor ou de Gestão para a Iluminação Pública; a questão ambiental e tecnológica pelo uso de um sistema inovador com resultados ambientalmente positivos; e o aspecto de financiamento para ser possível implementar as práticas. Além desses, há o aspecto fiscal, que é importante por representar a possibilidade de o município receber bonificações por estar aplicado ações de eficiência; e o aspecto legal, que regula fortemente o sucesso da prática de Gestão. Isso porque atualmente, de acordo com a Resolução Normativa nº 414, da ANEEL, há a fixação de faturamento da energia para 11 horas e 52 minutos de consumo diário, mesmo que eventualmente as lâmpadas fiquem acesas por período de tempo menor, o que não incentiva o poder público local a investir na prática de controle da iluminação (já que não teria retorno financeiro de economia de energia). Havendo alguma alteração nesse limite imposto pela legislação, a implementação da prática seria feita com muito mais sucesso.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo geral deste trabalho foi alcançado à medida que se investigaram propostas para melhorar a eficiência energética em iluminação pública nos municípios polo do Rio Grande do Sul visando uma gestão sustentável, sendo eles Santa Maria, Passo Fundo e Porto Alegre. A escolha do setor de iluminação pública se deu em função da sua importância para as cidades, além da justificativa de contribuir para a lacuna de trabalhos com este enfoque na literatura.

O primeiro objetivo específico era diagnosticar a eficiência energética dos municípios em estudo. Após definição de indicadores e coleta de dados, identificou-se que em todas as cidades o consumo de energia elétrica vem aumentando nos últimos anos, mas com ponto positivo de estar aumentando à menores taxas. Além disso, o diagnóstico se mostrou importante por apontar setores com consumo mais expressivo em cada cidade, o que pode indicar prioridades na definição dos setores que devem receber medidas de eficiência. A exemplo de Santa Maria, o grande destaque em termos de consumo de energia elétrica é o setor residencial, enquanto que em Porto Alegre este destaque é para o setor comercial e em Passo Fundo para o setor industrial. Ainda, este diagnóstico apontou resultados favoráveis em termos de eficiência energética no que diz respeito ao percentual da oferta interna de energia elétrica produzida por fontes renováveis. Um estudo mais aprofundado mostrou que isso se deve ao grande potencial hídrico do Brasil, já que na verdade ainda é baixo o percentual de uso de energias alternativas como a eólica e a solar.

Quanto ao objetivo de diagnosticar a iluminação pública dos municípios, este foi realizado utilizando indicadores quantitativos e qualitativos. Os dados foram coletados junto à Prefeitura de cada cidade, e apontaram situações específicas para cada uma. Neste objetivo, observou-se certa dificuldade para se buscar dados de *benchmark* para avaliar e comparar os resultados obtidos, portanto a análise limitou-se essencialmente ao diagnóstico de cada cidade, em termos de possível monitoramento dos dados com o passar dos anos. De modo geral, verificou-se que Porto Alegre apresenta os resultados mais críticos em termos de indicadores quantitativos, especialmente no consumo médio de energia e custo médio por ponto de luz, mas se destaca nos resultados qualitativos. Por outro lado, Passo Fundo se destaca nos indicadores qualitativos, assim como Santa Maria, principalmente pelo maior percentual de lâmpadas de LED utilizadas na iluminação pública em relação à capital do Estado.

O objetivo de identificar melhores práticas nacionais e internacionais de gestão sustentável em iluminação pública resultou na seleção de quatro melhores práticas: Programa

de Auditoria e Elaboração de Guia, Programa de *Retrofit*, Programa de Energia Alternativa e Programa de Gestão. A organização da pesquisa bibliográfica nestas quatro práticas se deu pela similaridade das características de cada uma, e os estudos de caso foram importantes para o melhor entendimento e descrição.

Quanto à avaliação da aplicabilidade das práticas, o uso do método AHP da análise multicritério se mostrou favorável. Foram utilizados 17 decisores ao todo, mas excluindo os julgamentos daqueles com resultados inconsistentes, ficou-se com 12 decisores participantes da análise final. Os resultados demonstraram que em Passo Fundo a prática sugerida é o Programa de *Retrofit*, enquanto que em Porto Alegre e Santa Maria há a combinação de duas práticas, em função da proximidade das pontuações obtidas: para a primeira cidade sugere-se o uso do Programa de *Retrofit* e do Programa de Auditoria e Elaboração de Guia, e para a segunda, o Programa de Gestão e o Programa de Energia Alternativa.

As melhores práticas em iluminação pública para os municípios foram apresentadas relacionando-se os resultados do diagnóstico do setor, as vantagens observadas nos estudos de caso e as sugestões de implementação nos municípios, além do uso da calculadora de economia de energia da ferramenta TRACE. Esta etapa foi cumprida ao se discutir a relação entre todas as etapas realizadas neste trabalho, verificando-se que, para cada município, as práticas sugeridas tendem a contribuir para melhoria dos pontos negativos do diagnóstico e que propostas metodológicas de implantação podem ser obtidas dos próprios estudos de caso realizados. O uso da calculadora também permitiu a confirmação do potencial de os municípios obterem resultados positivos com a possível implantação das práticas, seja em termos de economia energética ou financeira.

O problema desta pesquisa abordava justamente o fato de que a gestão da infraestrutura dos serviços de iluminação pública é de responsabilidade do poder público municipal, o que prejudica a implantação de projetos e sua análise, por questões de recursos técnicos e financeiros. Neste sentido, deve-se ressaltar que este trabalho limita-se a proporcionar o diagnóstico do setor e propor práticas, mas continua vinculado à necessidade de maiores incentivos do poder público para que tais práticas possam ser implementadas e os resultados venham a contribuir para uma gestão de fato mais sustentável.

Para trabalhos futuros, sugere-se o acompanhamento de uma possível implementação das práticas, além do monitoramento dos indicadores já apresentados. Além disso, também se indica a pesquisa por *benchmarks* para os indicadores propostos, já que, talvez com o aumento das pesquisas nesta área, passa-se a ter dados disponíveis para comparação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALA, L. N. Como as cidades inteligentes contribuem para o desenvolvimento de cidades sustentáveis? Uma revisão sistemática de literatura. **Internacional Journal of Knowledge Engineering and Management**, Florianópolis, v. 3, n.5, p. 98-120, jun. 2014.

ABDMOULEH, Z. et al. Review of policies encouraging renewable energy integration & best practices. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 45, p. 249-262, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 5101: Iluminação Pública - procedimento**. Rio de Janeiro, 2012.

AKKER, J. van den.; NHIEN, N. T. **Final Evaluation: Vietnam Energy Efficiency Public Lighting**. 2011. Disponível em: <http://www.undp.org/content/dam/vietnam/docs/Project%20Evaluations/31365_Vietnam_enener_efficiency_public_lighting.pdf>. Acesso em: 17 mai. 2016.

ALMEIDA, J. R. et al. Processo de coleta seletiva de resíduos sólidos: um estudo de caso de sustentabilidade na cidade de Santa Maria/RS. **Holos**. Natal, v. 3, p. 148-165, jun. 2015.

ALTOÉ, Pedro. **Novas tecnologias para eficiência energética em residências**. 2015. Projeto de Graduação – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

ÁLVAREZ, Pedro et al. Determination of the infrastructure needs for municipalities using an objective method. **Computers & Industrial Engineering**, v. 52, n. 3, p. 344-354, 2007.

AMBIENTE ENERGIA. **Iluminação pública com energia solar e eólica**. 2013. Disponível em: <<http://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2013/03/iluminacao-publica-com-energia-solar-e-eolica/22222>>. Acesso em: 20 abr. 2016.

AMPLA. **Cidade Inteligente: Búzios**. 2011. Disponível em: <<https://www.ampla.com/media/143621/cidade%20inteligente%20jul2011.pdf>>. Acesso em: 11 mai. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. ANEEL. **Novo balanço da transferência de ativos de iluminação pública**. 2015. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=8520&id_area=>>. Acesso em 21 out. 2015.

_____. Resolução N° 414/2010. Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada. Brasília, 2010, 195p. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2015.

_____. Resolução N° 479/2012. Altera a Resolução Normativa n° 414, de 9 de setembro de 2010, que estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada. Brasília, 2012. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012479.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2015.

_____. Resolução Nº 587/2013. Altera o art. 218 da Resolução Normativa ANEEL nº 414, de 9 de setembro de 2010. Brasília, 2013. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2013587.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2015.

ANGELIDOU, M. Smart cities: A conjuncture of four forces. **Cities**, v. 47, p. 95-106, 2015.

ARAGÓN, C. S. et al. Identificação de investimentos em eficiência energética e sua avaliação de risco. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 20, n. 3, p. 525-536, 2013.

ARAGONÉS-BELTRÁN, Pablo et al. An AHP (Analytic Hierarchy Process)/ANP (Analytic Network Process)-based multi-criteria decision approach for the selection of solar-thermal power plant investment projects. **Energy**, v. 66, p. 222-238, 2014.

ASCURRA, R. E. **Eficiência elétrica em iluminação pública utilizando tecnologia LED: um estudo de caso**. 2013. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2013.

AYRE, James. First Autonomous Public Lighting System That Runs On Solar + Wind Energy Developed. **Clean Technica**, 2015. Disponível em: <<http://cleantechnica.com/2015/01/25/first-autonomous-public-lighting-system-runs-solar-wind-energy-developed/>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

BARBACENA. Decreto Municipal nº 7.832 de 5 de agosto de 2015. Estabelece critérios para normatização do Plano Diretor de Iluminação Pública, e dá outras providências. **Diário Oficial Eletrônico de Barbacena**, 11 de agosto de 2015.

BECALLI, M. et al. Improvement of energy efficiency and quality of street lighting in South Italy as an action of Sustainable Energy Action Plans. The case study of Comiso (RG). **Energy**, 2015.

BELANCHE, D. et al. City attachment and use of urban services: Benefits for smart cities. **Cities**. v. 50, p. 75-81, 2016.

BELTON, V.; STEWART, T.J. **Multiple Criteria Decision Analysis: An integrated approach**. Springer Science & Business Media, 2002.

BOSE, Ranjan K. **Energy Efficient Cities: Assessment Tools and Benchmarking Practices**. World Bank, 2010. Disponível em: <<https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/2449>>. Acesso em: 11 nov. 2015.

BRAGATTO, Marcos. **Painel Setorial de Iluminação Pública**. Inmetro. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/painelsetorial/pdf/Iluminacao_e_Tecnologias/Iluminacao_e_a_Resolucao414-2010.pdf>. Acesso em: 21 out. 2015.

BRASIL. **Constituição**. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.

_____. Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, p. 1. 11 jul. 2001a.

_____. Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, n. 200, p. 1. 18 out. 2001b.

_____. Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004. Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, altera as Leis nºs 5.655, de 20 de maio de 1971, 8.631, de 4 de março de 1993, 9.074, de 7 de julho de 1995, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.648, de 27 de maio de 1998, 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.438, de 26 de abril de 2002, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, v. 141, n. 51, p. 2. 16 mar. 2004.

_____. Emenda Constitucional nº 39, de 19 de dezembro de 2002. Acrescenta o art. 149-A à Constituição Federal (Instituindo contribuição para custeio do serviço de iluminação pública nos Municípios e no Distrito Federal). **Diário Oficial da União**, 20 dez. 2002.

BRUNDTLAND REPORT. Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. **United Nations**, US, 1987. Disponível em: <<http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>>. Acesso em: 29 ago. 2015.

BUCCIARI, G. P. **Modelagem para identificação de indicadores de Eficiência Energética para edificações e plantas industriais**. 2014. 99f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica - Transmissão e Conversão de Energia) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2014.

CAMBRAIA, Mario Sergio. Proposta de gestão da iluminação pública para municípios de pequeno a médio porte. **Sinergia**, São Paulo, v. 4, n. 2, p. 126-139, 2003.

CAMPOS, V.R. Modelo de apoio à decisão multicritério para priorização de projetos em saneamento. 2011. (Tese de doutorado). Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

CAMPOS, S. J. F. de. **Iluminação urbana: um estudo da eficiência energética de luminárias LED controladas por sistema de telegestão**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)- Universidade Metodista de Piracicaba, 2014.

CAMPOS, S. J. F.; COUTINHO, A. Application of LED luminaires in combination with telemanagement control for urban lighting efficiency. In: 22ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRODUCTION RESEARCH, 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** Brasil, 2013.

CANADIAN URBAN INSTITUTE. Municipal Policy Options Guide for Advanced Outdoor Lighting. 2011. Disponível em: <<http://static1.squarespace.com/static/546bbd2ae4b077803c592197/t/54b3ffa8e4b0fc4c2295079e/1421082536074/CUIPublication.MunicipalLightingGuide.pdf>>. Acesso em: 15 mai. 2016

CANOAS. Prefeitura Municipal. **Canoas lança edital para soluções em energia limpa**. 2015. Disponível em: <<http://canoas.rs.gov.br/site/noticia/visualizar/id/121377>>. Acesso em: 20 abr. 2016.

CAPELETTO, G.J.; MOURA, G.H.Z. **Balço Energético do Rio Grande do Sul 2013**: ano base 2012. Porto Alegre: Grupo CEEE / Secretaria de Infra-Estrutura e Logística do Rio Grande do Sul, 2014.

CARAGLIU, A. et al. Smart Cities in Europe. **Journal of Urban Technology**, v. 18, p. 65-82, 2011. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/10630732.2011.601117>>. Acesso em: 1 out. 2015.

CENTRE OF REGIONAL SCIENCE. **Smart cities**: Ranking of European medium-sized cities. Vienna UT, 2007. Disponível em: <http://www.smart-cities.eu/download/smart_cities_final_report.pdf>. Acesso em: 10 set. 2015.

CHARLIER, Dorothée. Energy efficiency investments in the context of split incentives among French households. **Energy Policy**, v. 87, p. 465–479, 2015.

CICLOVIVO. **Rio Claro (SP) recebe iluminação pública movida a energia solar**. 2014. Disponível em: <<http://ciclovivo.com.br/noticia/rio-claro-sp-recebe-iluminacao-publica-movida-a-energia-solar/>>. Acesso em 3 abr. 2016.

CIDAD, N. C; MANZANI, P. S. **Metodologia multicritério para a análise de riscos em projetos de P&D: um estudo de caso na Light**. Projeto de Graduação (Curso de Engenharia de Produção)- Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Rio de Janeiro, 2015.

CIDADE INTELIGENTE BÚZIOS. **Iluminação pública inteligente**. Disponível em: <<http://www.cidadeinteligentebuzios.com.br/smart-grid/iluminacao-publica-inteligente/>>. Acesso em: 11 mai. 2016.

CITY OF CASEY. **Lighting the Way**. 2016. Disponível em: <<http://www.casey.vic.gov.au/environment-waste/lighting-project/lighting-faq>>. Acesso em 10 mai. 2016.

CITY OF MOONEE VALLEY. **Sustainable Public Lighting Guidelines**. 2010. Disponível em: <http://www.mvcc.vic.gov.au/~media/Files/Environment/EW_SustainablePublicLightingGuidelines2010.pdf>. Acesso em: 16 set. 2015.

COLLAÇO, Flavia Mendes de Almeida. **Planejamento e Políticas Públicas: uma análise sobre a Gestão Energética Descentralizada em âmbito municipal no Brasil**. 2015. Tese de Doutorado (Programa de Pós-graduação em Energia)-Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

CONSTANTINO, Pedro F. D. **Avaliação da eficiência energética de uma residência unifamiliar em diferentes zonas climáticas de Portugal pelo RCCTE**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Departamento de Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

CORTELETTI, Daniel. **Ferramenta de autoavaliação do potencial de eficiência energética aplicada às indústrias do setor metalmeccânico**. 2015. Dissertação (Mestrado Profissional em Produção)-Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2015.

CURITIBA. Prefeitura Municipal. **Plano Diretor de Iluminação Pública de Curitiba**. Disponível em: <http://www.ippuc.org.br/visualizar.php?doc=http://admite.ippuc.org.br/arquivos/documentos/D35/D35_059_BR.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2015.

DAI, Ying; GAO, H. Oliver. Energy consumption in China's logistics industry: A decomposition analysis using the LMDI approach. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 46, p. 69-80, 2016.

DAMBISKI, L. P. **Aplicação do Programa nacional de iluminação pública eficiente (Procel-Reluz)**. 2007. Trabalho de conclusão de curso - Curso de Engenharia Elétrica, Setor de Tecnologia, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, 2007.

DEPARTMENT OF PUBLIC WORKS. **City of Minneapolis: Minneapolis Park & Recreation Board Street Lighting Policy**. 2004. Disponível em: <http://www.minneapolismn.gov/www/groups/public/@council/documents/webcontent/convert_276849.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2015.

DIXON, T. et al. **Urban Retrofitting for Sustainability: Mapping the Transition to 2050**. Routledge, 2014.

DOUMPOS, Michael; GRIGOROUDIS, Evangelos. **Multicriteria decision aid and artificial intelligence: links, theory and applications**. John Wiley & Sons, 2013.

EKEL, P. et al. Fuzzy set based models and methods of multicriteria group decision making. **Nonlinear Analysis**, v. 71, p. 409-419, 2009.

ELETROBRÁS, IBAM. **Gestão Energética Municipal**. Rio de Janeiro: 2004. Disponível em: <<http://pga.pgr.mpf.mp.br/documentos/guia-tecnico-gem>>. Acesso em: 15 nov. 2015.

ELETROBRAS PROCEL. **Iluminação Eficiente: Iniciativas da Eletrobras Procel e Parceiros/Organizadores: Luiz Eduardo Menandro de Vasconcellos e Marcos Alexandre Couto Limberger**. Rio de Janeiro: Eletrobras/ Procel, 2013.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Avaliação da Eficiência Energética para os próximos 10 anos (2012-2021)**. Série Estudos de Demanda, Rio de Janeiro: EPE, 2012. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20121221_1.pdf>. Acesso em: 1 out. 2015.

_____. **Eficiência Energética na indústria e nas residências no horizonte decenal (2010-2019)**. Série Estudos de Demanda, Rio de Janeiro: EPE, 2010. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20100809_4.pdf>. Acesso em: 9 set. 2015.

_____. **Plano Nacional de Energia 2030**. Rio de Janeiro: EPE, 2007. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/PNE/20080111_1.pdf>. Acesso em: 7 out. 2015.

_____. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2015: ano base 2014**. Ministério de Minas e Energia: 2015. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202015.xls>>. Acesso em: 2 set. 2015.

ENERGAIA. **Energy Efficient Public Lighting in Vila Nova de Gaia**. 2010. Disponível em: <<http://www.managenergy.net/download/nr20.pdf>>. Acesso em 16 mai. 2016.

EERE. **DOE Street Lighting Consortium Releases Results of Public Street and Area Lighting Inventory Survey**. 2014. Disponível em: <<http://energy.gov/eere/ssl/articles/doe-street-lighting-consortium-releases-results-public-street-and-area-lighting>>. Acesso em: 20 mai. 2016.

ESMAP. **Good practices in city energy efficiency: Akola Municipal Corporation, India - Performance Contracting for Street Lighting Energy Efficiency**. 2009. Disponível em: <http://www.esmap.org/sites/esmap.org/files/CS_India_SL_Akola_020910.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2016.

_____. **Good practices in city energy efficiency: Los Angeles, USA - Light Emitting Diode (LED) Street Lighting Retrofit**. 2011. Disponível em: <http://www.esmap.org/sites/esmap.org/files/LosAngeles_LED_final_edited_11-9-11.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2016.

_____. **TRACE: Tool for rapid Assessment of City Energy**. The World Bank Group, 2013. Disponível em: <http://www.esmap.org/sites/esmap.org/files/ESMAP_EECI_TRACE_Brochure_2013.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2016.

_____. **Tool for Rapid Assessment of City Energy (TRACE)**. 2016. Disponível em: <<http://esmap.org/TRACE>>. Acesso em: 30 mar. 2016.

EUROPEAN PPP EXPERTISE CENTRE - EPEC. **Energy Efficient Street Lighting**, 2013 Disponível em: <<http://www.eib.org/epec/ee/documents/factsheet-street-lighting.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2015.

EUROPEAN COMMISSION. **Europe 2020: A European strategy for smart, sustainable and inclusive growth**. Bruxelas, 2010.

_____. **The contribution of ICT to energy efficiency: local and regional initiatives**. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2011.

_____. **Best practice: a method for dissemination and implementation of project results**. 2005. Disponível em: <<http://ec.europa.eu/environment/life/publications/lifepublications/generalpublications/docudocum/bestpractice.pdf>>. Acesso em: 18 dez. 2015.

FERREIRA, P. **Uso de lâmpadas de LED na iluminação de BH pode gerar economia de até 60% de energia**. Estado de Minas. Disponível em: <http://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2015/09/11/interna_gerais,687219/uso-de-lampadas-de-led-na-iluminacao-de-bh-pode-gerar-economia-de-ate.shtml>. Acesso em: 3 abr. 2016.

FONSECA, Cleber Costa da. et al. Public street lighting remote operation and supervision system. **Computer Standards & Interfaces**, v. 38, p. 25-34, 2015.

FRANCO, J. C., SILVA, N. C. L. e. Utilização de Energia Solar na Iluminação Pública. IN: XVI ENCONTRO NACIONAL DOS GEÓGRAFOS, 2010. **Anais...** Porto Alegre, 2010.

FRANEK, J.; KRESTA, A.. Judgment scales and consistency measure in AHP. **Procedia Economics and Finance**, v. 12, p. 164-173, 2014.

FUTURE MELBOURNE COMMITTEE. **City of Melbourne Public Lighting Strategy 2013**. 2013. Disponível em: <https://www.melbourne.vic.gov.au/ForResidents/StreetCleaningandGraffiti/Documents/Public_Lighting_Strategy_2013.doc>. Acesso em 12 out. 2015.

GALGANO, Steve. et al. **Green Light Sustainable Street Lighting for NYC**. Department of Transportation, 2009. Disponível em: <<http://www.nyc.gov/html/dot/downloads/pdf/sustainablestreetlighting.pdf>>. Acesso em: 30 ago. 2015.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 175 p.

GOOGLE MY MAPS. **Google Maps**. Dados Cartográficos, 2016.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Iluminação Pública: Guia do Gestor**. São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://www.energia.sp.gov.br/a2sitebox/arquivos/documentos/519.pdf>>. Acesso em 29 set. 2015.

GRACIOSO, F., NAJJAR, E. R. **Siemens: Revisão da estratégia de gestão de pessoas**. Central de Cases ESPM, 2001. Disponível em: <<http://www.espm.br/Publicacoes/CentralDeCases/Documents/SIEMENS.pdf>>. Acesso em: 21 out. 2015.

GRANDES CONSTRUÇÕES. **São Luiz do Paraitinga ganha nova iluminação pública LED com telegestão em rádio frequência**. Sustentabilidade. Disponível em: <http://www.grandesconstrucoes.com.br/br/index.php?option=com_contenido&task=viewNotiCvi&id=21185>. Acesso em: 12 mai. 2016.

GREEN, Judith et al. Reduced street lighting at night and health: a rapid appraisal of public views in England and Wales. **Health & place**, v. 34, p. 171-180, 2015.

HAVAS, L. et al. Power to change: Analysis of household participation in a renewable energy and energy efficiency programme in Central Australia. **Energy Policy**, v. 87, p. 325–333, 2015.

HÖJER, Mattias; WANGEL, Josefin. Smart Sustainable Cities. **Springer International Publishing**, 2014. Disponível em: <https://www.kth.se/social/upload/53ff4266f27654379a3be2c0/2014_H%C3%B6jer_Wangel_Smart_Sustainable_Cities_AAM.pdf>. Acesso em: 2 set. 2015.

ICLEI-A/NZ. **Public Lighting Guidelines and Action Plans for Local Government: Ararat Rural City**, 2004. Disponível em: <http://www.ararat.vic.gov.au/library/document/1267614823_document_ararat_splap.doc>. Acesso em: 15 nov. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Cidades**. 2010. Disponível em <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>>. Acesso em 16 out. 2015.

_____. **Rio Grande do Sul – Passo Fundo**, 2010a. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=431410>>. Acesso em: 01 de out. 2015.

_____. **Rio Grande do Sul – Porto Alegre**, 2010b. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=431490>>. Acesso em: 01 de out. 2015.

_____. **Rio Grande do Sul – Santa Maria**, 2010c. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?codmun=431690>>. Acesso em: 01 de out. 2015.

_____. **Censo Demográfico 2010: Características urbanísticas do entorno dos domicílios**. 2010d. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/96/cd_2010_entorno_domicilios.pdf>. Acesso em: 02 de out. 2015.

INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE CURITIBA – IPPUC. **Plano Diretor de Iluminação**. Curitiba, 2012. Disponível em: <http://www.ippuc.org.br/visualizar.php?doc=http://admsite.ippuc.org.br/arquivos/documentos/D35/D35_057_BR.pdf>. Acesso em: 20 out. 2015.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **Orchestrating infrastructure for sustainable Smart Cities**. Switzerland, 2014. Disponível em: <<http://www.iec.ch/whitepaper/pdf/iecWP-smartcities-LR-en.pdf>>. Acesso em: 1 out. 2015.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **NBR 37120: Sustainable development of communities - Indicators for city services and quality of life**. Genebra, 2014.

JÄGERBRAND, Annika K. New Framework of Sustainable Indicators for Outdoor LED (Light Emitting Diodes) Lighting and SSL (Solid State Lighting). **Sustainability**, v. 7, n. 1, p. 1028-1063, 2015.

JESUS, Rodrigo P. G. de. **Plano Diretor de Iluminação Urbana**. 2010. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq118/arq118_03.asp>. Acesso em: 20 set. 2015.

JOLLANDS, Nigel; KENIHAN, Stephen; WESCOTT, Wayne. Promoting Energy Efficiency Best Practices in Cities. **International Energy Agency, Paris**, 2008.

JONG, M. et al. Sustainable–Smart–Resilient–Low Carbon–Eco–Knowledge Cities; Making sense of a multitude of concepts promoting sustainable urbanization. **Journal of Cleaner Production**, fev. 2015.

KAVOUSIAN, A. Ranking appliance energy efficiency in households: Utilizing smart meter data and energy efficiency frontiers to estimate and identify the determinants of appliance energy efficiency in residential buildings. **Energy and Buildings**, v. 99, p. 220–230, 2015.

KOSTIC, M., DJOKIC, L. Recommendations for energy efficient and visually acceptable street lighting. **Energy**, v. 34, p. 1565–1572, 2009.

KUNZLER et al. Sistema de iluminação pública baseado em LEDs e energia solar. In: 25ª JORNADA ACADÊMICA INTEGRADA, 2010, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2010.

LISBOA, Marcus Vinicius; WAISMAN, Jaime. Análise Multicritério Aplicada ao Estudo de Alternativas de Traçado de Rodovias: Uma Abordagem Sócio Ambiental. **Boletim Técnico da FATEC-SP-BT/22**, p. 28-33, 2007.

LOBÃO, J.A. Energy efficiency of lighting installations: Software application and experimental validation. **Energy Reports**, v. 1, p. 110–115, 2015.

LOPES, S. B. **Eficiências energéticas em sistemas de iluminação pública**. 2002. Dissertação (Mestrado)- Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, 2002.

LOPES, Leonardo Barbosa. **Uma Avaliação da tecnologia LED na Iluminação Pública**. 2014. Projeto de Graduação (Curso de Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

LYLE SUMEK ASSOCIATES. **City of Champaign Public Works Department Strategic Plan**. 2009. Disponível em: <<http://ci.champaign.il.us/cms/wp-content/uploads/2009/02/2009-pwd-strategic-plan1.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2015.

MANO, Fernanda Mendonça Junger. **Eficiência energética em shoppings centers: Uma aplicação do método AHP como suporte a seleção de um portfólio de projetos**. 2014. 58p. Dissertação (Mestrado em Administração)-Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2014.

MARCATO, Miracyr Assis. Iluminação pública no Brasil. **Engenharia**, p. 106-112, 2008. Disponível em: <http://www.brasilengenharia.com/portal/images/stories/revistas/edicao588/art_energia_1.pdf>. Acesso em: 14 set. 2015.

MASCARÓ, Lucia (Org.) **A iluminação do espaço urbano**. Masquatro Editora: Porto Alegre, 2006.

MAY, T. et al. **The SURF-Arup Framework for Urban Infrastructural Development**. 2010. Disponível em <http://www.salford.ac.uk/__data/assets/pdf_file/0008/319634/SURF_ARUP_Framework_Pamphlet_FINAL-0CT10.pdf>. Acesso em: 19 out. 2015.

MEIRA, A. G. de L. **Um estudo da aplicação da metodologia Phillips ROI voltada para avaliação de iniciativas de gestão do conhecimento nas organizações**. 2008. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Gestão do Conhecimento e da Tecnologia da Informação) - Universidade Católica de Brasília, 2008.

MENKES, Mônica. **Eficiência Energética, políticas públicas e sustentabilidade**. 2004. Tese de Doutorado (Doutorado em desenvolvimento sustentável)– Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

MICHAELOWA, A. et al. **Smart Street lighting Initiative**. Jakarta, 2013.

MIGUEL, Alejandro S. de. et al. Evolution of the energy consumed by street lighting in Spain estimated with DMSP-OLS data. **Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer**, v. 139, p. 109-117, 2014.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MEE. **Plano Nacional de Eficiência Energética**. 2011. Disponível em: <http://www.orcamento.federal.gov.br/projeto-esplanada-sustentavel/pasta-para-arquivar-dados-do-pes/Plano_Nacional_de_Eficiencia_Energetica.pdf>. Acesso em: 7 out. 2015.

MORAIS, T. **Breu e desperdício de luz em BH perto do fim**. Hoje em Dia. 2016. Disponível em: <<http://hojeemdia.com.br/horizontes/breu-e-desperd%C3%ADcio-de-luz-em-bh-perto-do-fim-1.358692>>. Acesso em: 10 mai. 2016.

MORETTO, C. F. O desenvolvimento sustentável na perspectiva local: a percepção do sentido da sustentabilidade pelos residentes do município de Passo Fundo. IN: I ENCONTRO LATINO AMERICANO DE UNIVERSIDADES SUSTENTÁVEIS, 2008. **Anais...** Passo Fundo, UPF, 2008.

NEIROTTI, P. et al. Current trends in Smart City initiatives: Some stylised facts. **Cities**, v. 38, p. 25-36, 2014.

NETHERLANDS ENTERPRISE AGENCY. **Criteria for the sustainable procurement of Public Lighting**, 2011. Disponível em: <<http://english.rvo.nl/sites/default/files/2013/12/Criteriadocument%20Public%20Lighting.pdf>>. Acesso em: 16 set. 2015.

NOGUEIRA, Eduardo Santos. **Iluminação com LEDs**: alternativa de substituição da instalação existente na subestação Jataí. 2011. Projeto de Graduação (Departamento de Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

NOVICKI, Jackson Merise; MARTINEZ, Rodrigo. Leds para Iluminação Pública. In: CONGRESSO REGIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA, 2004, Curitiba. **Anais...** Curitiba: 2004.

NY SERDA. Report Street Lighting in New York State: Opportunities and Challenges 2014/2015. Disponível em: <<https://www.nyserda.ny.gov/-/media/Files/Publications/Research/Energy-Efficiency-Services/Street-Lighting-in-NYS.pdf>>. Acesso em: 1 mai. 2016.

OBSERVAPOA. **Porto Alegre em Análise**: indicadores. 2015. Disponível em: <http://portoalegreemanalise.procempa.com.br/?regiao=1_5_240>. Acesso em: 11 set. 2015.

OSTOJIC, Dejan R. et al. **Energizing Green Cities in Southeast Asia**: Applying Sustainable Urban Energy and Emissions Planning. Washington, DC: World Bank, 2013. Disponível em: <<https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/15931>>. Acesso em: 18 nov. 2015.

ÖZKARA, Y., ATAK, M. Regional total-factor energy efficiency and electricity saving potential of manufacturing industry in Turkey. **Energy**, v. 93, p. 495-510, 2015.

PEÑA-GARCÍA, A. et al. Impact of public lighting on pedestrians' perception of safety and well-being. **Safety Science**, v. 78, p. 142-148, 2015.

PENG, L. et al. Energy efficiency and influencing factor analysis in the overall Chinese textile industry. **Energy**, v. 93, p. 1222–1229, 2015.

PHILLIPS, Patricia P.; PHILLIPS, Jack J. **Value of Learning: How organizations capture value and ROI**. San Francisco, CA: Pfeiffer, 2007. IN: MEIRA, A. G. de L. Um estudo da aplicação da metodologia Phillips ROI voltada para avaliação de iniciativas de gestão do conhecimento nas organizações. 2008. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Gestão do Conhecimento e da Tecnologia da Informação) - Universidade Católica de Brasília, 2008.

PINTO, José Henrique. **Companhia Municipal de Energia e Iluminação**. IN: 3ª EXPOSIÇÃO E FÓRUM DE GESTÃO DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA, 2014, São Paulo. Disponível em: <http://www.rpmbrasil.com.br/ilumexpo2014/Jose_Henrique_Pinto.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2015.

PLEEC. **Background**. Planning for Energy Efficient Cities. 2013. Disponível em: <<http://www.pleecproject.eu/about-pleec/background.html>>. Acesso em: 18 dez. 2015.

PMPA. **Plano de Metas para uma Porto Alegre mais Sustentável**. Porto Alegre, 2013. Disponível em: <http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/observatorio/usu_doc/plano_de_metas_cidades_sustentaveis.pdf>. Acesso em: 22 out. 2015.

PORTAL BRASIL. **Distribuidoras devem transferir ativos de iluminação pública às cidades. Infraestrutura**, 2014. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2014/12/distribuidoras-devem-transferir-ativos-de-iluminacao-publica-as-cidades>>. Acesso em: 15 out. 2015.

PORTAL VERMELHO. **Riacho Fundo usa energia solar para iluminação pública**. 2012. Disponível em: <<http://vermelho.org.br/noticia/186862-64>>. Acesso em 21 abr. 2016.

PROCEL. **Casos de sucesso**. 2010. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/services/procel-info/Simuladores/DownloadSimulator.asp?DocumentID=%7B650BA0F4-DA0E-4185-A4C9-98A9A0B9A675%7D&ServiceInstUID=%7B5F6B86BE-D506-46B2-BED6-EF2283918831%7D>>. Acesso em: 10 mar. 2016.

_____. **Projeto de Eficiência Energética na iluminação pública prevê redução de até 70% do consumo de energia no Tocantins**. Notícias, 2015a. Disponível em: <<http://goo.gl/mJ48EN>>. Acesso em: 24 ago. 2015.

_____. **Uma iluminação pública com energia renovável**. Notícias, 2015b. Disponível em: <<http://goo.gl/o7g9xK>>. Acesso em: 18 ago. 2015.

PROGRAMA CIDADES SUSTENTÁVEIS. **Publicação**. São Paulo: Programa Cidades Sustentáveis, 2012. Disponível em: <<http://www.cidadessustentaveis.org.br/downloads/publicacoes/publicacao-programa-cidades-sustentaveis.pdf>>. Acesso em: 11 de out. 2015.

_____. **Boas práticas**: Curitiba. 2013. Disponível em: <<http://www.cidadessustentaveis.org.br/boas-pr%C3%A1ticas/planejamento-urbano-orientado-pela-sustentabilidade>>. Acesso em: 26 fev. 2016.

PROMON INTELLIGENS. **Novo Cenário de Iluminação Pública no Brasil**: Perspectivas e Oportunidades de Negócios. 2014. Disponível em: <http://www.promonintelligens.com.br/wp-content/uploads/2014/10/IluminacaoPublica_novo.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2015.

OUEDRAOGO, N. S. Energy consumption and human development: Evidence from a panel cointegration and error correction model. **Energy**, 63, p. 28-41, 2013.

RABAZA, O. et al. A simple method for designing efficient public lighting, based on new parameter relationships. **Expert Systems with Applications**, v. 40, p. 7305-7315, 2013.

RADULOVIC, D. et al. Energy efficiency public lighting management in the cities. **Energy**, v. 36, p. 1908-1915, 2011.

RALPH & CURL. **Project 2020 Lighting Columbus**: a Master Plan for Street Lights. 2010 Disponível em: <<http://ralphandcurleng.com/images/firstp2020.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2015.

RIOLUZ. **Conheça a RioLuz**. Disponível em: <<http://www.rio.rj.gov.br/web/rioluz/conheca-a-rioluz>>. Acesso em: 19 mai. 2016.

ROIZENBLATT, Isac. **Critérios da Iluminação Elétrica Urbana**. Tese de Doutorado (Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2009.

ROMERO, M. A. B.. Frentes do Urbano para a Construção de Indicadores de Sustentabilidade Intra Urbana. **Paranoá**: cadernos de arquitetura e urbanismo da FAU-UnB. Brasília. Ano 6, n. 4, 2007. Disponível em <<http://periodicos.unb.br/index.php/paranoa/article/viewFile/12103/8486>>. Acesso em: 19 ago. 2015.

ROSITO, Luciano H. Desenvolvimento da iluminação pública no Brasil. **O setor elétrico**. 2009. Disponível em: <http://www.fne.org.br/pages/fne/files/pdf/desenvolvimento_i_p_no_brasil_-_luciano_haas_rosito.pdf>. Acesso em: 13 set. 2015.

SAATY, Thomas L. **The Analytic Hierarchy Process**. New York: McGraw Hill. Pittsburgh, 1980.

SAATY, Thomas L. Some mathematical concepts of the analytic hierarchy process. **Behaviormetrika**, v. 18, n. 29, p. 1-9, 1991.

SALT LAKE CITY CORPORATION. **Salt Lake City Street Lighting Master Plan and Policy**. 2006. Disponível em: <<http://www.slcdocs.com/transportation/StreetLighting/PDF/StreetLightingMP.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2015.

SALVIA, A. L. et al. Projeto PRESUST-RS: Pré-requisitos para a sustentabilidade dos municípios do Rio Grande do Sul. IN: II Encontro Nacional de Tecnologia Urbana, 2015. **Anais...** Passo Fundo: 2015.

SAN JOSE REDEVELOPMENT AGENCY. **San Jose Downtown Street and Pedestrian Lighting Master Plan**. 2003. Disponível em: <<http://www.sjredevelopment.org/PublicationsPlans/lighting.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2015.

SANTANA, Rosa Maria Bomfim. **Iluminação Pública**: Uma Abordagem Gerencial. 2010. 94 f. Dissertação (Mestrado em Regulação da Indústria de Energia) – Universidade Salvador Unifacs, Salvador, 2010.

SANTOS, Eduardo Ribeiro dos. **A iluminação pública como elemento de composição da paisagem urbana**. 2005. Dissertação (Mestrado em Arquitetura)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Curitiba, 2005.

SANTOS, Cristiana R. A. **Iluminação Pública e Sustentabilidade Energética**. 2011. Tese de Doutorado. Universidade do Porto, 2011.

SANTOS, Pedro Paulo dos. Eficiência Energética na Iluminação Pública. IN: IX Congresso Nacional de Excelência em Gestão, 2013. **Anais...** Rio de Janeiro: 2013. Disponível em: <http://www.excelenciaemgestao.org/Portals/2/documents/cneg9/anais/T13_2013_0053.pdf>. Acesso em: 21 set. 2015.

SÃO BERNARDO DO CAMPO. Prefeitura Municipal. **Plano Municipal de Iluminação Pública**. 2015. Disponível em: <http://www.saobernardo.sp.gov.br/documents/10181/399045/Plano+Iluminacao+sitio+PMSP+26_02_15.pdf/0edf4728-6511-4140-93e5-d5bb3cbb506e>. Acesso em: 14 nov. 2015.

SARTI, S. **Curitiba adota gestão inteligente de iluminação pública e serviço**. Rede Cidade Digital. Disponível em: <<http://redecidadedigital.com.br/noticias.php?id=1412&data=Curitiba%20adota%20gest%C3%A3o%20inteligente%20de%20ilumina%C3%A7%C3%A3o%20p%C3%ABblica%20e%20servi%C3%A7o>>. Acesso em: 2 mai. 2016.

SCALA, Natalie Michele; NEEDY, Kim LaScola; RAJGOPAL, Jayant. Using the Analytic Hierarchy Process in group decision making for nuclear spare parts. IN: 31st ASEM National Conference. **Anais...** American Society for Engineering Management, 2010.

SCHRÉDER GROUP. **Paris... and then there was light**. 2009. Disponível em: <<http://www.schreder.com/SiteCollectionDocuments/Learning-Centre/City-notebooks/PARIS-English-Citynotebook.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2015.

SECRETARIA DE MINAS E ENERGIA. **Plano Energético do Rio Grande do Sul 2016/2025**. Governo do Estado do Rio Grande do Sul: Porto Alegre, 2016. Disponível em: <<http://minasenergia.rs.gov.br/plano-energetico>>. Acesso em: 22 mar. 2016.

SEPLAN - Secretaria de Planejamento, Gestão e Participação Cidadã. **Perfis: regiões funcionais de planejamento**. Governo do Estado do Rio Grande do Sul, 2015. Disponível em: <www.seplan.rs.gov.br/download/20150319163519perfis_todos.pdf>. Acesso em: 27 de ago. 2015.

SCHULZ NETO, Willy. **Iluminação Pública**. Série de Cadernos Técnicos da Agenda Parlamentar. CREA-PR, 2010. Disponível em: <<https://creajrpr.files.wordpress.com/2010/11/iluminac3a7c3a3o-pc3bablica.pdf>>. Acesso em: 29 set. 2015.

SHIAU, Y. et al. **Use questionnaire and AHP techniques to develop subcontractor selection system**. 2002. Chung Hua University. Disponível em: <<http://fire.nist.gov/bfrlpubs/build02/PDF/b02143.pdf>>. Acesso em: 07 abr. 2016.

SIEMENS. **Energy Efficiency Financing: Unlock opportunities for additional sales**. Carbon Trust, 2012. Disponível em: <https://finance.siemens.com/financialservices/uk/products_

solutions/equipment-finance-leasing/energy-efficiency-financing/downloads/documents/eef_supplier_benefits.pdf>. Acesso em: 10 out. 2016.

_____. **Intelligent StreetLighting**. Infrastructure & Cities Sector, 2014. Disponível em: <https://www.cee.siemens.com/web/sk/sk/produkty_sluzby/verejne-osvetlenie/Documents/brozura.pdf>. Acesso em: 21 out. 2015.

_____. **Smart Grid on the Lower Rhine**. 2013a. Disponível em: <<http://w3.siemens.com/smartgrid/global/en/projects/Pages/A-Smart-Grid-on-the-lower-Rhine.aspx>>. Acesso em: 10 jan. 2016.

_____. **Smart solutions for Canadian electricity**. 2013b. Disponível em: <<http://w3.siemens.com/smartgrid/global/en/projects/Pages/NB-Power.aspx>>. Acesso em: 10 jan. 2016.

_____. **Street Lighting**: Additional offering for municipal infrastructure. 2016. Disponível em: <<http://w3.siemens.com/markets/global/en/municipalities-dsos/offerings/pages/street-lighting.aspx>>. Acesso em: 10 jan. 2016.

_____. **Intelligent Street Lighting**. Alemanha, 2014. Disponível em: <<https://www.mobility.siemens.com/mobility/global/SiteCollectionDocuments/en/road-solutions/services/intelligent-streetlighting-en.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2016.

SILVA, R.C. **Proposta de método para priorização de alternativas por múltiplos critérios**. 2006. (Tese de doutorado)- Instituto Tecnológico de Aeronáutica/ITA. Campo Montenegro, São José dos Campos, SP, 2006.

SILVA, Mayara Cristina Ghedini da. **Utilização do método analytic hierarchy process (AHP) para localização de usina de reciclagem de resíduos da construção civil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2012.

SNFOR. **KL-Karak Highway**. Disponível em: <<http://snfor.com/portfolio/road/kl-karak-highway/>>. Acesso em: 23 mai. 2016.

SOLA, Antonio V. H.; MOTA, Caroline M.M. Melhoria da eficiência energética em sistemas motrizes industriais. **Produção**. São Paulo, v. 23, p. 1, 2015.

SOUZA, A. A. A. de., et al. Estudo de viabilidade econômica na substituição de Relés Eletromecânicos por Relés Eletrônicos no sistema de Iluminação Pública. IN: CIDEL, 2010, Argentina. **Anais...** Buenos Aires: 2010. Disponível em: <<http://www.cidel2010.com/papers/paper-101-27022010.pdf>>. Acesso em 12 nov. 2015.

SRDJEVIC, B.; SRDJEVIC, Z. Synthesis of individual best local priority vectors in AHP-group decision making. **Applied Soft Computing**, v.13, p. 2045-2056, 2013.

SRDJEVIC, B. et al. Evaluating Management Strategies in Paraguacu River Basin by Analytic Hierarchy Process. In: FIRST BIENNIAL MEETING OF THE INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL MODELING AND SOFTWARE SOCIETY, 1, p. 42-47, 2002. **Anais...** Lugano, 2002.

SRIDHAR, K. S.; WAN, G. (Ed.). **Urbanization in Asia: Governance, Infrastructure and the Environment**. Springer Science & Business Media, 2013.

STREET, Alexandre. A crise energética de 2015. **Valor Econômico**. São Paulo: 2015. Disponível em: <<http://www.provedor.nuca.ie.ufrj.br/estudos/street2.pdf>>. Acesso em 10 jun. 2015.

SURFCOAST SHIRE. **Sustainable Public Lighting: Action Plan**. Ironbark Sustainability, 2015. Disponível em: <http://www.surfcoast.vic.gov.au/files/ba073d0b-d76e-44da-ad20-9fa600fe0ef1/Sustainable_Public_Lighting_Plan.pdf>. Acesso em: 10 out. 2015.

SWAN, Lukas G.; UGURSAL, V. Ismet. Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 13, n. 8, p. 1819-1835, 2009.

TORRES, Cássia Juliana Fernandes. **Desenvolvimento metodológico para apoio à tomada de decisão sobre o programa de efetivação do enquadramento dos corpos d'água**. 2014. 176 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana)-Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.

TOWNSEND, Anthony M. **Smart cities: Big data, civic hackers, and the quest for a new utopia**. WW Norton & Company, 2013.

UNITED NATIONS. **Delivering on Energy**. New York: United Nations, 2010a. Disponível em: <http://www.unido.org/fileadmin/user_media/News/2010/Delivering_on_Energy.PDF>. Acesso em: 11 set. 2015.

UNITED NATIONS. **Energy for a Sustainable Future**. New York: United Nations, 2010b. Disponível em: <[http://www.un.org/millenniumgoals/pdf/AGECCsummaryreport\[1\].pdf](http://www.un.org/millenniumgoals/pdf/AGECCsummaryreport[1].pdf)>. Acesso em: 11 set. 2015.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **District Energy in Cities: Unlocking the Potential of Energy Efficiency and Renewable Energy**. 2015. Disponível em: <<http://www.unep.org/energy/portals/50177/Documents/DistrictEnergyReportBook.pdf>>. Acesso em: 29 set. 2015.

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA. The UPC and Eolgreen design the first public lighting system that runs on solar and wind energy. **Press Room**, 2015. Disponível em: <http://www.upc.edu/saladeprensa/al-dia/mes-noticies/the-upc-and-eolgreen-design-the-first-public-lighting-system-that-runs-on-solar-and-wind-energy?set_language=en>. Acesso em: 20 jun. 2016.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Demonstration Assessment of Light Emitting Diode (LED) Street Lighting**. 2008. Disponível em: <http://energy.gov/sites/prod/files/2014/05/f15/emerging_tech_report_led_streetlighting.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2016.

VILAS BOAS, C. L. Método multicritérios de análise de decisão (MMAD) para as decisões relacionadas ao uso múltiplo de reservatórios: analytic hierarchy process (AHP). In:

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16., 2005, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ABRH, 2005.

VOLPATO, G. L. Método lógico para redação científica. Botucatu: Best Writing, 2011.

ZAMBON, K. L. et al. Análise de decisão multicritério na localização de usinas termoelétricas utilizando SIG. **Pesquisa Operacional**, v.25, n.2, p.183-199, 2005.

ZIENTEK H. **Kirklees Council sees the light with LeafNut street lighting system.** Examiner. Disponível em: <<http://www.examiner.co.uk/news/west-yorkshire-news/kirklees-council-sees-light-leafnut-5020083>>. Acesso em: 12 mai. 2016.

WALTER, A. As Mudanças Climáticas e a Questão Energética. **Revista Multiciência**, Ed. 8., 2007.

WEBBER, P. et al. The impacts of household retrofit and domestic energy efficiency schemes: a large scale, ex post evaluation. **Energy Policy**, v. 84, p. 35–43, 2015.

WORLD BANK. **Integrated Public Lighting Assessment Program.** Recommendations. TRACE, 2016a.

_____. **Street Lighting Audit and Retrofit Program.** Recommendations. TRACE, 2016b.

_____. **Procurement Guide for New Street Lights.** Recommendations. TRACE, 2016c.

_____. **Lighting Timing Program.** Recommendations. TRACE, 2016d.

APÊNDICE A
QUESTIONÁRIO PARA DIAGNÓSTICO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

PRESUST-RS

Pré-requisitos para a sustentabilidade dos municípios do Rio Grande do Sul

Esta pesquisa é parte integrante do Projeto PRESUST-RS: Pré-requisitos para a Sustentabilidade dos Municípios do Rio Grande do Sul, que é uma parceria entre três universidades gaúchas e uma alemã, sendo elas a Universidade de Passo Fundo (UPF), a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e a Hamburg University of Applied Sciences (HAW).

O objetivo principal do projeto é investigar pré-requisitos para os municípios se tornarem mais sustentáveis, a fim de estimular medidas locais e/ou regionais que sejam adequadas às especificidades do estado do Rio Grande do Sul, nos eixos de resíduos sólidos, mobilidade urbana, energia e planejamento urbano.

Assim sendo, o objetivo desta etapa é o estudo aprofundado da eficiência energética da Iluminação Pública dos municípios, para ser possível caracterizar o serviço e posteriormente incluí-lo em ações de sustentabilidade.

Questionário para diagnóstico do serviço de Iluminação Pública

Município:

Responsável (nome/cargo):

Data:

1. Qual o consumo mensal médio de energia elétrica do serviço de iluminação pública urbana?
2. Qual o custo mensal médio de energia elétrica do serviço de iluminação pública urbana (valor de consumo de energia e valor de possíveis trocas e manutenção)?
3. Quantos pontos de iluminação existem no município?
4. Estes pontos estão distribuídos em quantos quilômetros de vias?
5. Segundo dados do IBGE, aproximadamente ___% das residências de _____ não são atendidas por iluminação pública. Qual é o motivo desta situação?
6. Qual a quantidade e potência das lâmpadas por tipo (LED, vapor metálico, vapor de sódio, outros)?

7. O município possui Plano Diretor de Iluminação Pública?

() sim () não

Se sim, quais as principais diretrizes deste plano?

Seria possível disponibilizar o plano?

Plano Diretor de Iluminação Pública: contém informações técnicas referentes à distribuição das luminárias, espaçamento, iluminância, luminância, e harmonização com planos urbanísticos.

8. O município possui Plano de Gestão de Iluminação Pública?

() sim () não

Se sim, quais as principais diretrizes deste plano?

Seria possível disponibilizar o plano?

Plano de Gestão de Iluminação Pública: possui maior enfoque à redução do consumo de energia elétrica do setor e maior eficiência, por meio de medidas de gestão, uso de novas tecnologias e inclui metas de implementação.

- Se a resposta foi não para as últimas duas perguntas, existe algum outro plano envolvendo a gestão da iluminação pública? Quais as suas características?

9. O município está atualmente instalando luminárias mais eficientes?

() sim () não

Se sim, qual a abrangência da substituição (em número de luminárias e/ou extensão de vias)?

E há algum critério para a escolha das vias?

10. O município utiliza fontes alternativas de energia na iluminação pública?

() sim () não

Se sim, de qual tipo?

11. O município utiliza componentes do sistema de iluminação com materiais de longa duração?

() sim () não

Qual é, em média, a vida útil dos componentes do sistema (poste, luminária, relé, lâmpadas) ou de quanto em quanto tempo estes itens são substituídos?

E qual a frequência de manutenção do sistema? A manutenção ocorre conforme são recebidos os pedidos externos?

12. O município utiliza componentes do sistema com certa parcela de materiais reciclados?
() sim () não
Se sim, o fornecedor informa a porcentagem do produto feita com algum material reciclado?
13. O município encaminha os componentes antigos (que vão sendo trocados por defeito ou melhoria do sistema) para reciclagem?
() sim () não
Se sim, para onde são enviados?

Se não, qual o destino final deste material?
14. Os materiais utilizados no sistema de iluminação pública são fornecidos por empresas locais ou regionais?

APÊNDICE B
QUESTIONÁRIO PARA APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP

Escolha de melhores práticas em Iluminação Pública

Esta pesquisa é parte integrante do Projeto PRESUST-RS: *Pré-requisitos para a Sustentabilidade dos Municípios do Rio Grande do Sul*, que é uma parceria entre três universidades gaúchas e uma alemã, sendo elas a Universidade de Passo Fundo (UPF), a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e a Hamburg University of Applied Sciences (HAW).

Este questionário faz parte de uma das dissertações de mestrado vinculadas ao PRESUST, cujo título é **Eficiência Energética em Iluminação Pública na Gestão Sustentável de Cidades: Estudo de Multicasos**.

A seguir é apresentado o questionário de análise multicritério, que se caracteriza, em um primeiro momento, em questões para descrição do perfil do grupo de participantes. Na sequência, deve ser feita a comparação par a par dos critérios utilizados para escolha de melhores práticas para o setor de iluminação pública de sua cidade. Por fim, são feitas novamente comparações par a par, agora com as melhores práticas selecionadas.

1. Nome completo: *

*esta informação não será divulgada no trabalho

2. Sexo: *

 ▼

3. Faixa etária: *

 ▼

4. Nível de escolaridade: *

Por favor, escolha ... 

5. Qual a sua formação? *

Engenharia Ambiental

Engenharia Civil

Engenharia Elétrica

6. Qual é a sua função? * **7. Há quanto tempo atua nesta função? *****8. Qual cidade você está representando? ***

Por favor, escolha ... 

Nessa pesquisa, foram selecionadas quatro melhores práticas que os municípios podem aplicar para aumentar a sustentabilidade do seu sistema de iluminação pública. Para escolher qual melhor prática é a mais adequada para cada cidade, foram selecionados três critérios: custo de implantação, economia de energia e facilidade de implantação.

No questionário de análise multicritério, o especialista deve inicialmente **comparar os critérios de escolha**, a fim de verificar a ordem de importância de cada um no que diz respeito à escolha das práticas.

Em seguida, para cada um dos critérios, o especialista deve **comparar estas práticas**, apontando qual é mais preferível de escolha em seu município, lembrando que todas as *comparações são feitas sempre par a par*.

Para que o resultado do questionário seja satisfatório, é importante que os resultados sejam consistentes, ou seja, sem pequenos possíveis erros. Por exemplo, um exemplo de resposta consistente é dizer que, se o critério A é preferível ao critério B e B é preferível a C, A também é preferível a C.

Abaixo são apresentadas as descrições dos critérios para escolha das melhores práticas:

CUSTO DE IMPLANTAÇÃO:	ECONOMIA DE ENERGIA:	FACILIDADE DE IMPLANTAÇÃO:
levando em consideração os investimentos necessários para implantação da prática	potencial de economia no consumo de energia que a prática pode proporcionar	de acordo com as características da prática e condições do município

Agora você deve comparar par a par os critérios, considerando qual deles, na sua opinião, é o mais importante no momento de escolher as práticas de iluminação pública a serem propostas para o seu município:

9. Marque abaixo os seus julgamentos, comparando critério com critério de acordo com o aumento da preferência/importância de cada um em relação ao outro para escolha das melhores práticas. O número 1 indica igual preferência/importância entre ambos, e o aumento da pontuação indica aumento do favoritismo/importância de cada critério em relação ao outro. *

	Absoluta 9	Muito forte 7	ForteModerada 5 3	Preferência igual 1	ModeradaForte 3 5	Muito forte 7	Absoluta 9	
Custo de implantação	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Economia de energia
Custo de implantação	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Facilidade de implantação
Economia de energia	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Facilidade de implantação

Na próxima etapa, você deverá comparar as práticas sugeridas, de acordo com cada critério. As 4 melhores práticas são:

Programa de Auditoria e Elaboração de Guia	Programa de Retrofit	Programa de energia alternativa	Programa de gestão
<p>Propõe a avaliação técnica do serviço existente, verificando-se as operações de funcionamento e manutenção, de modo a auxiliar na identificação de medidas adequadas para aumento da eficiência energética e propor um Guia de Recomendações para o setor.</p>	<p>Esta prática objetiva a modificação ou renovação do sistema de iluminação pública, visando melhorias, substituição de componentes, entre outros.</p>	<p>Utilização de energias alternativas como a solar e eólica para alimentar os postes de luz, garantindo maior segurança energética e autossuficiência em tempos de crise hídrica.</p>	<p>A gestão da iluminação pública fornece aos gestores a operação e monitoramento dos sistemas do setor, podendo atuar no controle da intensidade luminosa e cronometragem estratégica de acionamento e desligamento das luzes, além de servir para antever problemas técnicos.</p>

Da mesma forma que para os critérios, as alternativas devem ser comparadas par a par. O número 1 indica que ambas as práticas apresentam a mesma preferência/importância para o município considerando o critério em questão. O aumento da pontuação em direção à cada prática indica aumento do preferência/importância de cada uma em relação à outra, assim como foi feito anteriormente para os critérios, sendo:

- Preferência Igual = 1
- Preferência Moderada = 3
- Preferência Forte = 5
- Preferência Muito Forte = 7
- Preferência Absoluta = 9

10. Compare as alternativas considerando apenas o critério CUSTO DE IMPLANTAÇÃO: * 

	9 7 5 3 1 3 5 7 9	
Programa de Auditoria e Elaboração de Guia	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	Programa de Retrofit
Programa de Auditoria e Elaboração de Guia	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	Programa de Energia Alternativa
Programa de Auditoria e Elaboração de Guia	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	Programa de Gestão
Programa de Retrofit	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	Programa de Energia Alternativa
Programa de Retrofit	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	Programa de Gestão
Programa de Energia Alternativa	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	Programa de Gestão

11. Compare as alternativas considerando apenas o critério ECONOMIA DE ENERGIA: * 

	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Programa de Auditoria e Elaboração de Guia	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Programa de Retrofit
Programa de Auditoria e Elaboração de Guia	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Programa de Energia Alternativa
Programa de Auditoria e Elaboração de Guia	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Programa de Gestão
Programa de Retrofit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Programa de Energia Alternativa
Programa de Retrofit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Programa de Gestão
Programa de Energia Alternativa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Programa de Gestão

12. Compare as alternativas considerando apenas o critério FACILIDADE DE IMPLANTAÇÃO: * 

	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Programa de Auditoria e Elaboração de Guia	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Programa de Retrofit
Programa de Auditoria e Elaboração de Guia	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Programa de Energia Alternativa
Programa de Auditoria e Elaboração de Guia	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Programa de Gestão
Programa de Retrofit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Programa de Energia Alternativa
Programa de Retrofit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Programa de Gestão
Programa de Energia Alternativa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Programa de Gestão

Sua contribuição será muito importante para o desenvolvimento deste trabalho. Muito obrigada pela sua participação!

