



Instituto Federal da Bahia
PPGESP

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas de Produtos

**EFEMU: UM SISTEMA DE SUPORTE À
EFICIENTIZAÇÃO ENERGÉTICA DE
PARQUES DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA**

Jadson dos Santos de Santana

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Salvador
2024

JADSON DOS SANTOS DE SANTANA

**EFEMU: UM SISTEMA DE SUPORTE À EFICIENTIZAÇÃO
ENERGÉTICA DE PARQUES DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA**

Esta Dissertação de Mestrado foi apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas de Produtos da Instituto Federal da Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Sistemas e Produtos.

Orientador: Prof. Dr. Renato Lima Novais

Salvador
2024

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELO SISTEMA DE BIBLIOTECAS DO IFBA, COM OS
DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

S231e Santana, Jadson dos Santos de

Efemu: um sistema de suporte à efficientização energética de parques de iluminação pública / Jadson dos Santos de Santana; orientador Renato Lima Novais -- Salvador, 2024.

76 p.

Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas e Produtos) -- Instituto Federal da Bahia, 2024.

1. Eficiência energética. 2. Iluminação pública. 3. Inconformidades. 4. Análise visual. 5. Gestão pública. I. Novais, Renato Lima, orient. II. TÍTULO.

CDU 628.9



INSTITUTO FEDERAL DA BAHIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
DE SISTEMAS E PRODUTOS – PPGESP**

**EFEMU: UM SISTEMA DE SUPORTE À EFICIENTIZAÇÃO ENERGÉTICA
DE PARQUES DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA**

JADSON DOS SANTOS DE SANTANA

Produto(s) Gerado(s): Dissertação; Registro de Programa de Computador

Orientador: Prof. Dr. Renato Lima Novais

Banca examinadora:

Prof. Dr. Renato Lima Novais

Orientador – Instituto Federal da Bahia (IFBA)

Prof. Dr. Manoel Carvalho Marques Neto

Membro Interno – Instituto Federal da Bahia (IFBA)

Prof. Dr. Cláudio Osnei Garcia

Membro Externo

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela banca examinadora em 07/08/2024



Documento assinado eletronicamente por **RENATO LIMA NOVAIS, Professor Titular**, em 07/08/2024, às 18:51, conforme decreto nº 8.539/2015.



Documento assinado eletronicamente por **MANOEL CARVALHO MARQUES NETO, Professor Titular**, em 12/08/2024, às 19:03, conforme decreto nº 8.539/2015.



Documento assinado eletronicamente por **CLAUDIO OSNEI GARCIA, Usuário Externo**, em 13/08/2024, às 10:45, conforme decreto nº 8.539/2015.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site http://sei.ifba.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&acao_origem=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0 informando o código verificador **3640986** e o código CRC **8D86535A**.

Dedico este trabalho aos meus pais, Ailton e Sonia. O amor, carinho, apoio e incentivo que me foi dado em todos esses anos foram alicerces enormes que me mantiveram no caminho certo durante toda essa jornada. Dedico também ao meu irmão, Alison, por estar sempre ao meu lado e me apoiar em tudo que tento fazer.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho só foi possível devido à ajuda de diversas pessoas, as quais deixo meu eterno agradecimento.

À minha família, por todo o carinho, apoio e pelos esforços para que eu pudesse ter acesso a oportunidades que antes pareciam inacessíveis a nós. Muito obrigado por tudo.

Ao Prof. Dr. Renato Novais, uma pessoa fantástica que foi meu orientador/professor tanto na graduação quanto no mestrado. Agradeço por toda ajuda, por ter compartilhado tanto conhecimento e ter sido um guia tão importante por toda a minha jornada acadêmica.

À equipe da Facilita Tech, pelas sugestões oferecidas ao longo do desenvolvimento do trabalho e por toda a ajuda com as avaliações experimentais.

Ao Instituto Federal da Bahia, por ter transformado minha vida. Minha jornada com o IFBA começou em 2014, quando iniciei o curso técnico integrado, e, depois disso, passei por ensino subsequente, superior e por fim, mestrado. Posso afirmar, sem sombra de dúvidas, que não seria nem metade de quem sou atualmente sem o conhecimento técnico e comportamental que ganhei durante esse período no instituto. Estendo os agradecimentos a todos os servidores e amigos que conheci nesta fantástica instituição.

À todos os amigos que fiz durante esses anos e que, de alguma forma, me ajudaram nesta jornada.

A educação tem raízes amargas, mas os seus frutos são doces

—AUTOR (Aristóteles)

RESUMO

A eficiência energética representa um pilar fundamental no contexto atual de busca por sustentabilidade e redução dos impactos ambientais. Sua importância cresce na medida em que enfrentamos desafios globais relacionados às mudanças climáticas e à escassez de recursos naturais, fazendo com que países inteiros adotem políticas e investimentos voltados para a redução do consumo de recursos e o aumento da produção sustentável. Esta abordagem não se limita apenas às esferas nacionais, mas também é crucial em níveis municipais, onde a disponibilidade limitada de recursos pode representar desafios significativos. Nesses ambientes, a gestão eficiente dos parques de iluminação pública desempenha um papel fundamental na busca por soluções sustentáveis. No entanto, existe certa carência de ferramentas e mecanismos para apoiar os gestores municipais nos processos de efficientização energética. Este déficit motivou o desenvolvimento do EfEMu, uma ferramenta projetada para otimizar a gestão dos parques de iluminação pública. O objetivo principal do EfEMu é apresentar aos gestores uma nova perspectiva dos parques de iluminação, identificando inconformidades e sugerindo correções. Para isso, o EfEMu combina uma série de métodos luminotécnicos e de eficiência energética, como os índices de iluminância, de consumo e de eficiência energética, permitindo uma análise detalhada do consumo e identificando áreas com potencial para melhorias. Como uma forma de validar o software, foram realizadas avaliações experimentais quantitativas nos municípios de Lafaiete Coutinho, Jaborandi e Amargosa, todos na Bahia. Durante os estudos, foram identificadas diferentes tipos de inconformidades em diversas vias cadastradas. Além disso, o módulo de efficientização da ferramenta fez sugestões que ofereciam grandes reduções no consumo de energia, o que permite considerar a ferramenta promissora para a gestão municipal.

Palavras-chave: Eficiência Energética. Iluminação Pública. Inconformidades. Análise Visual. Gestão Pública.

ABSTRACT

Energy efficiency represents a fundamental pillar in the current context of pursuing sustainability and reducing environmental impacts. Its importance grows as we face global challenges related to climate change and natural resource scarcity, prompting entire countries to adopt policies and investments aimed at reducing resource consumption and increasing sustainable production. This approach extends beyond national levels and is crucial at municipal levels, where limited resource availability can pose significant challenges. In these environments, efficient management of public lighting systems plays a key role in the search for sustainable solutions. However, there is a lack of tools and mechanisms to support municipal managers in energy efficiency processes. This deficit has motivated the development of EfEMu, a tool designed to optimize the management of public lighting designs. The main goal of EfEMu is to offer managers a fresh perspective on lighting systems by identifying inconsistencies and suggesting corrections. To achieve this, EfEMu integrates a variety of lighting and energy efficiency methods, such as illuminance, consumption and energy efficiency ratings, allowing for a detailed analysis of consumption and identifying areas with potential for improvement. As a way of validating the software, experimental evaluations were conducted in the municipalities of Lafaiete Coutinho, Jaborandi, and Amargosa, all located in Bahia, Brazil. During these studies, various types of inconsistencies were identified across different registered streets. Furthermore, the tool's efficiency module made suggestions that offered significant energy consumption reductions, which allows the tool to be considered promising for municipal management.

Keywords: Energy Efficiency. Public Lighting. Nonconformities. Visual Analysis. Public Management.

SUMÁRIO

Capítulo 1—Introdução	1
1.1 Contexto	1
1.2 Problema	1
1.3 Objetivos	2
1.4 Metodologia e Trabalho Desenvolvido	2
1.5 Organização da Dissertação	4
Capítulo 2—Referencial Teórico	5
2.1 Normas Técnicas	5
2.2 Iluminância	6
2.3 Eficiência Energética	9
2.4 Análise Visual	11
2.4.1 Processos	12
2.4.2 Aplicações	13
2.4.2.1 Ciência da Saúde:	13
2.4.2.2 Finanças:	13
2.4.2.3 Tecnologia e Segurança Cibernética:	13
2.4.3 Desafios	14
2.4.3.1 Interpretabilidade e Confiança:	14
2.4.3.2 Grandes Fluxos de Dados em Tempo Real:	14
2.4.3.3 Escalabilidade:	14
2.4.3.4 Contexto dos Dados:	14
Capítulo 3—EfEMu	17
3.1 Visão Geral	17
3.1.1 Extração dos Dados	18
3.1.2 Padronização dos Dados	18
3.1.3 Cadastramento	19
3.1.4 Visualização	20
3.2 Visões e Funcionalidades	20
3.3 Detalhes de Implementação	23
3.3.1 Efemu-core	23
3.3.2 Efemu-web	25

Capítulo 4—EfEMu X Ferramentas Relacionadas	29
4.1 Sistemas de Gestão do Parque de Iluminação	29
4.1.1 Cidade Iluminada (CI)	29
4.1.2 Gisworks	30
4.1.3 Sipub	31
4.2 Sistemas de Projeto do Parque de Iluminação	32
4.2.1 Dialux	32
4.2.2 AGI32	33
4.2.3 Relux	33
4.3 Trabalhos Correlatos	34
Capítulo 5—Avaliação Experimental	37
5.1 Primeira avaliação: Lafaiete Coutinho	37
5.2 Segunda avaliação: Jaborandi	39
5.3 Terceiro estudo: Amargosa	42
5.4 Análise dos resultados	44
Capítulo 6—Conclusão	45
6.1 Contribuições	46
6.2 Limitações	46
6.3 Trabalhos Futuros	47

LISTA DE FIGURAS

2.1	Exemplo para cálculo do ponto a ponto	7
2.2	Exemplo de situação do ponto a ponto perpendicular	8
2.3	Exemplo de situação com mais de uma lâmpada direcional	9
2.4	Pilares da área de Análise Visual	11
2.5	Formado do processo de VA	12
3.1	Visão geral do EfEMu. Fonte: Autor.	18
3.2	Exemplo de <i>JavaScript Object Notation</i> (JSON) no padrão do Eficiência Energética Municipal (EfEMu). Fonte: Autor.	19
3.3	Tela inicial do EfEMu	21
3.4	Dashboard dos parques	22
3.5	Arquitetura básica do Efemu-core. Fonte: Autor	24
3.6	Arquitetura básica do efemu-web. Fonte: Autor	26
5.1	Visão da ferramenta com os dados de Lafaiete Coutinho. Fonte: Autor	39
5.2	Resultado da análise na Rua Euclides da Cunha	40
5.3	Dashboard da cidade de Jaborandi. Fonte: Autor	41
5.4	Visão do EfEMu com os dados de Amargosa. Fonte: Autor	43

LISTA DE TABELAS

2.1	Nível de Iluminância por fluxo de pedestres	8
2.2	Nível de iluminância por fluxo de veículos	9
2.3	Nível de uniformidade por fluxo de veículos	10
2.4	Classificação energética das instalações	10
3.1	Classificação Energética do EfEMu. Fonte: Autor	21
4.1	Tabela comparativa entre o EfEMu e ferramentas de gestão. Fonte: Autor	31
4.2	Tabela comparativa do EfEMu com softwares de modelagem Dialux, AGI32 e Relux. Fonte: Autor	34

LISTA DE SIGLAS

EfEMu	Eficiência Energética Municipal	17
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas	5
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>	5
COPANT	<i>Comisión Panamericana de Normas Técnicas</i>	5
LED	<i>Light-emitting Diode</i>	1
EE	Eficiência Energética	17
AV	Análise Visual	11
VACS	Visual Analytics para o Acompanhamento de Modelos de Credit Scoring	13
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i>	18
BSON	<i>Binary JSON</i>	37
NoSQL	<i>Not Only SQL</i>	37
API	<i>Application Programming Interface</i>	19
MVC	<i>Model-View-Controller</i>	23
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial	20
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>	24
SQL	<i>Structured Query Language</i>	25
ORM	<i>Object-relational Mapping</i>	25
DDD	<i>Domain Driven Design</i>	25
IP	Iluminação pública	1
CI	Cidade Iluminada	29
XLSX	<i>Microsoft Excel Spreadsheet</i>	39
CSV	<i>Comma-Separated Values</i>	42
ICE	Índice de Consumo de Energia	10
IEE	Índice de Eficiência Energética	10
MVP	<i>Minimum Viable Product</i>	27

Capítulo

1

Neste capítulo são apresentados o contexto e os problemas do trabalho, bem como os objetivos e detalhes dos estudos experimentais realizados. Por fim, é apresentada como foi organizado o trabalho.

INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO

O tema Eficiência Energética (EE) tem ganhado crescente importância em diferentes esferas – como social, política e econômica – em nível global (PATTERSON, 1996). As discussões acerca da economia dos recursos naturais têm impulsionado diferentes países ao redor do mundo a adotarem novas políticas públicas em busca de se tornarem mais eficientes. Alguns exemplos disso são o projeto político do governo da Alemanha que busca reduzir o consumo de energia do país pela metade até o ano de 2050 e a criação, no Brasil, da Olimpíada Nacional de Eficiência Energética (ENERGIEWENDE, 2019)(ELÉTRICA, 2021).

A eficiência energética pode ser implementada de diversas maneiras, em diferentes contextos, por diversos atores e com diferentes tipos de energia, como térmica, química e cinética. Isso possibilita que tanto indivíduos quanto entidades governamentais desempenhem um papel em benefício do bem comum. Quando se trata de energia elétrica, ações simples como substituir lâmpadas ou eletrodomésticos, melhorar a vedação em ambientes com ar-condicionado ou ajustar o tempo de uso podem fazer uma grande diferença. Nas instituições governamentais, as oportunidades são ainda maiores, devido à disponibilidade de infraestrutura e recursos financeiros. Um exemplo válido é a decisão da Dinamarca de interromper a emissão de licenças para exploração de petróleo e comprometer-se a eliminar sua produção de combustíveis fósseis até 2050 (KRAWCHENKO; GORDON, 2022). Em níveis mais locais, como municípios, a substituição das lâmpadas de iluminação pública por *Light-emitting Diode* (LED) ou a relocação de postes também podem resultar em economias significativas de energia, além de benefícios financeiros (ROCHA et al., 2016) (RECIFE, 2022)(MILÉSKI, 2019).

1.2 PROBLEMA

Nos municípios brasileiros, as prefeituras enfrentam desafios ao lidar com práticas de eficiência energética, especialmente no que diz respeito à Iluminação pública (IP) (NO-

VAIS et al., 2022). Atualmente, as prefeituras são responsáveis pela manutenção dos parques públicos (ANEEL, 2010). No entanto, muitas delas não possuem a estrutura adequada para essa tarefa, seja pela falta de pessoal, tecnologia ou infraestrutura. A incapacidade de gerenciar a iluminação municipal pode resultar em desperdício de dinheiro público e de recursos naturais finitos.

Em uma primeira vertente, existem diferentes ferramentas que se propõem a resolver os problemas da gestão de parques de iluminação (MERCANTIL, 2021)(FACILITA.TECH, 2022)(SOMA, 2016). Porém, boa parte delas contam com funcionalidades voltadas apenas à administração dos parques. Entre as principais características, é possível encontrar atividades como controle de estoque, gestão de chamados e visualização dos pontos da cidade de forma georreferenciada. Existe, portanto, certa carência de funcionalidades especificamente voltadas para as práticas de eficiência energética.

Em outra vertente, há também softwares voltados para planejar projetos de iluminação (ROCHA et al., 2016)(LANCELLE, 2018)(CRÍZEL, 2019). Esses softwares buscam, em alguma medida, projetar os espaços utilizando visualizações 2D e 3D dos ambientes e também facilitam a simulação de situações hipotéticas. É possível fazer a simulação de vias, praças e até edifícios inteiros através dessas aplicações. Contudo, a necessidade de projetar cada espaço individualmente nessas ferramentas tende a tornar trabalhosa a visualização do município como um todo ou por grandes regiões.

É válido frisar que ambos os casos carecem de sistemas que consideram o parque de iluminação pública do município existente e analisem o mesmo frente às normas, e também busquem por (in)conformidades. Para isso, é de grande importância que as instituições responsáveis pela manutenção dos parques mapeiem e mantenham atualizados seus dados.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é apresentar uma ferramenta que possa permitir que a gestão pública faça visualizações dos campos de ação da iluminação atual de modo a revelar diferentes informações do município, possibilitando como consequência a análise para possíveis melhorias. Como objetivos específicos, destacam-se:

- Investigar e aplicar métodos luminotécnicos e de eficiência energética para identificação de (in)conformidades;
- Definir visualizações que facilitem a análise dos dados dos municípios combinados com os índices de consumo de energia;
- Realizar estudos experimentais, de modo a validar a solução desenvolvida.

1.4 METODOLOGIA E TRABALHO DESENVOLVIDO

Considerando as informações supracitadas, este trabalho visa apresentar o Eficiência Energética Municipal (EfEMu), um software de apoio a gestão e identificação de inconformidades nos parques públicos. A ferramenta tem o objetivo de fornecer aos gestores uma nova perspectiva sobre a iluminação municipal à luz da eficiência energética,

facilitando o entendimento sobre sua atual situação e possibilitando uma melhor análise para possíveis reparos, melhorias e evolução do parque.

Para o desenvolvimento do trabalho, foram definidas algumas etapas, que auxiliaram principalmente para manter o teor científico do trabalho e na organização do mesmo como um todo. A primeira etapa consistiu na identificação do problema, que no caso seria a carência de ferramentas que auxiliem os gestores nas análises dos parques de iluminação com foco em eficiência energética.

Em seguida foi realizada uma revisão profunda, de cunho bibliográfico e exploratório acerca dos temas “Eficiência Energética” e “Iluminação Pública”. A ideia era compreender o contexto histórico dos temas no Brasil e no mundo e ao mesmo tempo identificar ferramentas que fornecessem algum tipo de auxílio e suas respectivas carências e pontos fortes.

A terceira etapa foi a definição do objetivo do projeto. Este objetivo sofreu bastante influência das pesquisas realizadas na segunda etapa e ao mesmo tempo permitiu nortear o trabalho e compreender as limitações e o escopo da ferramenta que seria desenvolvida posteriormente.

Após a definição do objetivo, foi possível iniciar o desenvolvimento da ferramenta. Neste momento, a meta principal era de somente validar a ideia do software, entender se ela tinha capacidade de entregar o valor imaginado. Nesta etapa, foram ignoradas questões de otimização de desempenho, arquitetura, manutenibilidade ou escalabilidade. Os dados utilizados eram fictícios, de modo a somente apresentar como o software deveria se parecer.

A medida que o software era desenvolvido, foi possível aplicar refinamentos e adicionar métodos de cálculos luminotécnicos e de eficiência. O objetivo neste momento era melhorar as visualizações disponíveis e também começar a considerar as questões do sistema que foram ignoradas anteriormente. Detalhes maiores sobre a arquitetura, funcionalidades e implementação do EfEMu são descritas no Capítulo 3.

Com o software desenvolvido, foi possível realizar validações. Foram conduzidas avaliações experimentais utilizando dados das cidades de Lafaiete Coutinho, Jaborandi e Amargosa, todas na Bahia. Os dados foram fornecidos por uma empresa que trabalha com mapeamento de iluminação pública e EE em nível municipal. Ao inserir as informações, foi possível identificar diferentes tipos de inconformidades em vias dos três municípios. Além disso, o módulo de eficientização do EfEMu sugeriu trocas nas lâmpadas que ofereceram grandes reduções no consumo de energia. Maiores detalhes sobre os estudos são encontrados no Capítulo 5.

Com base nas avaliações conduzidas, é possível considerar a ferramenta promissora no que tange às soluções de EE municipal. Um ponto importante que a ferramenta contribui é na identificação de problemas no município sem a necessidade de modelar cada ambiente, como acontece nas ferramentas de renderização 3D. Apesar de haver pontos de melhoria, os resultados obtidos permitem uma perspectiva otimista acerca da ferramenta desenvolvida.

1.5 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Além desta introdução, este trabalho está organizado da seguinte maneira: O Capítulo 2 apresenta conceitos chave no desenvolvimento deste projeto. O Capítulo 3 apresenta a ferramenta desenvolvida e detalha suas funcionalidades e informações de implementação. Já o Capítulo 4 exhibe ferramentas relacionadas ao EfEMu e aborda suas principais diferenças. O Capítulo 5 versa sobre as avaliações experimentais e os resultados obtidos a partir das mesmas. Por fim, no Capítulo 6, são feitas as considerações finais do trabalho e listadas algumas possibilidades de extensões futuras.

Este capítulo apresenta conceitos que serviram de base para a produção deste trabalho.

REFERENCIAL TEÓRICO

Para um projeto luminotécnico ser considerado satisfatório, é necessário levar em consideração uma série de requisitos, que tem como finalidades a redução de acidentes, melhoria do fluxo de pedestres e veículos, aumento da segurança e da qualidade de vida. Nesta seção, são apresentados conceitos importantes que guiaram o desenvolvimento da iluminação pública no país e auxiliaram no desenvolvimento deste trabalho, além de facilitarem a compreensão da solução desenvolvida.

2.1 NORMAS TÉCNICAS

O principal objetivo das normas técnicas é padronizar processos, produtos e serviços, garantindo qualidade, segurança e interoperabilidade em diversas áreas, desde a engenharia e a indústria até a saúde e o meio ambiente. No contexto da iluminação pública, são fundamentais as normas, pois possibilitam um maior conforto e segurança, tanto dos pedestres quanto dos motoristas (ABNT, 2012).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é a entidade responsável pela elaboração e publicação das normas técnicas no Brasil. Fundada em 1940, durante o governo de Getúlio Vargas, a ABNT tem grande influência no desenvolvimento das padronizações no país por ter unificado e consolidado diferentes normas técnicas existentes, fazendo adaptações à realidade brasileira. O órgão também é membro fundador de outras organizações de padronização, como a *International Organization for Standardization* (ISO) e a *Comisión Panamericana de Normas Técnicas* (COPANT) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, n.d.).

No contexto da iluminação pública, a ABNT possui como norma a NBR 5101 (ABNT, 2012). Nela, são definidos requisitos para as instalações de iluminação em ambientes públicos. Critérios como tamanho do calçamento, nível de iluminância das vias e altura dos postes são definidos nessa norma e utilizados como base nos projetos de iluminação.

2.2 ILUMINÂNCIA

É definida como iluminância a quantidade de fluxo luminoso que incide em uma determinada superfície ou área. Seu valor é dado em Lux (lx) e também pode ser expresso como lumens por metro quadrado (lm/m^2). A iluminância é determinada por diferentes fatores, incluindo a potência da fonte de luz, a distância da fonte para a superfície iluminada, a geometria do ambiente e as características dos materiais refletivos presentes. Atualmente, existem duas técnicas principais para calcular os níveis de iluminância em áreas externas, que podem ser aplicadas tanto a luminárias quanto a projetores: método dos lumens e método ponto a ponto (FINOCCHIO, 2014).

O método dos lumens é uma técnica utilizada para calcular a quantidade de luz emitida por uma fonte luminosa ou o nível de iluminação em um determinado ambiente. Esse método leva em consideração alguns fatores, como a potência da fonte luminosa, sua eficiência luminosa, a área a ser iluminada e o tipo de atividade realizada nesse espaço (FINOCCHIO, 2014).

Para aplicar o método dos lumens, é necessário primeiro determinar a quantidade de luz (E) para o ambiente em questão. Isso pode variar dependendo do uso do espaço, da preferência estética e das normas de segurança e conforto visual. Em seguida, são levados em conta os fatores técnicos, como a eficiência luminosa da lâmpada ou luminária escolhida e sua distribuição de luz. Com base nessas informações, é possível calcular a quantidade de luminárias necessárias e sua disposição no espaço para atingir o nível de iluminação desejado. O método é expresso pela seguinte equação:

$$\Phi t = \frac{E * S}{fm * U}$$

Onde Φt representa o fluxo luminoso total, E o nível de iluminância desejado, S o tamanho da área a ser iluminada e fm e U representam os fatores de depreciação e utilização da lâmpada, respectivamente. Além do fluxo total, também é possível definir a quantidade de luminárias necessárias na instalação. Para isso, é utilizada a seguinte equação:

$$N = \frac{\Phi t}{\Phi_i}$$

Sendo N o número total de luminárias, Φt , o fluxo luminoso total e Φ_i o fluxo luminoso de cada lâmpada. Com esse resultado, é possível fazer a distribuição das lâmpadas pelo ambiente.

Neste trabalho, o método dos lumens é exibido apenas como meio comparativo e elucidativo. A ferramenta desenvolvida neste trabalho faz uso do método ponto a ponto, pois o método dos lumens é limitado a ambientes com iluminações mais difusas e de maior angulação, o que geralmente não é o cenário da iluminação pública.

O método ponto a ponto, também conhecido como método das intensidades luminosas, é uma técnica que se baseia na avaliação da quantidade de luz em pontos específicos de um espaço, considerando as características individuais das fontes de luz e sua distribuição no ambiente. Em contraste com o método dos lumens, que avalia a luz total emitida,

este método possibilita determinar a iluminação em pontos específicos. Essa abordagem se baseia na curva de distribuição luminosa e na utilização da função de cosseno, reconhecendo que a iluminância varia conforme a angulação da luminária (FINOCCHIO, 2014).

Para obter a iluminância através do método ponto a ponto, é necessário utilizar a seguinte equação:

$$E = \frac{Ia * \cos^3 a}{h^2}$$

Com base na equação, assim como mostra também a Figura 2.1, E representa a iluminância em um ponto específico, Ia a intensidade luminosa da lâmpada medida em candelas (cd), h a altura do solo e, por fim, a equivale ao ângulo da luminária.

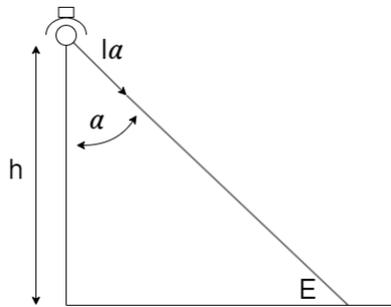


Figura 2.1 Exemplo para cálculo do ponto a ponto

Em alguns cenários, a incidência de luz não é perpendicular ao plano, assim como mostra a Figura 2.2. Nesta situação, é utilizada a seguinte equação:

$$E = \frac{Ia}{h^2}$$

Aqui, E representa a iluminância, I a intensidade luminosa e h a distância entre o ponto de luz e o plano. Há cenários onde duas ou mais luminárias são direcionadas para o mesmo ponto. Nesta situação, é feito então o somatório da iluminância de cada uma e esse resultado se torna a iluminância do ponto, assim como é exibido na seguinte equação:

$$Et = \sum_{i=1}^N Ei$$

Onde Et representa a Iluminância total, Ei é equivalente ao valor de cada fonte de luz e N indica a quantidade de luminárias do ambiente. Na Figura 2.3 é ilustrado o cenário mencionado.

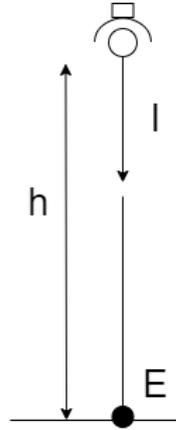


Figura 2.2 Exemplo de situação do ponto a ponto perpendicular

Classe de iluminação	Iluminância
P1 - Fluxo muito intenso	20
P2 - Fluxo intenso	10
P3 - Fluxo moderado	5
P4 - Fluxo baixo	3

Tabela 2.1 Nível de Iluminância por fluxo de pedestres

Por fim, é possível definir a iluminância média da instalação, sendo necessário calcular a média aritmética das luminárias, assim como é exibido na fórmula:

$$E_{med} = \frac{E1 + E2 + E3 + \dots + En}{n}$$

No contexto das normas brasileiras de iluminação, há uma classificação das vias baseada no fluxo de pedestres e veículos. Tal classificação tem o objetivo de fornecer um determinado nível de segurança e qualidade na iluminação das instalações (ABNT, 2012). Para isso, foram definidos níveis que variam entre P4 e V5 como mais baixos, e P1 e V2 sendo os mais altos, respectivamente. A Tabela 2.1 apresenta os indicadores para o fluxo de pedestres, enquanto a Tabela 2.2 exibe os dados de acordo com o fluxo de veículos. Exemplificando as tabelas, uma via que possui nível de iluminância de 25lx se encaixaria na classificação de fluxo muito intenso (P1) de pedestres e fluxo médio (V2) de veículos, pois o valor está acima dos valores mínimos das respectivas classes. Já uma via com 12lx de iluminância obteria as classes P2 para pedestres e V4 para veículos, pelos motivos já mencionados.

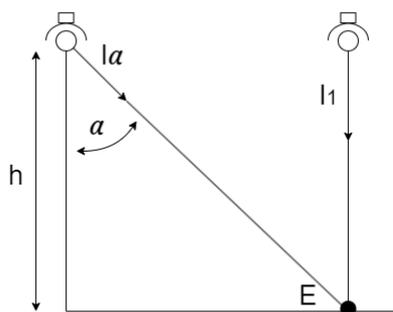


Figura 2.3 Exemplo de situação com mais de uma lâmpada direcional

Classe de Iluminação	Iluminância
V1 - Fluxo intenso	30
V2 - Fluxo médio	20
V3 - Fluxo leve	15
V4 - Fluxo leve	10
V5 - Fluxo leve	5

Tabela 2.2 Nível de iluminância por fluxo de veículos

Neste trabalho, tanto os cálculos de iluminância quando a tabela de classificação dos espaços são aplicados com frequência, especialmente nas análises de cada via. Quando há um nível de iluminância acima do valor máximo ou abaixo do mínimo recomendado, a ferramenta considera como uma inconformidade e torna visível ao usuário. Além disso, os valores de iluminância servem como base para outros cálculos e indicadores, como os de eficiência energética.

2.3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Diferentemente dos outros tópicos mencionados neste capítulo, não foram encontradas definições de equações ou classificações de eficiência energética sobre iluminação pública nas normas e legislações brasileiras. Devido a isso, foram utilizados conceitos adotados pelo Ministério da Indústria, Turismo e Comércio da Espanha ([INDUSTRIA, 2008](#)). Esse fato pode apontar para uma necessidade de desenvolvimento posterior de índices de eficiência energética aplicados a realidade brasileira, uma vez que o contexto da iluminação pública pode não ser o mesmo da Espanha.

A eficiência energética das instalações pode ser entendida como a relação entre a superfície iluminada, iluminância média e a potência total instalada, sendo expressada pela seguinte equação:

Ilum. Rodoviária Funcional		Ilum. rodoviária ambiental e outros	
Iluminância Média	EE de referência	Iluminância Média	EE de referência
>= 30	32	-	-
25	29	-	-
20	26	>= 20	13
15	13	>= 15	11
10	18	>= 10	9
<= 7.5	14	>= 7.5	7
-	-	<= 5	5

Tabela 2.3 Nível de uniformidade por fluxo de veículos

Classificação Energética	ICE	Índice de EE
A	ICE <0.91	IEE >1.1
B	0.91 =<ICE <1.09	1.1 >= IEE >0.92
C	1.09 =<ICE <1.35	0.92 >= IEE >0.74
D	1.35 =<ICE <1.79	0.74 >= IEE >0.56
E	1.79 =<ICE <2.63	0.56 >= IEE >0.38
F	2.63 =<ICE <5.00	0.38 >= IEE >0.20
G	ICE >= 5.00	IEE =<0.20

Tabela 2.4 Classificação energética das instalações

$$EE = \frac{A * Em}{P}$$

Onde EE representa a eficiência energética do local, A a área a ser iluminada (m^2), Em a iluminância média e P a potência total da instalação (INDUSTRIA, 2008).

Com base no resultado, é possível também calcular o Índice de Eficiência Energética (IEE), que é obtido pela divisão entre a eficiência energética instalada (E) e o valor da eficiência energética de referência (Er), como mostra a equação abaixo. A eficiência de referência varia de acordo com o tipo de via e a iluminância média (Em) do local, como é mostrado na Tabela 2.3 (INDUSTRIA, 2008).

$$IEE = \frac{EE}{Er}$$

O Ministério espanhol desenvolveu uma classificação pensando em simplificar a compreensão das informações sobre o consumo de energia. Essa nova classificação utiliza índices que vão de A (indicando o melhor desempenho) a G (indicando o pior). Ela possibilita a comparação usando o IEE, mencionado previamente, ou através de um método chamado Índice de Consumo de Energia (ICE), o qual é calculado pela equação: (ICE = 1 / IEE) (INDUSTRIA, 2008). As classificação e seus valores são apresentados na Tabela 2.4 Assim como os cálculos de iluminação, as equações e classificações de eficiência

energética são bastante utilizadas no projeto. Quando uma via obtém índices considerados insatisfatórios, é sinalizada a presença de uma inconformidade no ambiente. Além disso, o EfEMu apresenta um indicador que varia de acordo com a quantidade de vias consideradas eficientes no município. Mais detalhes são apresentados no Capítulo 3.

2.4 ANÁLISE VISUAL

Nas últimas décadas, devido aos avanços computacionais e o surgimento de diferentes técnicas de gerenciamento de informação, uma enorme quantidade de dados tem sido produzida, e levado a uma revolução no mundo científico e industrial (CUI, 2019). A necessidade de analisar quantidades enormes de dados em busca de uma informação pertinente tem afetado diferentes campos e domínios, como economia, astrofísica, biologia e ciências sociais. Para ajudar a lidar melhor com quantidades grandes e complexas de dados, surgiu a área conhecida como Análise Visual (AV) (em inglês *Visual Analytics*) (CUI, 2019).

Análise Visual pode ser entendido como a “ciência de raciocínio analítico apoiado por interfaces visuais interativas” (COOK; THOMAS, 2005). A área busca combinar a inteligência visual humana com técnicas de análise e visualização de dados e ferramentas de interação para melhorar a experiência humana nos processos de captação de informação relevante (KEIM et al., 2008).

Historicamente, o termo *Visual Analytics* foi introduzido por James Thomas em “Illuminating the Path: An R&D Agenda for Visual Analytics” (KEIM et al., 2008)(COOK; THOMAS, 2005). Contudo, uma vez que a área evoluiu dos campos de visualização de informação e análise de dados, suas respectivas histórias e contextos podem ser consideradas no momento de compreender sua evolução como um todo.

Em muitas ocasiões, o conceito de AV é confundido com o termo visualização de dados. Entretanto, assim como mostra a Figura 2.4, análise visual engloba o processo como um todo, desde a extração e tratamento dos dados, até a apresentação ao usuário final, além disso, a área busca promover ao mesmo tempo uma forte interação humana. Já a visualização de dados é mais contida nos estudos de técnicas e ferramentas de apresentação de informação através de interfaces humanas (CUI, 2019).

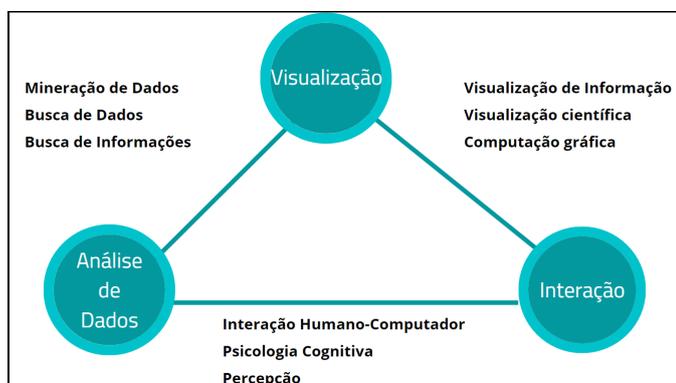


Figura 2.4 Pilares da área de Análise Visual

2.4.1 Processos

Neste quesito, em vários cenários as fontes de dados necessitam de integração antes da aplicação dos métodos de análise e visualização. Por isso, assim como é mostrado na Figura 2.5, o primeiro passo é o pré-processamento e a transformação dos dados para atender diferentes representações e explorações. Nesta etapa, é comum haver limpeza, normalização ou agrupamento dos valores (KEIM et al., 2008).

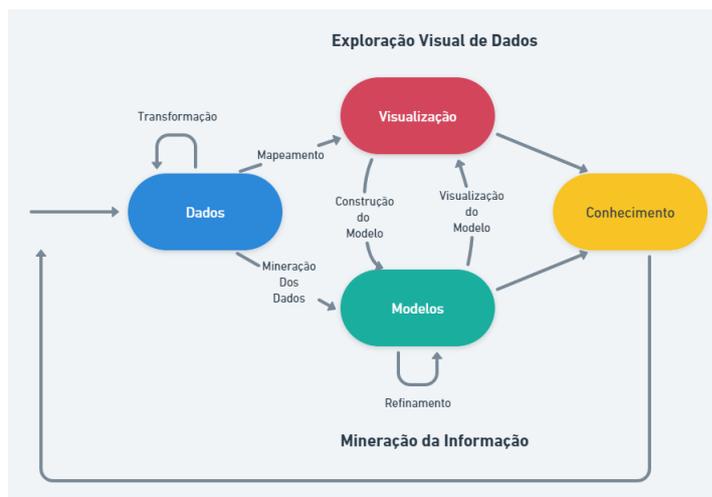


Figura 2.5 Formado do processo de VA

Em seguida, deve ser escolhido entre os diferentes métodos de análise. É possível que a informação buscada seja encontrada já na fase de mapeamento dos dados, embora essa visualização inicial não seja o caso mais comum. A interação do usuário com as visualizações é importante por poder revelar informações úteis. Em contraste com as visualizações tradicionais, os resultados obtidos na etapa de visualização podem ser reutilizados para construção de novos modelos para análises automáticas. De fato, caso não seja necessário, os modelos também podem ser gerados utilizando os dados originais, por meio de métodos de mineração (COMMUNITY, 2023).

Uma vez que os modelos são gerados, é possível interagir com os métodos automáticos por meio de mudança de parâmetros ou seleção de novos algoritmos de análise. A visualização do modelo pode então ser utilizada para verificar os resultados obtidos. Alternar entre os métodos automáticos e visuais é comum na área e leva a refinamentos contínuos e a melhores entendimentos sobre os resultados gerados (COMMUNITY, 2023).

No processo de análise visual, o conhecimento pode ser obtido através de diferentes formas, seja pela visualização, análise automática ou até mesmo interação com modelos e entre o material humano (analistas). Esses passos ocorrem em forma de *loop* e todos os resultados são armazenados de modo que contribuem para análises mais rápidas e precisas no futuro (KEIM et al., 2008).

2.4.2 Aplicações

O campo de Análise Visual, por ajudar tanto na compreensão quanto nos processos de tomada de decisão, pode ser um grande aliado em uma variedade de domínios, especialmente quando é necessário lidar com dados complexos e em grandes quantidades. Nesta seção, são apresentadas algumas áreas onde a Análise Visual pode ser aplicada e também exemplos de projetos disponíveis na literatura.

2.4.2.1 Ciência da Saúde: Quando aplicada à saúde, a análise visual pode oferecer uma série de possibilidades. Com o avanço na medicina, os profissionais da área tem lidado com dados cada vez maiores e isso pode permitir estudos em campos como padrões de prescrição médica, aparecimento de doenças em determinadas épocas e regiões ou até mesmo estudos sobre saúde animal.

Um exemplo é o trabalho de (RAGHUPATHI; RAGHUPATHI, 2018), onde foi analisado o estado das doenças crônicas nos Estados Unidos, utilizando dados do Centro de Controle e Prevenção do país entre os anos de 2012 e 2014. Ao todo, foi obtido um conjunto de 124 indicadores, que passaram por processos de limpeza, transformação e mapeamento de dados. Como resultado, a análise permitiu o estudo de variações generalizadas nas hospitalizações nos estados do país em cinco categorias: Condições de doenças crônicas, saúde comportamental, saúde mental, demografia e condições gerais.

2.4.2.2 Finanças: Outro setor importante para a área é o de Finanças, uma vez que possibilita a utilização de AV tanto para fins domésticos quanto para o mercado financeiro. Algumas possibilidades que se destacam nesse meio são as análises para sugestão de carteiras de investimentos e o estudo do perfil de clientes de bancos. Um desafio importante para o setor é a compreensão dos dados sobre diferentes perspectivas para tentar identificar situações recorrentes (KEIM et al., 2008).

Um exemplo é o trabalho de (BALDO; REGIO; MANSSOUR, 2023), que aborda a importância dos modelos de *Credit Scoring* nas instituições financeiras para prever a inadimplência e tomar decisões de concessão de crédito. Com o aumento do volume de transações de crédito devido ao *open finance*, acaba surgindo o desafio de monitorar esses modelos de forma ágil. O estudo propõe uma abordagem de AV chamada Visual Analytics para o Acompanhamento de Modelos de Credit Scoring (VACS) para a gestão de modelos de crédito. Como resultado, o trabalho conseguiu registrar como os modelos são utilizados nas instituições financeiras, além de obter avaliação positiva por especialistas na área.

2.4.2.3 Tecnologia e Segurança Cibernética: Com a democratização e aumento do acesso à internet, também há o surgimento de novas modalidades de golpes nos meios digitais, e isso torna a AV uma ferramenta interessante para o combate dessas infrações. A aplicação dos conceitos da área pode ser manejada por instituições bancárias, órgãos públicos ou diferentes companhias que trabalham no setor, tanto para identificação de possíveis fraudes quanto desenvolvimento de novas técnicas de segurança.

No trabalho de (YING et al., 2014), é discutido acerca de uma ferramenta desenvolvida para permitir uma melhor análise das informações que fluem através dos *datasets* de

segurança de rede. O software recebe informações como os *logs* do fluxo de rede, dados do *firewall* e o histórico de status do *host*, e, após passar por processos de limpeza, transformação e processamento desses dados, são montadas diferentes visualizações que buscam ajudar a compreender melhor a situação da rede alvo. Outros exemplos de trabalhos no setor são (ANGELINI et al., 2021), (OŠLEJŠEK et al., 2021) e (BURCH et al., 2022)

2.4.3 Desafios

Apesar estar em constante evolução, a AV pode se deparar com diferentes problemas, que em momentos podem surgir à partir das próprias melhorias, ou de fatores externos, pois assim como a sociedade e suas relações, o campo de AV pode gerar novas necessidades e pontos de vista sobre um determinado domínio ou área. Alguns exemplos de problemas técnicos são:

2.4.3.1 Interpretabilidade e Confiança: Compreender e confiar nos dados é um grande desafio na análise visual, pois a qualidade dos dados e métodos utilizados afetam a geração de resultados precisos. Problemas como erros de captura de dados, ruído e valores ausentes devem ser sempre considerados (KEIM et al., 2008).

2.4.3.2 Grandes Fluxos de Dados em Tempo Real: A análise de grandes fluxos de dados em tempo real, como *logs* de sensores, estatísticas da web e dados meteorológicos, é um desafio devido à quantidade massiva de dados envolvida. Isso requer métodos eficazes de compressão e extração de características (KEIM et al., 2008).

2.4.3.3 Escalabilidade: Lidar com grandes conjuntos de dados requer considerações sobre sobrecarga computacional, técnicas de renderização e a capacidade de exibição limitada de pixels em relação ao crescimento contínuo dos dados (KEIM et al., 2008).

2.4.3.4 Contexto dos Dados: A interpretação dos dados muitas vezes depende do contexto em que estão inseridos, o que envolve a pesquisa em semântica e ontologias para capturar associações e relações complexas. A contextualização feita de forma errada, pode enviesar completamente o trabalho, o que também pode diminuir a aceitação da ferramenta por parte do usuário (KEIM et al., 2008).

Em resumo, o campo da Análise Visual enfrenta e enfrentará diferentes desafios durante a produção de ferramentas para o mundo real. Em muitas situações esses desafios podem ser de caráter técnico, de interpretação ou até mesmo de aceitação por parte do usuário, mas ainda assim, oferece oportunidades significativas para lidar com grandes volumes de dados e apoiar a tomada de decisões em diversas áreas.

Portanto, a necessidade de entender técnicas para estudar grandes quantidades de dados e em seguida obter informações pertinentes faz a análise visual ser um conceito chave na criação do EfEMu. Boa parte dos processos da área estão presentes na ferramenta, principalmente no momento de popular a base de dados e fazer validações. Além disso,

alguns pilares da área estão presentes no EfEMu, como a visualização da informação, análise dos dados e a interação entre homem e máquina.

Por fim, é importante lembrar que além de Análise Visual, conceitos como iluminação, eficiência energética e os detalhes sobre as normas públicas brasileiras são fundamentais para a produção deste trabalho. Cada um dos temas é utilizado de forma específica e em diferentes etapas da criação do EfEMu, e, ao serem combinadas, facilitaram a obtenção dos resultados deste trabalho. Mais detalhes sobre o EfEMu e a aplicação dos conceitos no trabalho são apresentados nos Capítulos 3 e 5.

Este capítulo exibe detalhes sobre o desenvolvimento do EfEMu. Aqui são reveladas as telas do sistema, funcionalidades e mais detalhes sobre a implementação.

EFEMU

Como já mencionado, um dos grandes desafios da gestão pública brasileira na aplicação de práticas de Eficiência Energética (EE), especialmente no contexto da iluminação pública, se dá no motivo de não haver muitas informações sobre o estado atual dos parques. Em alguns municípios há o acesso somente a dados como o tipo de lâmpada, potência e localização. Aliado a isso, há também o fato de que muitas das ferramentas disponíveis na indústria são mais voltadas a modelagem 3D e controle de estoque, não focando em identificar possíveis inconformidades e espaços para melhorias no parque.

Pensando nisso, foi desenvolvido o Eficiência Energética Municipal (EfEMu): um software que utiliza as informações de iluminação disponíveis para gerar visualizações do estado atual do município. Através dele, o usuário consegue identificar possíveis inconformidades e extrair recomendações de como diminuir o consumo de energia do ambiente.

Este capítulo faz a apresentação do EfEMu. Aqui, é exibida uma visão geral do sistema, comentando também sobre o fluxo de interação entre os componentes e o usuário. Este capítulo também versa sobre as visões disponíveis, interações possíveis e funcionalidades do sistema.

3.1 VISÃO GERAL

O EfEMu foi desenvolvido com o objetivo de permitir que os gestores visualizem os parques públicos de modo a possibilitar a análise para possíveis melhorias. Além disso, o software é composto por um conjunto de algoritmos que busca identificar os níveis de iluminação e consumo de energia e classificar os dados de acordo com as normas técnicas vigentes.

A Figura 3.1 apresenta o fluxo de interação do usuário com o EfEMu. Tal fluxo é dividido em quatro etapas, detalhadas a seguir.

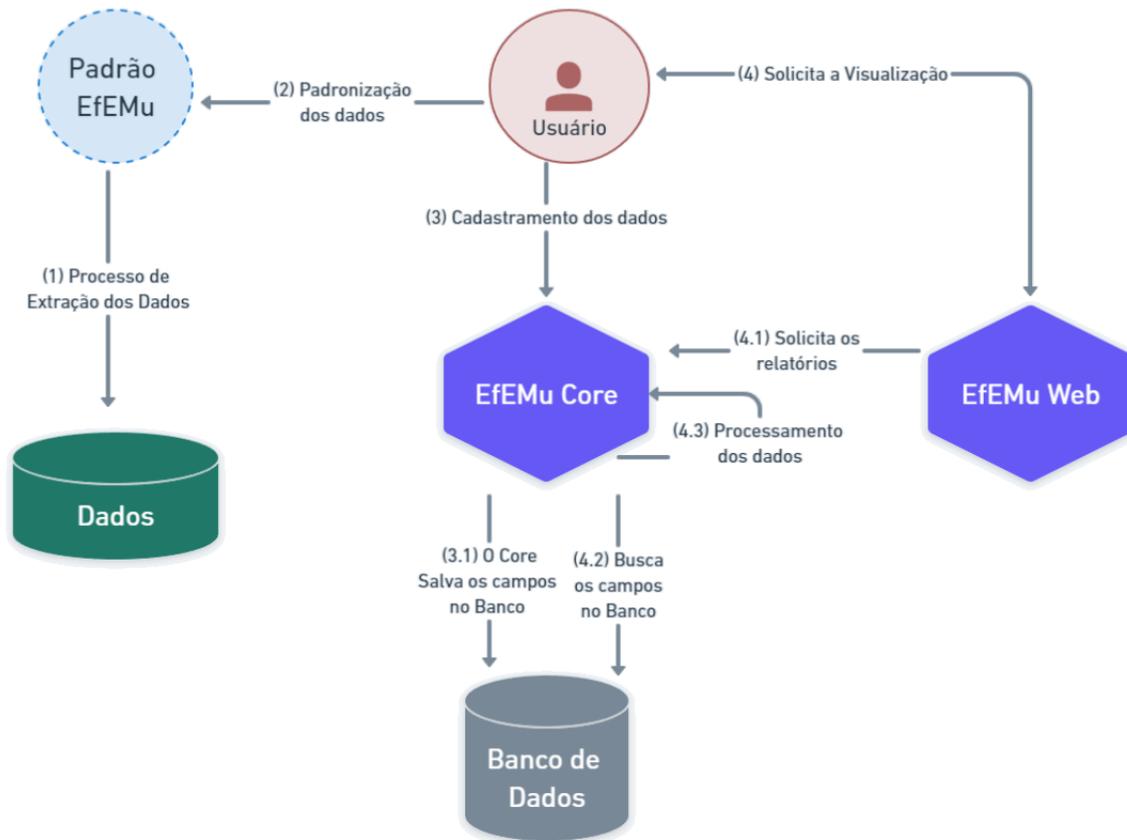


Figura 3.1 Visão geral do EfEMu. Fonte: Autor.

3.1.1 Extração dos Dados

Nesta etapa, o usuário extrai os dados do município diretamente da fonte, buscando informações como tipo de lâmpada, potência, altura, para em seguida prepará-los para a inserção no EfEMu. Esta etapa em específico não faz parte do escopo do EfEMu, uma vez que os dados municipais costumam pertencer às prefeituras ou empresas que atuam na gestão da iluminação local.

3.1.2 Padronização dos Dados

Uma vez em posse dos dados, o usuário precisa fazer a transformação em um formato que seja aceito pelo EfEMu. Esta etapa é feita de forma manual, ainda que haja possibilidades de integração direta com sistemas de gestão de parques de iluminação pública.

O padrão aceito pela ferramenta durante este trabalho é em arquivo *JavaScript Object Notation* (JSON), e os parâmetros a serem inseridos em cada arquivo dependem do dado que o gestor planeja inserir no momento. A Figura 3.2 exhibe um exemplo de formato para o cenário em que o gestor pretende inserir uma lista de pontos de iluminação de uma

determinada via. Aqui, são obtidas informações do poste (latitude, longitude, angulação e altura) e da lâmpada inserida (potência, quantidade de lumens e intensidade luminosa, medida em candelas [cdl]); há também o campo “streetId”, que identifica a via ao qual o ponto está associado. O usuário obtém este campo sempre que cadastra uma nova via no sistema.

```
{
  "points": [
    {
      "latitude": "number",
      "longitude": "number",
      "angle": "number",
      "streetId": "number",
      "power": "number",
      "cdl": "number",
      "lumen": "number",
      "height": "number"
    },
    {
      "latitude": "number",
      "longitude": "number",
      "angle": "number",
      "streetId": "number",
      "power": "number",
      "cdl": "number",
      "lumen": "number",
      "height": "number"
    }
  ]
}
```

Figura 3.2 Exemplo de JSON no padrão do EfEMu. Fonte: Autor.

3.1.3 Cadastramento

À medida que os dados ficam padronizados, é necessário fazer a inserção dos mesmos na ferramenta. O EfEMu disponibiliza uma *Application Programming Interface* (API) para facilitar a inserção dos dados.

A requisição feita pelo usuário é recebida pelo módulo denominado EfEMu Core. Este módulo faz a validação e o processamento das informações, e caso estejam corretas, as mesmas são inseridas no banco de dados.

3.1.4 Visualização

Uma vez que o usuário já inseriu os dados do parque, é possível obter as visualizações que o EfEMu disponibiliza. Para isso, o usuário precisa acessar o módulo EfEMu Web, que é o responsável pelas interfaces visuais do sistema. Ao acessá-lo, o módulo envia uma requisição ao Core, que busca no banco de dados e em seguida realiza os cálculos luminotécnicos e de eficiência energética. Por fim, o Core retorna os campos ao Web, que monta as visualizações para o usuário.

3.2 VISÕES E FUNCIONALIDADES

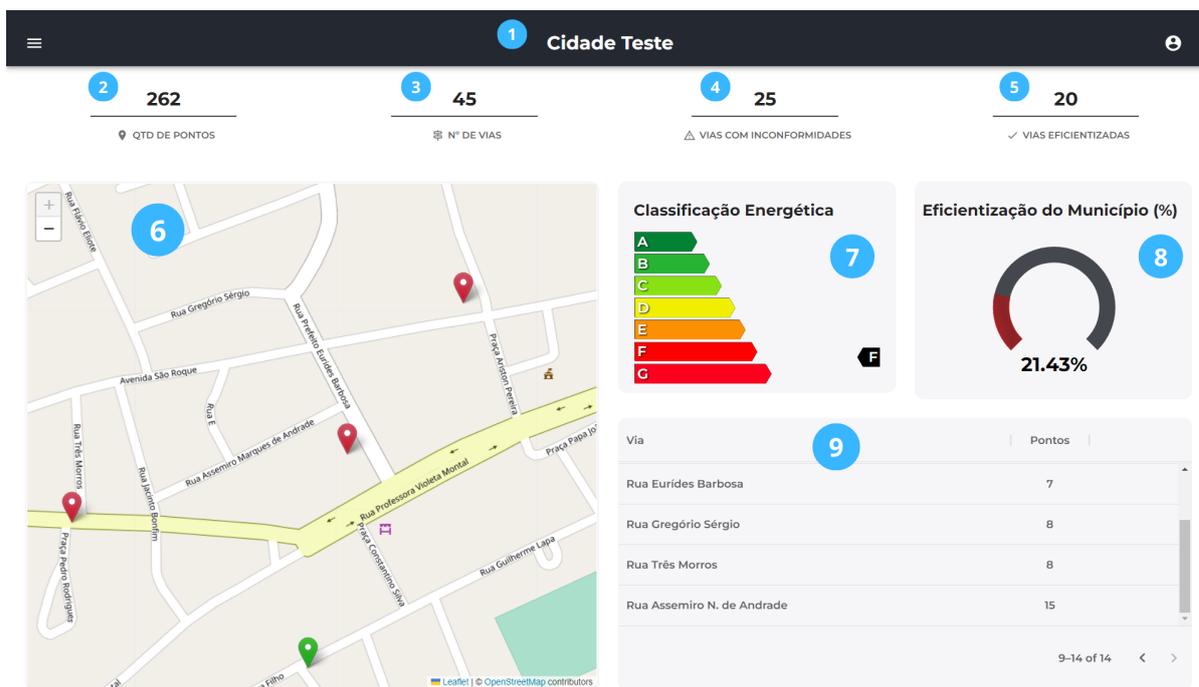
A Figura 3.3 exibe a tela inicial da aplicação. A tela tem como formato base um *dashboard*. Na imagem foram adicionados marcadores para facilitar a identificação de cada parte do sistema. Cada marcador é representado por um círculo numerado de cor azul. No EfEMu, é apresentado no topo centralizado, o nome do município (próximo ao marcador com número 1). Logo abaixo, são apresentadas quatro informações acerca do município analisado: a quantidade total de pontos cadastrados (marcador nº 2); o número total de vias existentes (3); a quantidade de vias que possuem algum tipo de inconformidade (4); e por fim, o número de vias que estão eficientizadas (5).

No meio da tela, é possível encontrar um mapa (número 6). Tal mapa exibe a visão da cidade por inteiro, podendo ampliar ou reduzir o campo de visão utilizando o botão de rolagem do mouse ou ao clicar nos ícones de “+” e “-” presentes no canto superior esquerdo do mapa. É possível encontrar alguns marcadores próprios no mapa, cada um indica a localização de uma determinada via cadastrada e sua coloração varia de acordo com o estado da via. Caso exista alguma inconformidade, o marcador é vermelho, caso contrário, verde. Caso o usuário clique no marcador, é exibido também o nome da rua associada a ele.

Ao lado do mapa é possível encontrar dois indicadores. O primeiro é o de classificação energética do município (7). Ela tem o objetivo de contextualizar a situação geral no local. Para facilitar o entendimento, foi adotado o padrão utilizado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), que classifica produtos em faixas coloridas que variam da mais eficiente (A) à menos eficiente (G). O valor utilizado nessa classificação é o percentual de vias eficientizadas no município. É importante mencionar que a relação entre cada percentual e seus respectivos índices foi definida de forma arbitrária. A classificação e os percentuais relacionados são representadas na tabela 3.1.

Ao lado do indicador de classificação energética, há um gráfico que também representa o percentual de eficientização (8). Nele é exibido o valor exato da eficientização e o gráfico assume uma coloração de acordo com esse valor, indo do vermelho (menos eficiente) ao verde (mais eficiente).

Na região identificada com o marcador número 9, é possível ver a lista de vias cadastradas no sistema. Nessa parte, é exibido o nome e a quantidade de pontos associados a cada via. Ao clicar em um dos locais, o usuário é redirecionado para uma tela com gráficos específicos sobre o mesmo (mais detalhes serão apresentados ainda nessa seção).



Uma alternativa para diminuir o consumo de energia e manter as mesmas configurações de iluminação é a instalação de lâmpadas led equivalentes

No caso deste local, as opções sugeridas são:

10

QTD	Potência	Tipo	Lumens	Led Equivalente(W)	Qtd Lumens Led
70	70	MERCURY	5730	33	6100
35	35	MERCURY	4000	24	4500
32	32	MERCURY	2400	40	3200
70	70	SODIUM	6600	33	6100

1-4 of 4

Figura 3.3 Tela inicial do EfEMu

Classificação	Percentual (P)
A	100 >= P >85
B	85 >= P >70
C	70 >= P >56
D	56 >= P >42
E	42 >= P >28
F	28 >= P >14
G	14 >= P >= 0

Tabela 3.1 Classificação Energética do EfEMu. Fonte: Autor

Na parte inferior da tela, é possível encontrar o módulo de eficiência da ferramenta (10). A ideia do módulo é de sugerir uma troca de lâmpadas de sódio, mercúrio ou outros materiais por lâmpadas LED, de modo a manter os níveis de iluminação do parque o mais próximo possível dos níveis já presentes, mas ao mesmo tempo diminuindo o consumo de energia. Para isso, foi inserido na base de dados do EfEMu um conjunto de informações sobre lâmpadas em geral. Os dados foram obtidos através dos sites dos fabricantes e contêm informações como potência, quantidade de lumens, tipo de lâmpada e curva de distribuição luminosa em candela (cdl).

Com essas informações obtidas, o módulo agrupa todas as lâmpadas cadastradas no município e tenta identificar para cada modelo, qual seria a lâmpada de LED com o nível de iluminação mais próximo. O resultado disso é uma tabela com a quantidade total de cada tipo de lâmpada, suas características e as informações da lâmpada LED mais semelhante.

Na lista de vias cadastradas, é possível clicar no nome da rua. Ao realizar essa interação, o sistema redireciona para a tela de *dashboard* dessa via. A Figura 3.4 exibe a visualização que o usuário tem acesso. Para facilitar a compreensão, também foram adicionados na imagem marcadores numerados com a forma de um círculo azul.

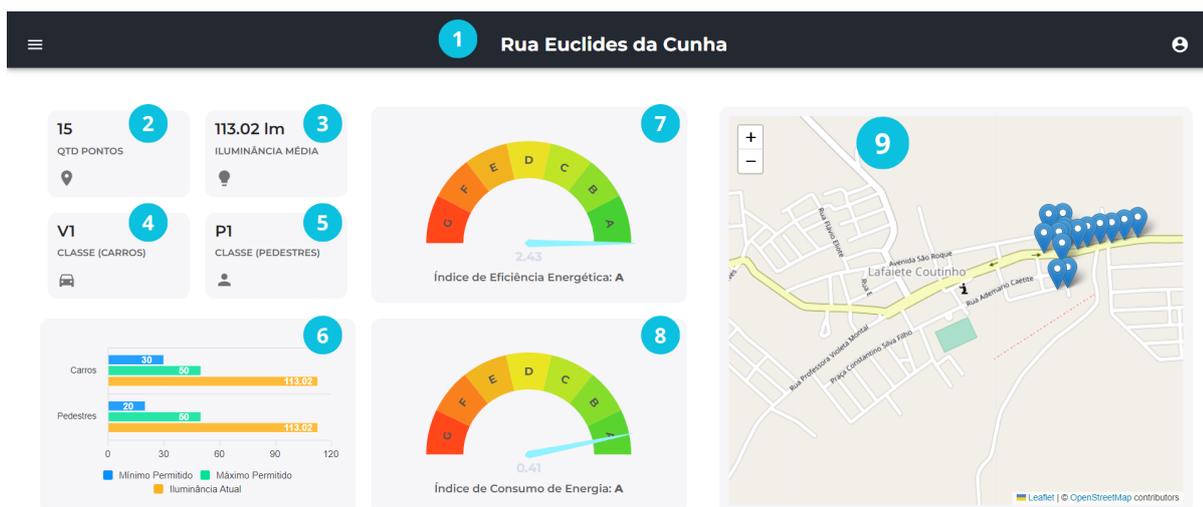


Figura 3.4 Dashboard dos parques

Logo no topo da tela (marcador de número 1), é possível visualizar o nome da via selecionada. Mais abaixo são exibidos quatro indicadores agrupados, eles apontam a quantidade total de pontos associados a rua (2), o nível de iluminância média do local (3) e a classificação da via de acordo com o fluxo de veículos (4) e de pedestres (5). Esta classificação é baseada no valor da iluminância média e foi melhor explicada na Seção 2 e nas Tabelas 2.1 e 2.2.

Abaixo dos quatro indicadores, é possível encontrar um gráfico de barras (6). Ele tem como objetivo indicar o quão dentro das normas está o nível de iluminância da via.

Para isso, é utilizada a tabela de classificação da via por fluxo de veículos e pedestres e o índice obtido pela via. No gráfico, a barra de coloração azul representa o valor mínimo da iluminância para aquela classe, e a barra verde aponta o valor máximo. Já a barra amarela exibe o nível atual da iluminância média do local.

Ao lado do gráfico de barras, são exibidos mais dois gráficos, dessa vez em formato de velocímetro. Eles representam os índices de eficiência energética (IEE) e de consumo de energia (ICE), identificados na figura com os marcadores números 7 e 8, respectivamente. Ambos foram desenvolvidos pelo Ministério da Indústria, Turismo e Comércio da Espanha (INDUSTRIA, 2008) com o objetivo de facilitar o entendimento sobre o consumo de energia e também foram explicados no Capítulo 2. A escolha pelos indicadores internacionais se deu pelo fato de não ter sido encontrado nenhum equivalente no Brasil durante a pesquisa bibliográfica deste trabalho, e para melhorar a experiência do usuário e facilitar a compreensão, foi adotado em ambos os gráficos o mesmo esquema de cores da classificação energética, que é exibida no *dashboard* da tela inicial do EfEMu, onde a melhor classificação apresenta coloração verde e a pior, vermelha.

Mais à direita da tela, é apresentado um mapa (9). Nele, é exibida uma visão da via em específico. No mapa são encontrados alguns marcadores. Cada marcador representa um ponto de iluminação que está associado a rua e é destacado na cor azul. Assim como o mapa da tela inicial, o usuário consegue ampliar ou reduzir o ângulo de visão utilizando o botão de rolagem do mouse ou clicando nos botões de “+” ou “-” no canto superior esquerdo.

3.3 DETALHES DE IMPLEMENTAÇÃO

Para a criação do EfEMu, foram desenvolvidos dois subsistemas: Efemu-core e Efemu-web. Ambos funcionam de forma independente, podendo se conectar com qualquer outro software que implemente suas regras e interfaces. Contudo, é recomendado a utilização dos dois módulos em conjunto, uma vez que não há no momento da produção deste trabalho, uma alternativa que faça as implementações mencionadas.

3.3.1 Efemu-core

O Efemu-core é o sistema responsável por todos os processamentos da aplicação. Nele, são definidos os campos de iluminância, índices de eficiência energética e qualquer outra operação que permita gerir o EfEMu.

O core foi desenvolvido sob o formato de API Restful e, estruturalmente, segue um padrão baseado na arquitetura *Model-View-Controller* (MVC), que separa os conceitos em camadas que são interconectadas. Conceitualmente, o MVC utiliza três principais módulos (*Model*, *View* e *Controller*), mas no core, não há o componente que representa a *View*, uma vez que essa ação de interagir com os usuários é realizada pelo EfEMu Web. Além disso, o sistema utiliza dois módulos a mais, que são importantes para manter o formato de API, assim como é exibido na Figura 3.5.

O módulo App é responsável pela inicialização da ferramenta e por configurações gerais, como a definição de portas da aplicação, endereçamento do banco de dados, dados

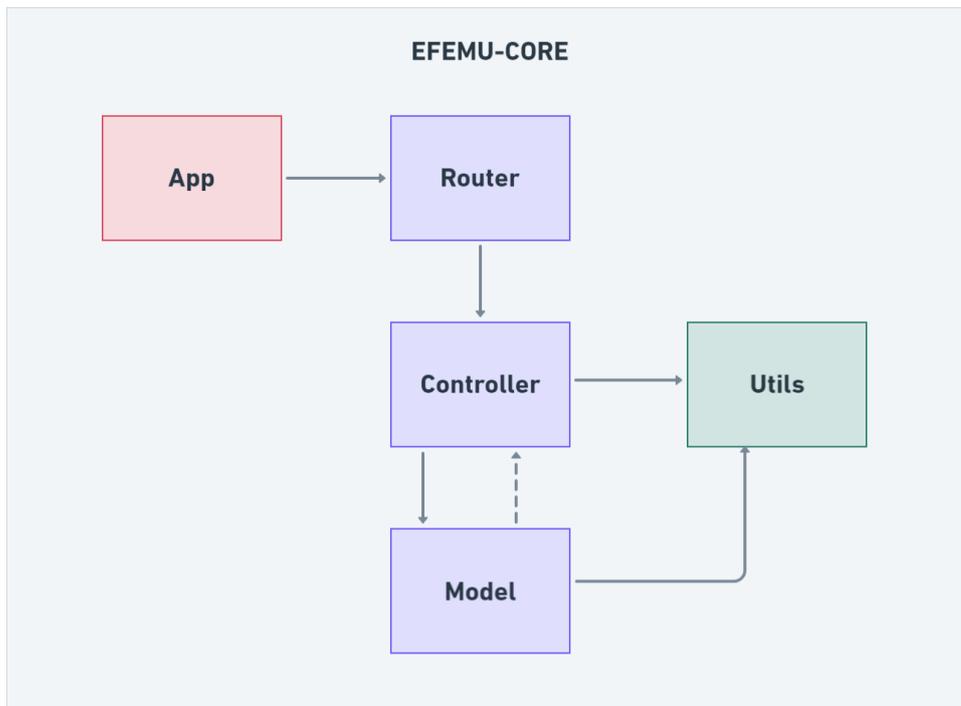


Figura 3.5 Arquitetura básica do Efemu-core. Fonte: Autor

de autenticação e outros utilitários. Além disso, o App é responsável por permitir que o Router funcione corretamente.

Router pode ser entendido como o ponto de contato entre as funcionalidades do Efemu-core e a ferramenta cliente. Nele, são disponibilizados *endpoints* com funções e estruturas específicas, sempre no formato *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP), que trabalham conectando o serviço ao usuário. Ao ser requisitado, o Router faz uma chamada referenciada no Controller associado a ele, que faz o processamento posterior dos dados.

Controller é o componente responsável pela intermediação e gestão das requisições do sistema. O módulo é invocado pelo Router e tem como responsabilidade validar os campos e repassar para os módulos necessários, sendo geralmente o Model o componente alvo.

Model é o componente núcleo da ferramenta. O mesmo é responsável por gerenciar e controlar a forma como os dados se comportam por meio das funções, lógica e regras de negócios. O meio como isso é feito varia de acordo com o tipo de operação necessária, e pode envolver acesso à banco de dados, chamadas à serviços de terceiros ou também a geração de informações internamente na ferramenta.

Por fim, há também o módulo Utils. Nele, são reunidos conjuntos de funcionalidades para necessidades específicas, como formatação de caracteres, validação de e-mail ou ordenação de parâmetros.

Para o desenvolvimento do sistema, foram utilizadas as seguintes tecnologias:

- **Node.js:** É um software para construção e execução de código baseado no interpretador V8 do Google, que permite aos desenvolvedores executar código JavaScript

no lado do servidor. Uma das principais características do Node.js é possuir uma arquitetura assíncrona e orientada por eventos ([FOUNDATION, 2024](#));

- **Javascript:** Linguagem de programação que permite criar componentes complexos e conteúdo web dinâmico. Inicialmente criada para páginas da web, a linguagem se tornou capaz de trabalhar também em aplicações ao lado do servidor (por meio de ambientes como o Node.js) ([MOZILLA, 2024](#));
- **Express:** *Framework* web para aplicações Node. Possui uma série de recursos que facilitam o desenvolvimento de API's, como roteamento, adição de *middlewares* e manipulação de requisições HTTP ([EXPRESS, 2024](#));
- **MySQL:** sistema de gerenciamento de banco de dados relacional de código aberto. Utiliza a linguagem *Structured Query Language* (SQL) para consultar e manipular dados em suas tabelas ([ORACLE, 2024](#));
- **Sequelize:** É um *Object-relational Mapping* (ORM) para Node.js, que permite aos desenvolvedores interagir com bancos de dados relacionais usando JavaScript. Tem suporte a vários bancos de dados, como MySQL, PostgreSQL, SQLite e MSSQL ([SEQUELIZE, 2024](#));
- **Bcrypt:** Biblioteca utilizada para facilitar a criptografia de dados sensíveis, como senhas, documentos e outros identificadores ([HALE, 2010](#)).

3.3.2 Efemu-web

O Efemu-web é o sistema responsável por todas as interfaces visuais do projeto. Por meio dele, são feitas todas as interações com os usuários e exibidos os indicadores dos municípios e informações luminotécnicas calculadas. De forma resumida, o Efemu-web pode ser entendido como o elo entre o usuário e as funcionalidades do core.

Em nível estrutural, o Efemu-web foi projetado com uma arquitetura baseada em camadas, que foram divididas seguindo uma filosofia denominada *Domain Driven Design* (DDD). Este conceito independe da linguagem de programação utilizada e foi projetado para lidar com a criação e manutenção de softwares escritos com regras complexas nos seus domínios ([EVANS; SZPOTON, 2015](#)).

Como é exibido na Figura 3.6, o projeto foi desenvolvido em torno de quatro camadas: A camada de apresentação contém os elementos visuais da aplicação. Aqui são contidas as páginas e todos os seus respectivos componentes. Nesta parte, os componentes são projetados de modo que não possuem dependências de outras partes da aplicação e podem ser reutilizados em diferentes telas.

A camada de infraestrutura é responsável por acessar serviços externos, como sistemas de envio de e-mail, bancos de dados ou fazer chamadas de API. Aqui são contidos todos os arquivos de configurações e implementações que de algum modo fazem comunicação com serviços alheios ao EfEMu. No caso específico deste projeto, essa camada faz apenas requisições HTTP para o Efemu-core, para obter dados dos municípios.

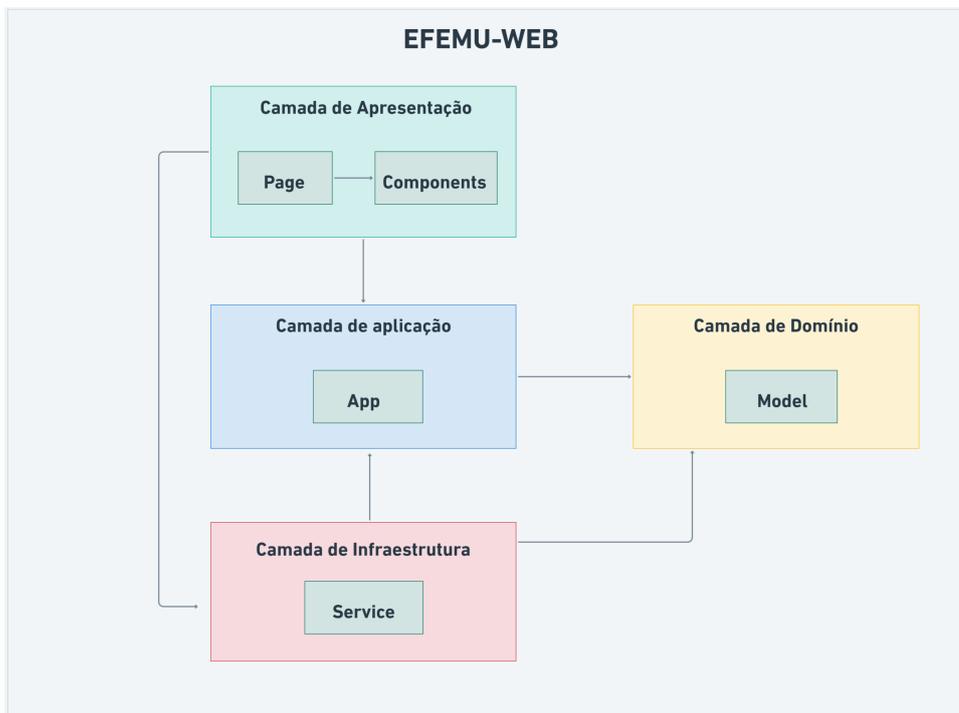


Figura 3.6 Arquitetura básica do efemu-web. Fonte: Autor

A camada de domínio pode ser entendida como o núcleo da aplicação. Nela são implementadas todas as entidades, interfaces, modelos ou qualquer outro objeto relacionado às regras de negócio do sistema. Uma vez que esse elemento está diretamente ligado ao domínio da aplicação, o código implementado aqui não pode ser ligado a *frameworks* ou bibliotecas externas, de modo a não ocorrer nenhum nível de dependência para com essas tecnologias.

Por fim, há também a camada de aplicação. Essa parte é responsável por coordenar a execução das tarefas e fazer delegações para os objetos responsáveis. Aqui são contidos arquivos para configurações no projeto e códigos que podem acessar outras camadas.

Para o desenvolvimento deste sistema, foram utilizadas diferentes tecnologias. Dentre elas, destacam-se:

- **React.Js:** Biblioteca JavaScript de código aberto utilizada para construir interfaces de usuário. Criada pelo Facebook, permite aos desenvolvedores criar componentes reutilizáveis que facilitam o desenvolvimento e a manutenção de projetos web (FACEBOOK, 2024);
- **NextJS:** *Framework* para React utilizado para construir aplicações web de forma rápida e escalável. Possibilita funcionalidades como renderização de componentes no servidor e geração de sites estáticos (VERCEL, 2024);
- **Typescript:** *Superset* da linguagem Javascript que adiciona novos recursos à mesma. Internamente, todo código Typescript é posteriormente convertido para

Javascript. Contudo, algumas funcionalidades na ferramenta facilitam a escrita de código mais robusto ([MICROSOFT, 2024](#));

- **Redux:** Biblioteca utilizada para facilitar o gerenciamento de estados em aplicações web. Permite centralizar as informações e facilita o compartilhamento de dados entre múltiplos componentes ([ABRAMOV, 2024](#));
- **Leaflet:** Biblioteca de código aberto utilizada para criação de mapas interativos ([AGAFONKIN, 2024](#));
- **Material UI:** Biblioteca baseada em React que oferece uma série de componentes visuais implementados utilizando o padrão Material Design, desenvolvido pela Google. Nela são desenvolvidos ícones, tabelas, menus e vários outros tipos de elementos gráficos ([MUI, 2024](#)).

O EfEMu pode ser entendido como um produto em estágio de *Minimum Viable Product* (MVP), uma vez que durante a produção deste trabalho, ainda não foi disponibilizado publicamente. Contudo, é possível considerá-lo um sistema promissor no que compete as ferramentas de auxílio à gestão da iluminação pública, uma vez que o EfEMu já possui arquiteturas bem definidas e consegue realizar validações importantes sem apresentar problemas estruturais de grande relevância. Mais detalhes sobre as validações do EfEMu são apresentadas no Capítulo 5.

Neste capítulo são apresentados trabalhos acadêmicos e ferramentas disponíveis na indústria que buscam ajudar o gerenciamento da iluminação pública, exibindo também suas semelhanças e diferenças com o EfEMu

EFEMU X FERRAMENTAS RELACIONADAS

Devido aos investimentos em pesquisas e aos avanços tecnológicos na área de Eficiência Energética, se tornou possível encontrar ferramentas que auxiliam a gestão dos parques de IP. Parte dessas ferramentas permitem que o usuário tenha controle do estoque da cidade, visualize os pontos de iluminação, controle as equipes de campo, emita relatórios e outras possibilidades. Contudo, esses sistemas são carentes de funcionalidades que ativamente auxiliem o processo de tomada de decisões, ou facilitem compreender a situação do município do ponto de vista do consumo de energia, especialmente considerando o parque por inteiro. É possível categorizar essas ferramentas de acordo com o tipo de auxílio que as mesmas propõe-se a fazer. Algumas buscam auxiliar na gestão geral da iluminação, enquanto outras são focadas na projeção luminotécnica dos espaços. Neste capítulo, são apresentados sistemas dessas duas categorias nas seções 4.1 e 4.2, enquanto que a seção 4.3 apresenta trabalhos no âmbito acadêmico que de alguma forma buscam diminuir o consumo de energia dos parques de iluminação.

4.1 SISTEMAS DE GESTÃO DO PARQUE DE ILUMINAÇÃO

Nesta seção, são apresentados alguns softwares que buscam apoiar a gestão da iluminação pública.

4.1.1 Cidade Iluminada (CI)

A plataforma desenvolvida pela companhia Exati Tecnologia permite ao gestor visualizar todos os pontos da cidade de forma georreferenciada, facilitando o acesso e organização dos mesmos. Ademais, por meio do software é possível gerenciar as ordens de serviços relativas a manutenção ou instalação de pontos, que podem ser geradas por atendentes da companhia ou pelos próprios munícipes, via aplicativo móvel disponível para as plataformas Android e IOS. A ferramenta ainda permite que os gestores visualizem por meio de

relatórios o desempenho das equipes de campo, os materiais disponíveis, itens instalados e outros dados (TECNOLOGIA, 2021). Segundo a empresa que desenvolveu o Cidade Iluminada, no momento da produção deste trabalho, a ferramenta se encontrava presente em mais de 600 municípios e gerencia mais de 4 milhões de pontos de iluminação ao todo (TECNOLOGIA, 2021) (MERCANTIL, 2021) (NOVAIS et al., 2022).

Apesar das diversas características mencionadas, o Cidade Iluminada apresenta lacunas em funcionalidades capazes de impactar diretamente na eficiência dos parques públicos, sobretudo quando se trata de planejamento urbano ou reestruturação dos espaços. Nessas circunstâncias específicas, e tendo em vista que o objetivo da ferramenta é auxiliar de forma geral a gestão municipal, é notado que para os objetivos do EfEMu, a aplicação do CI se destaca mais como um instrumento para consulta de dados, uma vez que abriga grandes quantidades de informações dos inventários municipais.

4.1.2 Gisworks

Gisworks é um software desenvolvido pela empresa Unidesk com objetivo de fornecer um gerenciamento facilitado da iluminação pública. Segundo a empresa, durante a produção deste trabalho, a ferramenta é utilizada por mais de 300 municípios e gerencia mais de três milhões de postes. A plataforma é composta por três módulos que juntos permitem o cadastro georreferenciado de postes, controle de estoque, emissão de ordens de serviço, acompanhamento de equipes de campo e geração de relatórios gerenciais e mapas temáticos (CONSULTORIA, 2019).

O primeiro módulo da ferramenta é o de inventário. Nele, as equipes de campo podem apontar os dados colhidos nos pontos, como tipo de poste, lâmpada, potência e outros dados. Este módulo é disponibilizado na forma de aplicativo para celulares Android e IOS (CONSULTORIA, 2019).

Há também o módulo das equipes de campo. Neste, as equipes podem acompanhar as ordens de serviço disponíveis, fazer rondas, anotações e inspeções de obras e outros projetos, sem a necessidade de utilizar papéis ou mapas auxiliares. Assim como o módulo de inventário, este é disponibilizado em forma de aplicativo para celulares (CONSULTORIA, 2019).

Por fim, há o módulo de correções e ajustes. Neste, é feita a gestão geral da iluminação. É possível gerar relatórios periódicos sobre diferentes tipos de indicadores, sobre inventário, equipes, prestadores, obras e outros. Além disso, é possível gerar uma visualização georreferenciada de todos os postes associados ao município. Diferentemente dos outros módulos, este é disponibilizado apenas via navegador Web.

Assim como o Cidade Iluminada, o GisWorks carece de funcionalidades voltadas a práticas de eficiência energética. Uma vez que o propósito da ferramenta é mais voltado a melhoria da gestão como um todo, e também no atendimento a população comum, no cenário de auxílio a EE, o Gisworks seria melhor aproveitado como fonte de dados para análises dos parques.

Característica	EfEMu	Cidade Ilum.	Sipub	Gis Works
Gera relatórios	Sim	Sim	Sim	Sim
Tem georreferenciamento	Sim	Sim	Sim	Sim
Permite abrir chamados	Não	Sim	Sim	Sim
Analisa consumo de energia	Sim	Não	Não	Não
Recomenda melhorias	Sim	Não	Não	Não
Plataforma	Web	Mobile	Mobile	Web+Mobile

Tabela 4.1 Tabela comparativa entre o EfEMu e ferramentas de gestão. Fonte: Autor

4.1.3 Sipub

O Sipub, desenvolvido pela empresa Facilita.tech, é uma ferramenta destinada a auxiliar os gestores municipais no controle dos pontos de iluminação. Presente em estados como Bahia, Minas Gerais e Espírito Santo, oferece uma gama de funcionalidades, incluindo o gerenciamento de estoque, controle de ativos urbanos, gestão de ordens de serviço e inserção de novos postes (FACILITA.TECH, 2022) (NOVAIS et al., 2022).

Adicionalmente, conta com um módulo para geração de relatórios detalhados sobre os atendimentos e pontos de iluminação em geral. Os atendimentos no Sipub são registrados por meio de um aplicativo móvel denominado SipuB Iluminação Fácil Cidadão, disponível nas plataformas Android e IOS nas lojas de aplicativos (FACILITA.TECH, 2022) (NOVAIS et al., 2022).

A Facilita.Tech também oferece outro aplicativo, o SipuB Iluminação Fácil Cadastramento, exclusivo para gestores e funcionários envolvidos no cadastramento dos ativos municipais, este disponível apenas para celulares Android (FACILITA.TECH, 2022).

No entanto, assim como nas plataformas mencionadas anteriormente, não foram identificadas características voltadas para práticas de eficiência energética. Esta lacuna parece ser comum em ferramentas focadas na gestão global dos pontos de iluminação. Assim como as outras ferramentas, o Sipub pode ser considerado uma opção interessante como base de dados da iluminação pública.

É possível notar que as três ferramentas destacam-se por apresentarem similaridades em sua funcionalidade. Elementos como o controle de estoque, a análise de dados e a gestão da manutenção são essenciais para o sucesso de aplicações desse tipo. No entanto, apesar dessas semelhanças fundamentais, existem nuances sutis que diferenciam uma ferramenta da outra, como a arquitetura dos aplicativos e a forma como cada uma é apresentada ao usuário, seja via aplicativo mobile ou navegador web. A Tabela 4.1 faz um comparativo entre as ferramentas e o EfEMu.

Como foi possível notar, há similaridades do EfEMu com as ferramentas comparadas apenas em funcionalidades básicas, como georreferenciamento. Uma vez que os objetivos principais dos sistemas é diferente, pode-se dizer que as diferenças eram esperadas. No entanto, a utilização do EfEMu em conjunto com os softwares citados pode ser uma opção interessante para aumentar o poder de ação dos municípios.

Além dos sistemas citados nesta seção, há outras soluções disponíveis no mercado com o mesmo objetivo de auxiliar a gestão municipal. Destacam-se o Soma Sig, do Instituto

Soma (SOMA, 2016), Sig Iluminação Pública, da Multisig (MULTISIG, 2022) e também o IPCadastro e SoftLuz, ambos desenvolvidos pela empresa FastSoft (SOLUÇÕES, 2016). Esses sistemas apresentam funcionalidades semelhantes as apresentadas posteriormente, como gestão patrimonial e abertura de chamados, e também não oferecem características que de forma ativa apontem melhorias do ponto de vista da eficiência energética.

4.2 SISTEMAS DE PROJETO DO PARQUE DE ILUMINAÇÃO

As subseções a seguir apresentam ferramentas de apoio ao projeto de um parque de iluminação.

4.2.1 Dialux

O Dialux é um software de design de iluminação utilizado principalmente por profissionais da área de arquitetura e engenharia elétrica para simular e planejar sistemas de iluminação em espaços internos e externos. Ele permite aos usuários calcular a distribuição da luz, o nível de iluminância, o contraste, as sombras e outros aspectos relacionados à iluminação (LANCELLE, 2018).

Segundo a Dial, empresa criadora do Dialux, a ferramenta é disponibilizada em mais de 26 idiomas e recebe apoio de mais de 100 fábricas de luminárias por todo o mundo. O Dialux, desenvolvido em 1994 pode ser considerado referência em simulação computacional, permitindo projetar os ambientes internos e externos com visualizações 2D e 3D (LANCELLE, 2018).

Com o Dialux, os usuários podem criar layouts de vias, praças ou até edifícios inteiros, podendo adicionar simulações precisas de iluminação natural, artificial ou simultânea, escolhendo diferentes tipos de luminárias e fontes de luz, ajustando parâmetros como intensidade luminosa e temperatura de cor e visualizando os resultados em formatos como renderizações 3D e relatórios técnicos. Isso é útil para garantir que os espaços sejam adequadamente iluminados de acordo com os requisitos de segurança, conforto e estética (CRÍZEL, 2019) (NOVAIS et al., 2022).

O software é amplamente utilizado na indústria de design de iluminação devido à sua interface intuitiva, ferramentas avançadas de análise e capacidade de integração com dados fotométricos de luminárias de fabricantes das peças. O Dialux era inicialmente disponibilizado sobre o nome Dialux 4, porém, em 2012 o mesmo foi descontinuado e foi desenvolvido o Dialux Evo, que busca melhorar a experiência com a versão antecessor e adicionar novas funcionalidades (CRÍZEL, 2019).

Em comparação com o EfEMu, a principal desvantagem do Dialux acontece no momento de analisar áreas maiores. O fato de precisar modelar o ambiente para fazer as simulações pode tornar os planejamentos bem mais demorados e complexos, especialmente quando a área alvo é um bairro, distrito ou um município inteiro. Devidor a isso, a ferramenta é melhor recomendada pra projetos em espaços menores e específicos, como residências, vias ou praças.

4.2.2 AGI32

AGI32 é um software projetado para atender profissionais que trabalham no campo do design de iluminação. A ferramenta criada em 1985 pela Lighting Analysts, Inc. é pioneira no ramo de design ponto-a-ponto e projeção de iluminação e serve de base para diversos projetos luminotécnicos, mesmo sendo mais focado na elaboração de cálculos para previsões fotométricas e índices de luminâncias de ambientes (NOVAIS et al., 2022) (CRÍZEL, 2019).

Um aspecto importante do AGI32 é sua precisão dos cálculos fotométricos. A ferramenta consegue auxiliar na validação e adesão aos diferentes critérios e normas de iluminação e também calcular a radiosidade tanto em luz elétrica quanto iluminação natural. Além disso, a ferramenta é capaz de modelar uma variedade de fontes de luz, materiais de superfície e condições ambientais. Isso permite aos usuários criar cenários virtuais mais realistas e prever como a luz se comportará em um determinado espaço (NOVAIS et al., 2022) (CRÍZEL, 2019).

O AGI32 apresenta muitos recursos semelhantes ao Dialux, como a possibilidade de simular diferentes fontes de iluminação, cálculos luminotécnicos e gerar projeções em 2D e 3D. Essas características aparentam serem comuns em softwares voltados para esse objetivo, mesmo que as apresentem em níveis de qualidade diferentes. Além do mais, assim como foi notado no Dialux, o AGI32 pode não ser muito interessante em análises de áreas maiores, como bairros ou municípios inteiros, uma vez que o processo de modelar a região inteira é demorado e complexo.

4.2.3 Relux

Relux é um software de design de iluminação usado principalmente na indústria de arquitetura e engenharia. Ele permite aos usuários simular e projetar sistemas de iluminação para espaços internos e externos. Segundo a companhia desenvolvedora do software, o Relux é disponibilizado em 26 idiomas e recebe suporte de cerca de 100 fábricas parceiras. (LANCELLE, 2018).

O software oferece uma variedade de ferramentas e recursos para ajudar os profissionais a criar projetos de iluminação. Isso inclui a capacidade de modelar diferentes tipos de luminárias, escolher fontes de luz naturais e artificiais, definir parâmetros de iluminação específicos e realizar análises fotométricas detalhadas. Além disso, a ferramenta possibilita uma série de cálculos luminotécnicos e de eficiência energética para permitir um maior detalhamento sobre os projetos.

Um detalhe importante no Relux que o diferencia do AGI32 e do Dialux se dá na possibilidade de integração com softwares de modelagem voltados para arquitetura, como o AutoCAD e Revit. Por meio de um conjunto de extensões(ou *plugins*) instaladas à parte, o usuário consegue habilitar funcionalidades específicas do Relux em softwares voltados para design de construção. É válido mencionar que apesar do Relux ser disponibilizado gratuitamente, cada extensão possui um valor específico de venda.

Outro ponto que pode ser destacado no Relux é que o software conta com suporte a diferentes normas técnicas, de países distintos. Esse detalhe permite que o usuário consiga desenvolver projetos mais próximos da realidade de uma determinada região (CRÍZEL,

Característica	EfEMu	Dialux	AGI32	Relux
Analisa consumo de energia	Sim	Sim	Sim	Sim
Analisa níveis de iluminação	Sim	Sim	Sim	Sim
Faz projeções 2D/3D	Não	Sim	Sim	Sim
Recomenda trocas na iluminação	Sim	Não	Não	Não
Compatível com normas brasileiras	Sim	Não	Não	Sim
Plataforma	WEB	Desktop	Desktop	Desktop

Tabela 4.2 Tabela comparativa do EfEMu com softwares de modelagem Dialux, AGI32 e Relux. Fonte: Autor

2019).

Assim como o AGI32 e o Dialux, o Relux é uma opção interessante para modelagens de ambientes específicos. Contudo, o fato de precisar modelar cada espaço para poder realizar análises, faz com que os estudos sejam mais complexos e demorados em cenários onde é necessário observar uma região maior, como um município inteiro. Na Tabela 4.2 é apresentado um breve comparativo entre as três ferramentas e o EfEMu.

Como foi possível reparar, assim como na comparação com os sistemas de apoio à gestão, há similaridades do EfEMu com as ferramentas luminotécnicas em pontos básicos, como a presença de cálculos sobre iluminação e consumo de energia. Uma vez que os objetivos dos sistemas não é exatamente o mesmo, pode-se dizer que as diferenças também eram esperadas.

Além dos sistemas mencionados anteriormente, há no mercado outros softwares voltados para projetos de design de iluminação. Pode-se destacar o Calculux, da Philips Lighting Design, o Radiance, desenvolvido por Greg Ward e disponibilizado de forma *open source*, Visual 3D, da Acuity Brands Lighting, e por fim o Light Calc, da Enviro-Systems e desenvolvido por Michael de Luca (ROSSI, 2023).

4.3 TRABALHOS CORRELATOS

O trabalho de (GÓMEZ-LORENTE et al., 2013) discorre sobre o desenvolvimento de um algoritmo genético batizado de NSGA-II, que visa melhorar a distribuição dos postes de iluminação nas estradas de modo a melhorar a qualidade da iluminação e tornar as instalações mais eficientes energeticamente. Inicialmente, o algoritmo recebe parâmetros da via, como comprimento, classe de iluminação, níveis de iluminância e forma como são distribuídos os postes. Com esses dados, é então feita uma série de cálculos e então o algoritmo recomenda a melhor combinação. Como forma de validar a solução, os autores selecionaram uma estrada e testaram cenários onde os postes seriam distribuídos de três formas diferentes: todos em um mesmo lado da via; postes dos dois lados da via, mas não posicionados paralelamente e, por fim, postes dos dois lados da via posicionados paralelamente. Em seguida, foram utilizados os mesmos parâmetros na ferramenta Dialux, que definiu um outro posicionamento para os postes, que em comparação com o algoritmo dos autores, obteve níveis de iluminância de uniformidade bem similares. Contudo, devido a limitações de funcionalidades no Dialux, não foi possível fazer comparações sobre a

eficiência energética das instalações recomendadas.

No projeto conduzido por (ROCHA et al., 2016), um software foi elaborado com o propósito de aprimorar a qualidade da iluminação e otimizar o consumo de energia. Para alcançar esse objetivo, foi projetado um *cluster* de computadores integrando um cliente Java e um sistema que emprega algoritmos evolutivos para determinar o posicionamento ideal dos postes. O usuário da ferramenta fornece dados como altura dos postes, tipos de lâmpadas a serem utilizadas, nível desejado de iluminação e a planta do local a ser iluminado. Além disso, é possível indicar áreas onde não se deseja a instalação de pontos de iluminação. Com base nessas informações, o software executa o algoritmo e produz uma representação visual indicando a melhor localização para cada ponto de luz. Para validar a eficácia da ferramenta, o autor comparou os resultados obtidos pelo algoritmo com um modelo de referência fornecido por um especialista da área. Os resultados demonstraram uma redução de 37,5% no consumo de energia e um aumento de 227,3% na uniformidade da iluminação (NOVAIS et al., 2022).

Em (MOUAADH; BOUSMAHA; MHAMED, 2022) é apresentado um sistema de lâmpadas inteligentes que buscam reduzir o consumo de energia sem comprometer a segurança dos pedestres e a qualidade da iluminação. Para tal, foi desenvolvido uma unidade controladora com sensores de proximidade, que detectam a presença de pedestres e ajustam os níveis de iluminação das lâmpadas de acordo com o fluxo de pessoas. Inicialmente, as lâmpadas ficam desligadas durante o dia e, à noite, quando não há nenhum movimento próximo, operam com 30% de suas capacidades, e ao detectar algum pedestre, alteram a iluminação para 100%. Como forma de avaliar a eficácia da solução, foi montado um cenário com 9 lâmpadas em uma via em observação por 5 dias consecutivos. Como resultado, houve uma redução no consumo de energia de mais de 50%.

O trabalho de (SHINTABELLA; ABDULLAH; HAKIM, 2021) foca na criação de um algoritmo genético para otimizar a disposição dos pontos de luz, permitindo a reformulação dos espaços. O algoritmo considera vários fatores, como a largura das ruas, a altura dos postes, a potência das lâmpadas e os requisitos técnicos específicos da Indonésia. Para validar a eficácia da solução, os pesquisadores escolheram uma estrada em Bandung, Indonésia, como caso de estudo. Eles simularam as condições da via e a posição dos postes, e então executaram o algoritmo em um ambiente MATLAB, conhecido por ter capacidade de processar cálculos complexos com eficiência. Os resultados foram então transferidos para o software Dialux. Como resposta, foi notada uma redução de 32% no consumo de energia e 70% nos custos ao longo de um ano. Contudo, é importante observar que, embora a iluminação média tenha atendido ao padrão, a distribuição de luz não alcançou completamente os critérios da norma técnica regional (SNI 7391: 2008) (NASIONAL, 2023).

Uma comparação entre o EfEMu e os trabalhos mencionados acima pode não ser exatamente relevante, uma vez que diferente das outras ferramentas apresentadas neste capítulo, estes trabalhos estão em nível de algoritmo apenas, não chegando a um produto pronto para uso. Contudo, a integração desses algoritmos com o EfEMu posteriormente pode ser considerada uma opção interessante, pois aumentaria o leque de possibilidades de melhorias ofertadas aos municípios.

Este capítulo versa sobre as avaliações realizadas no EfEMu com o objetivo de explorar o funcionamento da ferramenta e identificar possíveis melhorias.

AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL

Como forma de avaliar a eficácia do EfEMu, foram realizados três avaliações experimentais. Estes estudos tinham também como objetivo compreender possibilidades de melhorias e entender a relevância das informações obtidas. As avaliações possuíam caráter quantitativo e utilizaram como base os municípios de Lafaiete Coutinho, Jaborandi e Amargosa, todos no estado da Bahia.

5.1 PRIMEIRA AVALIAÇÃO: LAFAIETE COUTINHO

Lafaiete Coutinho é um município localizado no sudoeste da Bahia, a cerca de 365 km da capital do estado, Salvador. A cidade possui aproximadamente 498 km² de área territorial e cerca de 4075 habitantes, de acordo com o censo demográfico realizado em 2022 ([IBGE, 2022](#)).

As informações do município foram fornecidas por uma empresa responsável pela gestão e manutenção dos pontos na região através de um conjunto de arquivos JSON e *Binary JSON* (BSON), comumente utilizados por bancos de dados *Not Only SQL* (NoSQL), como o MongoDB.

A base de dados contava com informações como latitude e longitude dos pontos, tipo de lâmpada instalada (LED, vapor de sódio, mercúrio, etc.), potência da lâmpada em watts e tipo de braço instalado. Contudo, como mencionado na seção anterior, o EfEMu possui um padrão específico para a entrada dos dados, que não era presente na base fornecida. Devido a isso, inicialmente foi necessário um mapeamento na base. Tal mapeamento foi realizado de forma manual, agrupando os dados por cada via do município.

É importante frisar que algumas informações chave para a aplicação das equações eram ausentes, como a intensidade luminosa das lâmpadas, área total do parque e altura das instalações, o que indica uma necessidade de aprimoramento no processo de cadastramento e mapeamento dos pontos do município para atender este tipo de demanda.

Para resolver essas carências, foi necessário um mapeamento secundário. Para as informações das lâmpadas, foi necessário utilizar uma segunda base de dados com informações de lâmpadas disponíveis do mercado. Neste cenário, a base utilizada era a mesma que fornecia os campos do módulo de efficientização da ferramenta, funcionalidade do EfEMu apresentado no capítulo 3. Tal base continha as características de 62 lâmpadas de marcas como Philips, Osram e Nikkon. Para campos como a distância e altura dos postes, foram utilizados os valores mínimos aceitos pela NBR 5101 (INMETRO, 2015) (ABNT, 2012). Já a área total de cada via foi mapeada de forma manual, utilizando a ferramenta de medição de distância do Google Maps, que permite ao demarcar um espaço, saber a área total do mesmo.

O mapeamento secundário resultou na criação de um novo arquivo JSON com a junção dos dados fornecidos com os campos mapeados posteriormente. Com as informações estruturadas, foi possível fazer a inserção e gerar a simulação. Ao todo, foram cadastradas 14 vias e 362 pontos de iluminação. Esses números não representam a totalidade de vias e pontos de fato existentes no município, mas sim a quantidade que já foi mapeada pela empresa responsável pela gestão no momento da produção deste trabalho.

Como é possível visualizar na Figura 5.1, em Lafaiete Coutinho, foi detectado algum tipo de inconformidade em 11 dos 14 espaços mapeados. Isso representa cerca de 78% dos ambientes registrados. Dos casos com inconsistências, 8 possuíam níveis de iluminância acima do máximo recomendado para uma via de classe V1/P1 (50 lumens) e 6 se encontravam com notas consideradas insatisfatórias na classificação do consumo de energia (notas entre E e G).

Ao comparar o consumo de energia do município com o sugerido pelo módulo de efficientização, foi possível notar uma diferença de 20,618 KW/h. Enquanto são utilizados atualmente 46,406 KW/h na cidade, as lâmpadas sugeridas representam um gasto de 25,788 KW/h. Entretanto, foi possível notar que em algumas recomendações, a diferença de intensidade luminosa entre as opções era alta, com alguns casos com mais de 5000lm de diferença, o que pode gerar grande impacto nas configurações de iluminação atual. Essa diferença se dá pelo baixo número de lâmpadas cadastradas na base de dados (62) e isso também aponta para uma necessidade de inserção de mais lâmpadas na base de dados de modo a obter uma maior precisão.

Pela visão das áreas específicas, foi possível notar em mais de uma via a mesma situação que a representada na Rua Euclides da Cunha. Como é possível perceber na Figura 5.2, a via possui níveis de eficiência energética e consumo de energia considerados altos, porém os níveis de iluminância são bem mais altos que o limite recomendado.

No caso supracitado, o nível de iluminância da via indica que a classe de iluminação mais compatível com as configurações de iluminação instalada no local é a V1/P1, classe mais alta da norma brasileira, recomendada para vias de fluxo extremamente intensos, porém, os níveis de iluminância desta via estão bem acima do máximo permitido para esta classe. Esse resultado possibilita o pensamento de que apesar de a via ser eficiente no ponto de vista do uso de energia, ainda há espaço para melhorias no local, principalmente se considerar que níveis muito altos de iluminação podem gerar certos desconfortos nos pedestres e ocasionar até mesmo acidentes de trânsito (FINOCCHIO, 2014).

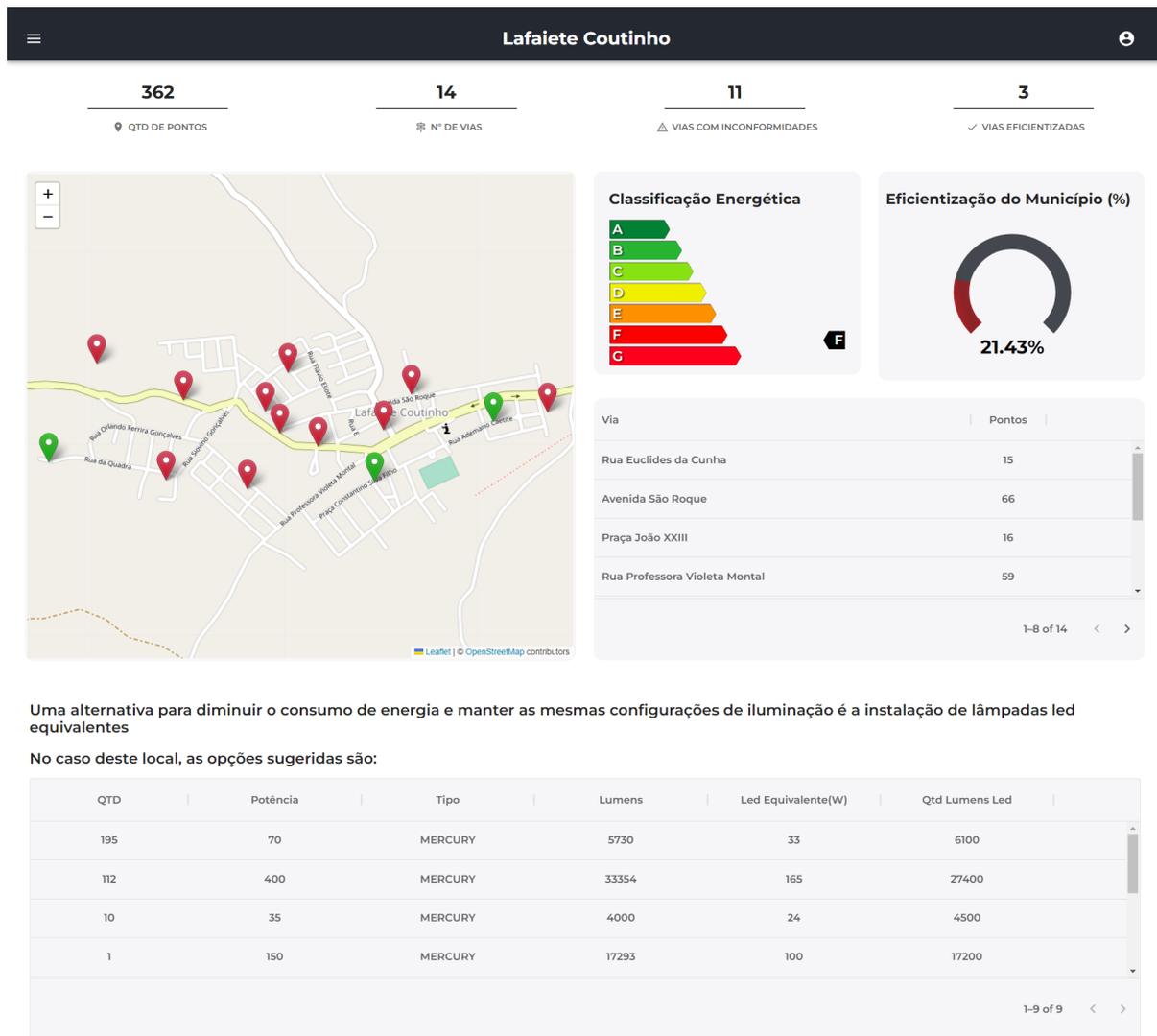


Figura 5.1 Visão da ferramenta com os dados de Lafaiete Coutinho. Fonte: Autor

5.2 SEGUNDA AVALIAÇÃO: JABORANDI

Jaborandi é um município localizado no extremo oeste da Bahia, a cerca de 910km da capital do estado, Salvador. A cidade fundada em 1986 possui área territorial de 9.955,113km² e 9.275 habitantes, segundo o censo demográfico de 2022 (IBGE, 2022).

As informações da cidade foram obtidas por meio da empresa responsável pela gestão da iluminação no local e estavam distribuídas entre duas planilhas no formato *Microsoft Excel Spreadsheet* (XLSX). Ambas continham informações básicas das lâmpadas, como a identificação das mesmas, potência e tipo de lâmpada. A principal diferença entre as planilhas era que uma delas continha as posições georreferenciadas (latitude e longitude) dos pontos, enquanto a segunda planilha identificava o nome das ruas no qual cada ponto estava associado. Com base nisso, foi preciso fazer um cruzamento nos dois arquivos para

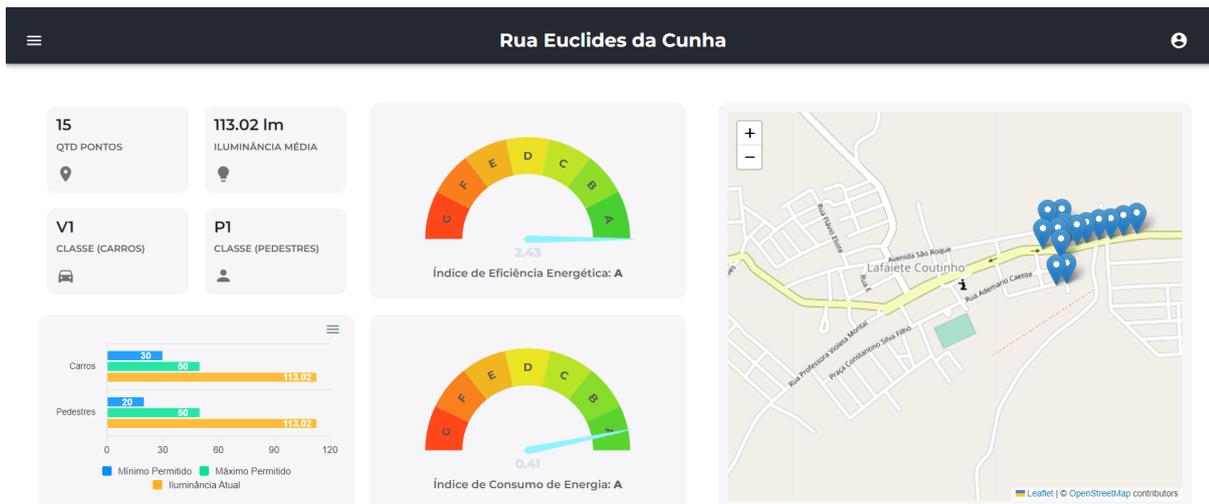


Figura 5.2 Resultado da análise na Rua Euclides da Cunha

compreender quantos pontos continham todas as informações necessárias para a inserção na ferramenta.

Ao todo, as planilhas continham informações de 1117 postes. Contudo, após o cruzamento dos dados, foi notado que apenas 492 pontos haviam de fato a latitude, longitude e as informações da rua associada. Além disso, desses pontos, 112 não possuíam o campo que indicava o tipo da lâmpada, o que impossibilitaria posteriormente a obtenção de outras informações, como intensidade luminosa e número de lumens. Com isso, só puderam ser inseridos 380 pontos, associados a 10 vias.

Como é possível ver na Figura 5.3, na cidade de Jaborandi foram identificadas 4 vias com algum tipo de inconformidade. Com isso, a classificação energética do município é nota C, uma vez que 60% das vias estão eficientizadas.

Das 4 ruas com inconsistências, 3 possuíam notas no ICE e no IEE consideradas ruins (uma nota D, uma E e uma F). Em uma via foi identificado nível de iluminância três vezes maior que o valor máximo permitido para uma avenida de classe V1, que seria a via com o fluxo muito intenso de veículos. É importante mencionar que níveis muito altos de iluminância podem gerar algum tipo de desconforto nos pedestres e motoristas e até mesmo causar acidentes de trânsito (FINOCCHIO, 2014).

Ao comparar o consumo de energia em Jaborandi com o sugerido no módulo de efficientização, foi notado uma diferença de 8,84 KW/h. Enquanto o consumo atual é 27,92 KW/h, a configuração recomendada possui uso de 19,08 KW/h. Contudo, assim como nos estudos apresentados com outras cidades, há grande diferença entre a intensidade das lâmpadas recomendadas, o que novamente indica a necessidade de refinamento na base de dados de lâmpadas do EfEMu.

Diferentemente de Lafaiete Coutinho, Jaborandi passou por um processo de efficientização pouco tempo antes da obtenção dos dados, que contou com trocas de lâmpadas,

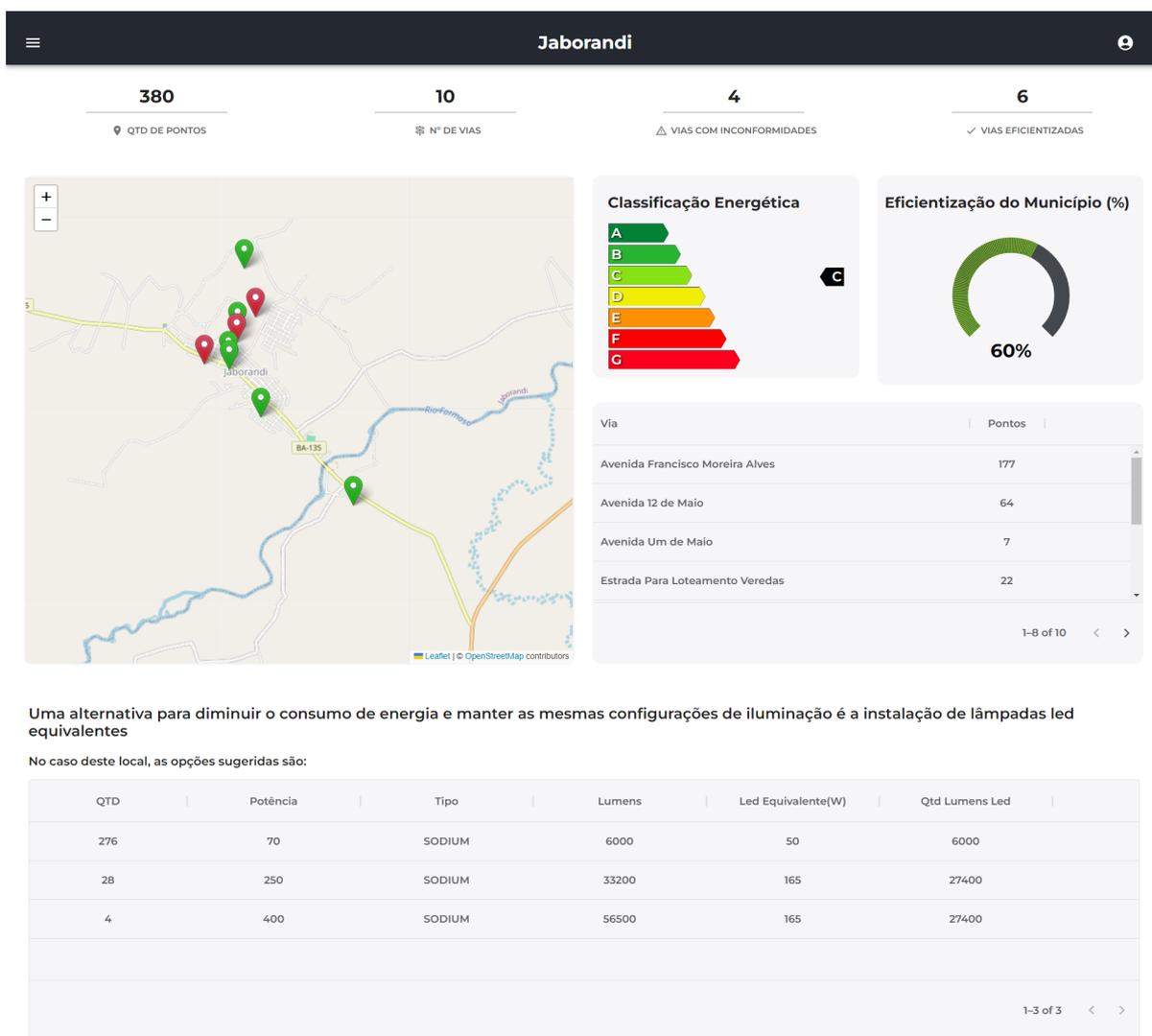


Figura 5.3 Dashboard da cidade de Jaborandi. Fonte: Autor

e isso pode ter influenciado positivamente na classificação energética geral do município. Porém, é importante frisar que 65% dos pontos de iluminação da cidade (737) não puderam ser inseridos na ferramenta por conta da ausência de algum campo na base de dados, e isso de certo modo dificulta o entendimento sobre a real situação energética do município.

5.3 TERCEIRO ESTUDO: AMARGOSA

Amargosa é uma cidade localizada no estado da Bahia, a aproximadamente 240km de Salvador, a capital do estado. O município está inserido na microrregião do Vale do Jiquiriçá, uma área de transição entre o agreste e o sertão baiano e possui 36.521 habitantes, de acordo com o censo demográfico de 2022 (IBGE, 2022).

Os dados da cidade foram fornecidos pela mesma empresa responsável pela gestão de Lafaiete Coutinho e Jaborandi, sendo a principal diferença no formato dos dados, que em Lafaiete Coutinho estavam em arquivos JSON e BSON, em Jaborandi eram dois arquivos XLSX e em Amargosa também era XLSX, porém em um arquivo único. Neste cenário, foi feita a conversão do arquivo para o formato *Comma-Separated Values* (CSV) para facilitar o processo de estruturação.

Apesar do formato dos dados nos três municípios serem diferentes, os campos contidos eram semelhantes. As bases também possuíam informações como localização dos pontos, potência e tipo lâmpada instalada. A ausência de campos importantes para as aplicações das equações, como a intensidade luminosa, área total e altura dos postes também foi notada. Todas essas similaridades facilitaram o processo de estruturação, uma vez que o fluxo dos procedimentos puderam ser reutilizados.

Ao todo, a base de dados de Amargosa possuía informações de 4746 pontos. Assim como Jaborandi, Amargosa passou por um processo de trocas de lâmpadas, este realizado entre os anos de 2021 e 2022, onde 698 lâmpadas foram substituídas por outras de tipos diversos, como vapor metálico, mercúrio e lâmpadas LED. Também, neste processo, foi percebido que 67 pontos foram desativados ou totalmente removidos.

Ainda na fase de estruturação dos dados, foi notado que 1425 pontos não tinham nenhuma informação que permitisse identificar qual via estes estavam associados, sendo assim, esses campos não puderam ser inseridos no EfEMu. Com isso, ao todo, 3254 pontos estavam completos o suficiente para serem adicionados.

Como é possível visualizar na figura 5.4, 162 vias foram cadastradas no EfEMu. Destas, 83 estavam eficientizadas e 79 possuíam algum tipo de inconformidade, o que deu ao município de Amargosa um percentual de eficientização de 48,77 e uma classificação de nível D, considerada mediana.

Entre as 79 inconformidades identificadas no município, 57 eram relacionadas a pontos com níveis de iluminância bem acima do limite recomendado pela norma brasileira. Isso representa 72% dos casos. Ademais, também foi possível perceber que grande parte das vias desse cenário continham bons indicadores de consumo de energia e eficiência energética. Isso mostra que, apesar de serem locais já eficientes, ainda há espaços para melhorias nos mesmos, especialmente se considerar que altos níveis de iluminação podem gerar desconforto nos pedestres e motoristas e eventualmente ocasionar acidentes.

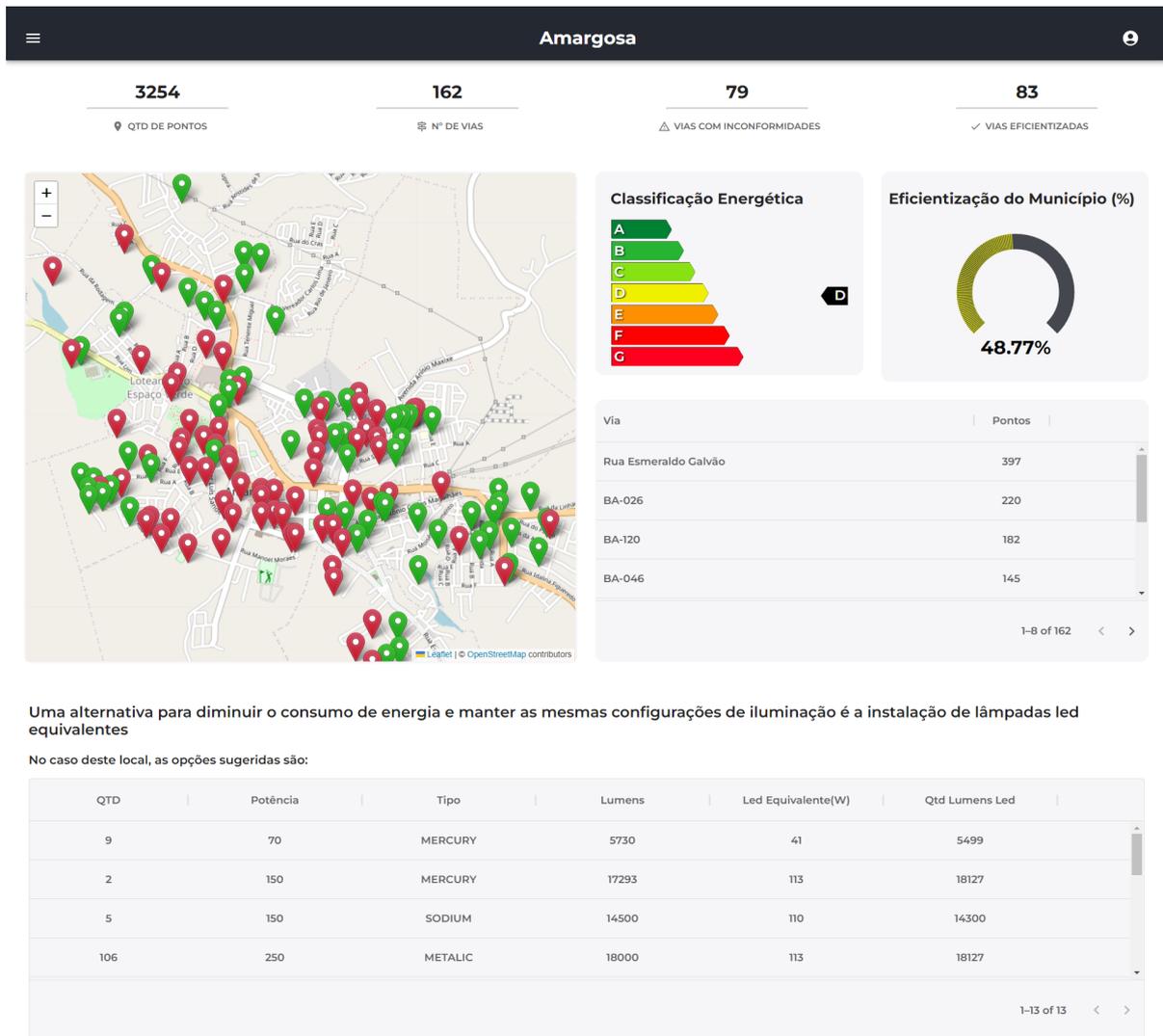


Figura 5.4 Visão do EfEMu com os dados de Amargosa. Fonte: Autor

Além das vias mencionadas acima, outras 23 apresentaram índices baixos de eficiência energética ou de consumo de energia, representando 29% dos cenários. Por fim, foi identificado que um local específico (Praça Hélio José da Rocha) continha tanto os níveis de eficiência e consumo de energia baixos quanto os níveis de iluminância acima do valor máximo da norma.

Na comparação do consumo de energia em Amargosa com o sugerido pelo módulo de efficientização, foi possível notar uma diferença de 79,986 KW/h. O gasto atual dos pontos é de 217,752 KW/h na cidade, enquanto que as lâmpadas sugeridas representariam um gasto de 137,766 KW/h. Entretanto, assim como em Lafaeite Coutinho e Jaborandi, foi possível notar uma grande diferença de intensidade luminosa entre algumas lâmpada recomendadas e as utilizadas no município, o que pode gerar impacto nas configurações de iluminação da cidade. Essa diferença aponta para uma necessidade de melhorias na base de dados de lâmpadas do EfEMu.

5.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O fato de as bases de dados fornecidas sobre os municípios analisados não contarem com informações chave das luminárias instaladas fez com que pudessem haver diferenças positivas ou negativas nos valores reais de iluminação. Com essas ausências, não é possível apontar com precisão quais reais as características das lâmpadas utilizadas nas vias, e também identificar outras inconformidades, como altura e distância entre postes fora da norma.

Um outro ponto a considerar é a importância do desenvolvimento de técnicas de mapeamento e estruturação automática dos dados, uma vez que de forma manual, estes processos foram os mais custosos no ponto de vista de tempo em toda a avaliação dos municípios. Apesar de a etapa de padronização dos dados ser externa à ferramenta, a automatização pode melhorar a experiência dos usuários com o EfEMu como um todo, uma vez que os processos tendem a ser mais demorados durante análises com dados de grandes metrópoles.

É válido ainda mencionar que uma posterior validação da ferramenta com gestores e pessoas envolvidas com a gestão da iluminação pública é de grande importância, pois permite compreender se os valores que o EfEMu busca oferecer são de fato entregues.

Apesar dos problemas mencionados acima, com base nos resultados obtidos, é possível afirmar que há um potencial na ferramenta, uma vez que ela apresenta informações que não são comumente identificadas nos municípios, como o nível de efficientização e os índices de consumo de energia e eficiência energética. Ao apresentar a visão georreferenciada da cidade, o EfEMu permite ao gestor compreender não só a existência de uma inconsistência, mas também a localização da mesma e o tipo de problema existente. Por mais que o módulo de efficientização precise de um maior refinamento, ainda é uma funcionalidade que busca oferecer uma opção de melhoria para a cidade, permitindo também entender o tamanho da economia ao adotar as trocas sugeridas.

Este capítulo exibe as considerações finais do trabalho, bem como as limitações do mesmo e sugestões de projetos futuros.

CONCLUSÃO

A eficiência energética representa uma abordagem essencial para enfrentar novos desafios no século XXI. Ao integrar tecnologias inovadoras, políticas eficazes e mudanças comportamentais, podemos não apenas melhorar a eficiência dos sistemas energéticos existentes, mas também criar um ambiente econômico, equilibrado e mais sustentável.

Nos municípios brasileiros, esse cenário não é diferente, uma vez que a gestão pública enfrenta grandes dificuldades no momento de analisar possíveis melhorias, em particular, no âmbito dos parques de iluminação pública. Há no mercado, ferramentas que buscam de alguma forma auxiliar os processos dos gestores. Contudo, até o momento, essas tecnologias têm apresentado certas limitações, sobretudo no entendimento da situação dos ambientes e na identificação de possíveis desequilíbrios.

Pensando nessa situação, foi desenvolvido o EfEMu, um software que busca dar uma nova perspectiva sobre as situações dos municípios. Por meio de dados da iluminação pública, o software consegue gerar visualizações de diversos indicadores e também oferecer uma recomendação para diminuir o consumo de energia.

Para fins de validação, foram realizados três avaliações experimentais em municípios baianos. Durante essa etapa, foi possível identificar problemas de iluminação e consumo de energia. Além disso, apesar das limitações, o módulo de eficientização conseguiu recomendar, de forma efetiva, trocas de lâmpadas que ofereciam grandes reduções no consumo de energia.

Com base no que foi passado neste trabalho, é possível considerar o EfEMu uma ferramenta inovadora e promissora no meio da eficiência energética municipal. A quantidade de sistemas disponíveis, suas limitações e a forma como esses sistemas atuam reforçam a utilidade das funcionalidades do EfEMu.

Por fim, é válido considerar que os objetivos do EfEMu foram atendidos, pois através das avaliações experimentais, foi possível identificar informações que até o momento não eram muito conhecidas sobre as cidades e também oferecer uma nova perspectiva ao usuário final. Contudo, maiores testes com gestores e pessoas envolvidas diretamente

na gestão da iluminação pública são necessários, para compreender se os valores que o EfEMu busca oferecer são de fato entregues.

6.1 CONTRIBUIÇÕES

Para a produção deste projeto e obtenção de todos os resultados, foi necessário intenso trabalho de pesquisa e desenvolvimento sobre a área de EE, que envolveu contextualização histórica, compreensão da situação atual, contexto do cenário no Brasil, especialmente nas prefeituras, estudo acerca das normas brasileiras sobre o tema, entre outras informações. Isso permitiu não somente o desenvolvimento do sistema EfEMu, mas a realização deste trabalho de mestrado como um todo. Para isso, foram colhidas diversas opiniões sobre o EfEMu e sugestões de melhorias durante diferentes discussões e avaliações do sistema. Como contribuição, pode-se destacar:

1. O desenvolvimento do sistema EfEMu.
2. Registro do software (BR 512023003604-8).
3. Publicação de artigo científico “Oportunidades de eficiência energética para sistemas de gestão de parques de iluminação pública dos municípios” (NOVAIS et al., 2022) na Revista Brasileira de Energia;
4. Submissão de um segundo artigo científico (“*A Software for identifying nonconformities in public lighting systems: Analysis of Brazilian municipalities*”) para a revista *Energy Efficiency* (em processo de revisão).

Destaca-se ainda que este projeto teve captação de recursos em edital do Polo de inovação do IFBA (Edital PIS/PRPGI/IFBA N^o 01/2021), o qual envolveu parceria com empresa da área de gestão de parques de iluminação pública.

6.2 LIMITAÇÕES

Este trabalho limitou-se a avaliar a ferramenta nas cidades de Lafaiete Coutinho, Jaborandi e Amargosa, uma vez que eram os únicos dados disponíveis. Contudo, novos estudos em municípios maiores podem ser interessantes para compreender melhor o funcionamento do EfEMu.

A extração dos dados do município, bem como a padronização desses dados para um formato aceito pelo EfEMu não faz parte do escopo do projeto. Entretanto, o desenvolvimento de uma ferramenta que automatize esses processos é considerado como um possível trabalho futuro, uma vez que melhoraria a experiência dos usuários.

A ausência de diferentes dados por parte das prefeituras e empresas que gerenciam os pontos de iluminação influencia negativamente nos resultados do trabalho, uma vez que afetam a precisão na hora de gerar índices como a iluminância de um ponto ou o consumo de energia. A captação de novas informações, como altura e distância entre postes, tipo de via e intensidade das lâmpadas é um ponto que precisa ser considerado pelas organizações responsáveis.

É importante mencionar que o fato de cada município possuir seus dados estruturados em um formato diferente atrapalha uma possível automatização no processo de extração e transformação dos dados no padrão EfEMu. A solução desse problema é um ponto de grande importância, pois diminuiria o tempo gasto nessa etapa.

Por fim, é válido mencionar que o EfEMu por estar em estágio de MVP, ainda não foi utilizado pelo seu público alvo, que seriam os gestores e prefeituras. É importante realizar validações do sistema com gestores e pessoas envolvidas com a gestão da iluminação pública, para compreender se o EfEMu consegue entregar os valores que ele busca.

6.3 TRABALHOS FUTUROS

Pensando em otimizar o EfEMu, aprimorar a experiência dos usuários e melhorar o desempenho do sistema, destacam-se as seguintes extensões como etapas futuras:

1. Tornar o processo de transformação dos dados algo padronizado, de modo que possa ser automatizado e feito em menor tempo;
2. Definição de heurísticas para suprir momentos de ausência dos dados de iluminação por parte das companhias que os gerenciam;
3. Identificar outros tipos de anomalias na iluminação, como poluição luminosa e zebraamento nas vias;
4. Gerar novos tipos de sugestões de correção nas vias, além da troca das lâmpadas por LED;
5. Adicionar novas visualizações para regiões e cenários diferentes.
6. Integrar a ferramenta com softwares luminotécnicos, como Dialux e Relux, de modo que o usuário consiga simular cenários para alterações dos ambientes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAMOV, A. C. D. A js library for predictable and maintainable global state management. 2024. Disponível em: <https://redux.js.org/>.
- AGAFONKIN, V. an open-source javascript library for mobile-friendly interactive maps. 2024. Disponível em: <https://leafletjs.com/>.
- ANEEL. Resolução normativa nº 414. *Agência Nacional de Energia Elétrica*, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>.
- ANGELINI, M. et al. Bucephalus: a business centric cybersecurity platform for proactive analysis using visual analytics. In: *2021 IEEE Symposium on Visualization for Cyber Security (VizSec)*. [S.l.: s.n.], 2021. p. 15–25.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5101*. Rio de Janeiro, 2012. 2-20 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. A história da abnt em detalhes. n.d. Disponível em: <https://www.abnt.org.br/institucional/sobre>. Acesso em: 10 jul. 2022.
- BALDO, D. R.; REGIO, M. S.; MANSSOUR, I. H. Visual analytics for monitoring credit scoring models. *Information Visualization*, v. 22, n. 4, p. 340–357, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/14738716231180803>.
- BURCH, M. et al. Linked and coordinated visual analysis of eye movement data. In: *2022 Symposium on Eye Tracking Research and Applications*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2022. (ETRA '22). ISBN 9781450392525. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3517031.3531163>.
- COMMUNITY, I. V. A. *What is Visual Analytics?* 2023. Disponível em: <https://www.visual-analytics.eu/>. Acesso em: 03 mar. 2023.
- CONSULTORIA, U. Gestor de iluminação pública. 2019. Disponível em: <https://gestoriluminacaopublica.com.br/pt>. Acesso em: 28 jul. 2022.
- COOK, K. A.; THOMAS, J. J. Illuminating the path: The research and development agenda for visual analytics. 5 2005. Disponível em: <https://www.osti.gov/biblio/912515>.

CRÍZEL, L. Software para projeto de iluminação: saiba escolher o melhor para seu planejamento. 2019. Disponível em: <https://blog.ipog.edu.br/engenharia-e-arquitetura/software-para-projeto-de-iluminacao/>. Acesso em: 20 jul. 2022.

CUI, W. Visual analytics: A comprehensive overview. *IEEE access*, IEEE, v. 7, p. 81555–81573, 2019.

ELÉTRICA, A. N. de E. Olimpíada nacional de eficiência energética. 2021. Disponível em: <https://onee.org.br/olimpiada>. Acesso em: 26 jul. 2022.

ENERGIEWENDE, A. A energiewende em resumo. 10 perguntas e respostas sobre a transição energética alemã. 2019. Disponível em: https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2019/Energiewende_Brasilien/156_A-Energiewende-em-resumo_PT_WEB.pdf.

EVANS, E.; SZPOTON, R. *Domain-driven design*. [S.l.]: Helion, 2015.

EXPRESS. Express: Framework web rápido, flexível e minimalista para node.js. 2024. Disponível em: <https://expressjs.com/>.

FACEBOOK. *React: A biblioteca para web e interfaces de usuário nativas*. 2024. Disponível em: <https://pt-br.react.dev/>.

FACILITA.TECH. Sistema de informação pública. 2022. Disponível em: <https://sipub.facilita.tech/>. Acesso em: 27 jul. 2022.

FINOCCHIO, M. A. F. Noções gerais de projetos de iluminação pública (ip). CORNÉLIO PROCÓPIO, 2014.

FOUNDATION, O. About node.js. 2024. Disponível em: <https://nodejs.org/>.

GÓMEZ-LORENTE, D. et al. A new methodology for calculating roadway lighting design based on a multi-objective evolutionary algorithm. *Expert Systems with Applications*, v. 40, p. 2156–2164, 05 2013.

HALE, C. How to safely store a password. 2010. Disponível em: <https://codahale.com/how-to-safely-store-a-password/>.

INDUSTRIA, T. y. C. d. E. Ministerio de. Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus instrucciones técnicas complementarias. p. 1–6, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *CIDADES E ESTADOS DO BRASIL*. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. *Portaria nº 143, de 13 de março de 2015: Ajustes no regulamento técnico da qualidade para lâmpadas led com dispositivo integrado à base*. Rio de Janeiro, 2015. 15 p.

KEIM, D. A. et al. *Visual analytics*. 2008.

KRAWCHENKO, T. A.; GORDON, M. Just transitions for oil and gas regions and the role of regional development policies. *Energies*, MDPI, v. 15, n. 13, p. 4834, 2022.

LANCELLE, L. Softwares para projetos de iluminação. 2018. Disponível em: <https://www.lumearquitetura.com.br/lume/default.aspx?mn=947&c=2034&s=0&friendly=softwares-para-projetos-de-iluminacao>. Acesso em: 20 jul. 2022.

MERCANTIL, A. Iluminação pública inteligente garante economia de até 30% na capital do paraná. 2021. Disponível em: <https://noticias.ambientalmercantil.com/26/10/2021/iluminacao-publica-inteligente-garante-economia-de-ate-30-na-capital-do-parana/>. Acesso em: 27 jul. 2022.

MICROSOFT. *What is TypeScript?* 2024. Disponível em: <https://www.typescriptlang.org/>.

MIL SKI, J. *Prefeitura espera gastar R\$ 5,4 milhões com energia elétrica por ano*. 2019. Disponível em: <https://www.gcnoticias.com.br/geral/prefeitura-espera-gastar-r-5-4-milhoes-com-energia-eletrica-por-ano/72252440>.

MOUAADH, Y.; BOUSMAHA, B.; MHAMED, R. Intelligent control and reduce energy consumption of smart street lighting system. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, v. 13, p. 1966–1974, 12 2022.

MOZILLA. Javascript. 2024. Disponível em: <https://developer.mozilla.org/pt-BR/docs/Web/JavaScript>.

MUI. Material ui - overview. 2024. Disponível em: <https://mui.com/material-ui/>.

MULTISIG. Sistema de informa es geográficas voltado para ilumina o pública. 2022. Disponível em: <https://iluminacaopublica.multisig.com.br/>. Acesso em: 28 jul. 2022.

NACIONAL, B. S. *Spesifikasi penerangan jalan di kawasan perkotaan*. 2023. Disponível em: <http://web.binus.ac.id/>. Acesso em: 03 mar. 2023.

NOVAIS, R. L. et al. Oportunidades de eficiência energética para sistemas de gestão de parques de ilumina o pública dos municípios. *Revista Brasileira de Energia*, v. 28, n. 3, dez. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.47168/rbe.v28i3.707>.

ORACLE. O que   o mysql? 2024. Disponível em: <https://www.oracle.com/br/mysql/what-is-mysql/>.

O LEJ EK, R. et al. Conceptual model of visual analytics for hands-on cybersecurity training. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, v. 27, n. 8, p. 3425–3437, 2021.

PATTERSON, M. G. What is energy efficiency?: Concepts, indicators and methodological issues. *Energy policy*, Elsevier, v. 24, n. 5, p. 377–390, 1996.

RAGHUPATHI, W.; RAGHUPATHI, V. An empirical study of chronic diseases in the united states: A visual analytics approach to public health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 15, n. 3, 2018. ISSN 1660-4601. Disponível em: [⟨https://www.mdpi.com/1660-4601/15/3/431⟩](https://www.mdpi.com/1660-4601/15/3/431).

RECIFE, P. do. *Prefeitura do Recife lança edital para contratar estudos que vão desenvolver PPP para geração de energia fotovoltaica*. 2022. Disponível em: [⟨http://www2.recife.pe.gov.br/noticias/20/01/2022/prefeitura-do-recife-lanca-edital-para-contratar-estudos-que-vaio-desenvolver-ppp⟩](http://www2.recife.pe.gov.br/noticias/20/01/2022/prefeitura-do-recife-lanca-edital-para-contratar-estudos-que-vaio-desenvolver-ppp).

ROCHA, H. et al. Exterior lighting computer-automated design based on multi-criteria parallel evolutionary algorithm: optimized designs for illumination quality and energy efficiency. *Expert Systems with Applications*, v. 45, p. 208–222, 2016. ISSN 0957-4174. Disponível em: [⟨https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417415006752⟩](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417415006752). Acesso em: 17 abr. 2022.

ROSSI, C. *THE 21 BEST LIGHTING DESIGN SOFTWARE TO CHOOSE FROM IN 2023*. 2023. Disponível em: [⟨https://storybox.karmanitalia.it/en/best-lighting-design-software#lighting⟩](https://storybox.karmanitalia.it/en/best-lighting-design-software#lighting).

SEQUELIZE. Sequelize. 2024. Disponível em: [⟨https://sequelize.org/⟩](https://sequelize.org/).

SHINTABELLA, R.; ABDULLAH, A. G.; HAKIM, D. Application of genetic algorithm in optimizing redesign of street lighting. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, v. 1098, p. 042036, 03 2021.

SOLUÇÕES, F. Softluz - é um sistema de gestão para iluminação pública. 2016. Disponível em: [⟨https://www.softluz.com.br/⟩](https://www.softluz.com.br/). Acesso em: 28 jul. 2022.

SOMA, I. Somasig – gestão iluminação pública. 2016. Disponível em: [⟨http://institutosoma.org.br/areas-de-atuacao/geoprocessamento/somasig-gestao-iluminacao-publica⟩](http://institutosoma.org.br/areas-de-atuacao/geoprocessamento/somasig-gestao-iluminacao-publica). Acesso em: 27 jul. 2022.

TECNOLOGIA, E. Gestão de iluminação pública - mais luz, segurança e tecnologia. 2021. Disponível em: [⟨https://exati.com.br/iluminacao-publica/⟩](https://exati.com.br/iluminacao-publica/). Acesso em: 27 jul. 2022.

VERCEL. *The React Framework for the Web*. 2024. Disponível em: [⟨https://nextjs.org/docs⟩](https://nextjs.org/docs).

YING, Z. et al. Mvsec: Multi-perspective and deductive visual analytics on heterogeneous network security data. *Journal of Visualization*, v. 17, p. 181–196, 08 2014.