

Otimização de padrões para projetos de Iluminação Pública utilizando Python

Gustavo M. O. de Castro* Aline S. Gallina* Joshua B. Martins*
Lucas Matheus de S. Lima* Nadine da F. A. dos Santos*

* eAmazônia - Energia Sustentável e Inovação, AC, (e-mail: gustavo@eamazonia.org, aline.gallina@eamazonia.org, joshua@eamazonia.org, lucas.matheus@eamazonia.org, nadinesantos@eamazonia.org)

Abstract: Among the documents that make up the Procel Reluz Public Calls street lighting projects, it is essential to include the electronic file, From the data entered, there is the possibility of forming street standardized models, merging streets with the same characteristics, decreasing the number of lighting projects. Although the streets rarely have the same characteristics, they are very similar, which implies the designer's manual work to match these characteristics. Thereby, from the criteria definition in order to match similar streets according to the requirements of Procel Reluz, this work aims to present the development of a Python script that performs the optimization of street patterns generation, and consolidate its functionality from a case study of a neighborhood in the city of Rio Branco - AC. Information was collected from 28 streets, whose data from which street were used as input to the script. After running the code, 11 street models were obtained, which represents a 60% reduction in the number of street lighting projects required to complete the retrofit. The optimized standardized street models were validated by executing all their corresponding lighting projects and their respective streets using the same luminaire series, obtaining little difference between the luminaire powers on the original scenario and the scenario with number of projects decreased by the script.

Resumo: Dentre os documentos que compõem as propostas de projeto de iluminação pública de chamadas públicas do Procel Reluz há o arquivo eletrônico, no qual existe a padronização por mesclagem de vias com características semelhantes em padrões. No entanto, em poucas ocasiões as vias possuem características iguais, o que implica no trabalho manual do projetista de igualar essas características e diminuir a quantidade de projetos luminotécnicos. Deste modo, a partir da definição de critérios de agrupamento das vias semelhantes, atendendo às exigências do Procel Reluz, este trabalho tem o objetivo de apresentar o desenvolvimento de um script em Python que realiza a otimização da formação de padrões de vias, e consolidar sua funcionalidade a partir de um estudo de caso nas ruas de um bairro da cidade de Rio Branco - AC. Foram reunidas informações de 28 vias, cujos dados foram utilizados como entrada para o script. Após a execução do código obtiveram-se 11 padrões, resultando em uma redução de 60% no número de projetos luminotécnicos. Os padrões otimizados foram validados por meio da execução dos projetos luminotécnicos de cada um deles e de suas respectivas vias utilizando uma mesma linha de luminárias, obtendo diferenças mínimas de potências escolhidas entre o cenário original e com número de projetos reduzidos pelo script.

Keywords: Street Lighting; Procel Reluz; Data Survey; Python; Retrofit

Palavras-chaves: Iluminação Pública; Procel Reluz; Levantamento de dados; Python; *Retrofit*.

1. INTRODUÇÃO

As melhorias na qualidade de vida, no turismo e no comércio noturno estão relacionadas a um parque de Iluminação Pública (IP) eficiente. No entanto, os equipamentos utilizados hoje, na maioria das cidades brasileiras, é obsoleto, mantém a mesma tecnologia instalada em 1960, isto é,

possuindo lâmpadas de vapor de sódio e mercúrio, pouco eficientes e de alta manutenção (Bernades et al., 2020).

A solução para essa problemática é dada por meio da realização de um *retrofit* que, basicamente, pode ser definido como a troca de um equipamento ultrapassado por um equipamento mais eficiente. No caso da IP, a troca das lâmpadas de vapor de sódio e/ou metálico é realizada por luminárias de tecnologia LED (*Light-Emitting Diode*). Essa ação deve ser feita seguindo norma regulamentadora NBR 5101:2018, que apresenta os requisitos mínimos para uma iluminação adequada das vias públicas.

* O presente trabalho foi realizado com apoio do eAmazônia - Energia Sustentável e Inovação com recursos do convênio ECV-PRFP-001/2021 firmado entre o eAmazônia e Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel)

Na literatura há alguns exemplos de trabalhos que estudaram os benefícios luminotécnicos e financeiros do processo de *retrofit*, como Nepomuceno et al. (2019) que estudou os resultados da modernização da iluminação pública aplicado em uma avenida urbana da cidade de Juiz de Fora, fazendo simulações no software de simulação luminotécnica DIALux, e concluiu que além de proporcionar um benefício técnico e social, gerou benefícios econômicos de 36,32% para o cofre municipal.

Com o objetivo de beneficiar financeiramente e tecnicamente municípios brasileiros com recursos para projetos de *retrofit*, o Programa Nacional de Iluminação Pública - Procel Reluz realiza chamadas públicas de projetos de *retrofit*. Dentre os documentos que compõe as propostas das chamadas, tem-se o arquivo eletrônico disponibilizado juntamente com o edital, que auxilia no desenvolvimento dos projetos luminotécnicos visto que incorpora os dados coletados das vias e do sistema de IP atual.

Neste arquivo, há a possibilidade de formação de padrões, unificando vias com dados e características iguais, reduzindo a quantidade de projetos. Poucas vezes as vias possuem características iguais, mas muitas vezes são semelhantes; o que implica no trabalho manual do projetista de igualar essas características para formar uma maior quantidade de padrões. Este trabalho depende da experiência do projetista de definir critérios e visualizar semelhanças entre os dados que possibilitem somar o maior número de vias para obter o menor número de projetos luminotécnicos.

A aplicação de tecnologias se mostra uma válida ferramenta para facilitar a execução de projetos de *retrofit* de iluminação. O trabalho de Antunes et al. (2018) apresenta o desenvolvimento de um *script* utilizando Otimização por Enxame de Partículas para maximizar a eficiência energética de um sistema de IP. A rotina em questão recebe como entrada dados como comprimento da via, largura e número de faixas de rolagem, distância entre postes e altura de montagem de luminárias. Os resultados foram então validados com uso do DIALux. Já em De Oliveira et al. (2014), é feito um *script* objetivando otimizar os custos de projetos de *retrofit* enquanto segue os critérios técnicos da NBR 5101. Neste caso, é necessário que o projetista entre com alguns dados de vias como no exemplo anterior, e adicionalmente, configuração de posteamento, distância do poste ao meio fio, largura de canteiros centrais e classificação de tráfego. Em Shintabella et al. (2021) também é desenvolvida uma aplicação que recebe como entrada os mesmos dados anteriores com a finalidade de redesenhar a configuração das vias utilizando Algoritmo Genético.

No entanto, não há uma metodologia sólida e unificada para coleta de dados de vias, ficando tal tarefa a cargo do projetista ou entidade responsável. De acordo com Souto (2022), há uma ausência de registros na literatura sobre metodologias de coleta de dados iniciais para projetos de eficiência energética em iluminação pública.

Deste modo, a partir da definição de critérios para igualar as vias semelhantes dentro das exigências do Procel Reluz, junto às dificuldades envolvidas na coleta e processamentos de dados de vias para projetos de *retrofit*, este artigo tem o objetivo de apresentar o desenvolvimento de um

script em linguagem de programação Python que realize a otimização da formação de padrões de vias públicas.

2. ILUMINAÇÃO PÚBLICA

A Resolução nº 456 da ANEEL define que a iluminação pública é um serviço que tem objetivo prover os logradouros públicos com luz ou claridade artificial no período noturno, inclusive aqueles que necessitem de iluminação permanente no período diurno.

Dessa forma, a execução adequada do parque de IP é de suma importância para o usuário do sistema, sendo crucial a aplicação da ABNT NBR 5101, que estabelece os requisitos para IP nos projetos luminotécnicos, sendo estes para planejamento de um novo parque ou *retrofit* de um parque existente.

2.1 ABNT NBR 5101

A instrução normativa apresenta os valores mínimos das grandezas de iluminação para as vias e passeios públicos. Essa definição considera a classificação, que depende do nível de tráfego e da importância da via analisada. A norma divide as vias em 5 níveis, conforme pode ser visto na Tabela 1, e os passeios em 4 níveis, apresentado na Tabela 2 (ABNT, 2018).

Tabela 1. Classificação das vias públicas.

Classificação	Tipo
V1	Vias de trânsito rápido, com volume de tráfego intenso ou médio
V2	Vias arteriais ou coletoras, com volume de tráfego intenso ou médio
V3	Vias arteriais ou coletoras, com volume de tráfego intenso ou médio
V4	Vias coletoras ou locais, com volume de tráfego médio ou leve
V5	Vias locais de volume de tráfego médio ou leve

Tabela 2. Classificação dos passeios.

Classificação	Tipo
P1	Intenso tráfego de pedestres (ex.: calçadas, passeios de vias comerciais)
P2	Grande tráfego de pedestres (ex.: praças, passeios de avenidas)
P3	Moderado tráfego de pedestres (ex.: acostamentos)
P4	Pouco tráfego de pedestres (ex.: passeios de bairros)

Para que sejam compreendidas as especificações apresentadas na norma é necessário, ainda, o conhecimento de termos e grandezas luminotécnicas, sendo as principais: iluminância, fator de uniformidade de iluminância, luminância, incremento de liminar ou *Threshold Increment* (TI). A primeira é definida como o fluxo luminoso incidente por unidade de área, a unidade de medida utilizada é Lux (lumens/m^2), ao passo que o fator de uniformidade é a razão entre o valor mínimo e o máximo da iluminância na área de análise. Já a luminância refere-se à razão entre a intensidade luminosa irradiada por uma superfície e a área aparente dessa superfície vista pelo observador, é medida por meio do luminâncímetro, sua unidade é cd/m^2 . O TI é utilizado para limitar o ofuscamento ocasionado pela

luminária, e por isso é o incremento de luminância na via necessário para possibilitar a visibilidade de objetos que foi dificultada pelo ofuscamento.

Além disso, a compreensão de alguns termos relacionados à luminária são necessários, como a eficiência luminosa que define a eficácia da luminária pela razão do fluxo luminoso e a potência desta, e a temperatura de cor correlata (TCC), medida em Kelvin (K), que caracteriza a aparência da luz emitida. Há também, o índice de reprodução de cor, dado em porcentagem, que é a comparação da cor do objeto na luz natural com sua cor na luz artificial. Outro conceito importante relacionado a luminária é a curva de distribuição, que representa a distribuição luminosa de uma fonte de luz, crucial para o desenvolvimento do projeto luminotécnico.

No entanto, as características descritas acima são reduzidas em função da vida útil das luminárias e das particularidades do ambiente que foi instalada, deste modo, é preciso definir quando a manutenção deve ser realizada, considerando principalmente a redução da iluminância média. A NBR 5101 define essa relação como fator de manutenção, afirmando ainda que a manutenção deve ocorrer quando a iluminância média atingir 70% do valor inicial, isto é, o valor do fator de manutenção deve ser de no mínimo 0,7.

Considerando todos os fatores envolvidos, a norma apresenta os valores mínimos de iluminância e uniformidade para cada classificação de via e passeios, como apresentados nas tabelas 3 e 4, que devem ser cumpridos pelo projetista para que a iluminação das vias seja adequada.

Tabela 3. Iluminância média mínima e uniformidade para cada classe de iluminação de vias

Classe	Iluminância média min. (lux)	Uniformidade min.
V1	30	0,4
V2	20	0,3
V3	15	0,2
V4	10	0,2
V5	5	0,2

Tabela 4. Iluminância média mínima e uniformidade para cada classe de iluminação de passeios

Classe	Iluminância média min. (lux)	Uniformidade min.
P1	20	0,3
P2	10	0,25
P3	5	0,2
P4	3	0,2

3. PROCEL RELUZ

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), que tem o objetivo de integralizar ações para conservação de energia elétrica e foi criado em dezembro de 1985, pela Portaria Interministerial nº 1.877. O recurso financeiro destinado ao Procel é oriundo dos recursos de eficiência energética das concessionárias e permissionárias de distribuição de energia, conforme a Lei nº 13.280, de maio de 2016, responsável por impulsionar as ações do programa. (MME, 2011). Sendo uma das vertentes do Procel a iluminação pública, a qual o programa tem uma metodologia única para o desenvolvimento dos projetos

através de chamadas públicas do Procel Reluz, um modelo de processo seletivo para propostas específicas.

Desta metodologia, destaca-se o arquivo eletrônico, uma planilha ou pasta de trabalho do Microsoft Office Excel, que foi concebida pelo Procel para consolidar as principais informações dos projetos de iluminação pública, propostos nas chamadas públicas do programa Procel Reluz.

Essa planilha tem a finalidade de apresentar as características do projeto proposto pelo município, abrangendo os logradouros onde serão instaladas as luminárias LED, as características técnicas das luminárias e os custos para implantação do projeto. Sendo preenchidos os dados das vias que se deseja realizar o *retrofit* e do atual sistema de iluminação, para que seja possível calcular índices como relação benefício-custo (RBC) e Taxa Interna de Retorno (TIR) do sistema de IP. (Reluz, 2021).

A primeira aba da planilha, chamada de Dados Cadastrados, serve como o principal *input* de informações, sendo responsável por receber os dados do sistema de iluminação atual e do planejado. Alguns dos dados de entrada requeridos são:

- Nome do logradouro, bairro e município;
- Largura da via e dos passeios, altura da luminária, vão entre os postes e classificação da via e passeios;
- Dados do sistema proposto: Informações das novas luminárias, situação futura dos braços, características do sistema de IP, disposição dos postes, distância entre postes, altura existente e futura de montagem de luminárias, distância poste/meio-fio, classes de iluminação, largura de passeios, pistas e estacionamentos.

Como dados de saída, ou seja, a partir de cálculos e informações geradas pelo arquivo, temos os custos unitários das luminárias a partir de quantidades e potências selecionadas, custos dos reatores e dos braços; tais informações são obtidas a partir de um banco de dados dentro da própria planilha com custos de diversas tabelas de preços mescladas. As informações da aba de Dados Cadastrados serão fundamentais para as operações das demais abas.

A aba de Padrões, uma das mais importantes da planilha, executa a comparação entre os diversos logradouros e os dados cadastrados para fundir os que sejam semelhantes do ponto de vista de projeto, gerando assim padrões que podem ser simulados em software luminotécnico que podem representar mais de uma via. Entre os dados comparados estão, classificação, largura de via e passeio, altura de montagem, distâncias de poste/meio-fio e distância entre postes.

4. METODOLOGIA

Com o objetivo de otimizar a geração de padrões realizada pelo arquivo eletrônico do Procel Reluz, foi produzido um *script* feito em linguagem Python que tem por objetivo processar os dados de um levantamento de informações de ruas para execução de projeto luminotécnico.

4.1 Script em Python

Em propostas de projeto nos moldes do Procel Reluz, esse levantamento deve ser consolidado em planilha eletrônica

que contém informações como distância de poste e meio-fio, tamanho do passeio, largura da pista, distância entre postes, logradouro, e nomenclatura de cada poste. Além das informações anteriores, o arquivo eletrônico do Procel Reluz também conta com classificação das vias perante à NBR 5101, altura de montagem das luminárias, tamanho dos braços, e outros dados que serão desconsiderados ou mantidos como constantes neste estudo.

A principal finalidade do algoritmo produzido é realizar a comparação e mesclagem de vias que sejam iguais ou que tenham os parâmetros de projeto semelhantes o suficiente para justificar a execução de apenas um projeto luminotécnico que as represente.

Em um primeiro estágio, o software executa o pré-processamento dos dados, que consiste em arredondamentos dentro de limites estabelecidos para cada uma das grandezas, ou seja, para o múltiplo mais próximo de um parâmetro conhecido. Além disso, também é feito um tratamento de dados faltantes, onde estes são substituídos pelo próximo dado válido, dado que postes próximos tendem a ter grandezas semelhantes.

Os dados são armazenados em um *dataframe* pandas, onde cada linha corresponde a um poste e as colunas correspondem a: nome do logradouro, distância do poste ao meio-fio, distância entre postes, largura da pista, largura dos passeios e largura dos estacionamentos/acostamentos. Uma função de moda é aplicada à cada coluna para cada logradouro, e esses valores são armazenados em um outro *dataframe* de saída, que são os valores representativos para cada via considerando simulação e execução de projeto luminotécnico. Caso a grandeza não apresente moda válida, isto é, mais de um valor único predominante, a métrica utilizada é a escolha do maior número.

No segundo estágio do programa, em posse dos valores representativos das grandezas para cada logradouro, é realizada a formação dos padrões de vias, onde elas serão comparadas e perante semelhança suficiente, as mesmas serão mescladas em um mesmo padrão, o que representará a execução de somente uma simulação luminotécnica que contemple todos os logradouros mesclados.

Para junção das vias em padrões, foi adotado o seguinte procedimento: Primeiramente, o algoritmo fixa uma rua de referência, e cada parâmetro dela é comparado com cada uma das demais linhas do *dataframe*. Caso qualquer uma das variáveis seja maior ou possua uma diferença maior que o respectivo passo para menos, aquela via estará automaticamente rejeitada para o padrão da rua de referência. Caso contrário, aquela via entrará no padrão da rua de referência. Os passos (degraus) para cada grandeza de projeto das vias estão representados na Tabela 5 e são baseados no arquivo eletrônico das chamadas públicas do Procel Reluz.

Tabela 5. Degrau de cada grandeza das vias

Grandeza	Degrau [m]
Distância entre os postes	5
Largura da Pista	0,5
Largura do Passeio	0,5
Estacionamento/Acostamento	0,5
Distância do poste ao meio-fio	0,25

Este processo é exemplificado na Tabela 6, onde foi tomada como referência a Via A. A seguir, realizou-se a comparação dos parâmetros das demais ruas, representados na Figura 1. As vias B, C e E foram reprovadas em algum dos critérios, sendo o parâmetro sinalizado em vermelho (✘). A via D foi a única aprovada, dado que suas variáveis estão iguais ou a um degrau da respectiva variável de diferença. Então, seus valores serão ajustados para a formação do novo padrão. As variáveis ajustadas foram sinalizadas em verde (↑), e as que permaneceram inalteradas, em azul. O pseudocódigo abaixo representa como esse processo acontece para cada via de referência fixada.

```

enquanto  $n \leq n_{vias}$  faça
     $via_{ref}$  = array de parâmetros da via de referência
     $via_{atual}$  = array de parâmetros da via comparada
    deg = array de degraus de cada parâmetro
    se  $via_{ref} - via_{atual} \leq deg$  então
        Padrão da via de referência é adicionado no
        padrão da  $via_{atual}$ 
    fim se
     $n = n+1$ 
fim enquanto
    
```

Tabela 6. Exemplificação de formação de padrões

Via	Classificação	a	b	c	d
Via A	V3	35	2.0	0.75	6.5
Via B	V3	35	1.5	0.50	7.0 ✘
Via C	V2 ✘	35	2.0	0.75	6.5
Via D	V3	30 ↑	2.0	0.50 ↑	6.0 ↑
Via E	V3	35	1.5	0.25 ✘	6.5

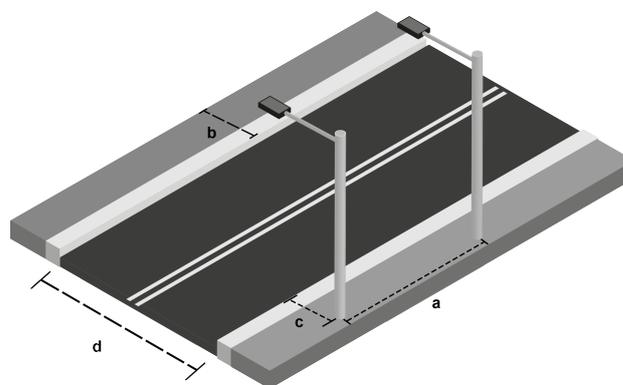


Figura 1. Esquema de uma via qualquer e seus parâmetros de projeto (a: distância entre postes, b: tamanho dos passeios, c: distância do poste ao meio-fio, d: largura da via)

Esse processo é repetido para cada linha do *dataframe*, e os resultados são armazenados em um dicionário com um padrão para cada via, onde as *keys* são as vias de referência e seus respectivos *values* são todas as ruas aprovadas para aquele padrão. Sendo assim, desenvolvido uma sequência de padrões que podem ter logradouros repetidos, portanto, o *script* irá selecionar os padrões finais otimizados usando o seguinte algoritmo.

```

Seleciona o padrão com o maior número de vias
se Há mais de um padrão com o maior número de vias
então
    Aplica-se o critério de pontuação de variável
fim se
    
```

Remove as vias do padrão selecionado de todos os padrões restantes
O padrão selecionado se torna um dos padrões finais

4.2 Critérios de pontuação de mudança de variável

No caso de dois padrões terem o mesmo número de logradouros mesclados, é necessário um critério de desempate. Foi implementado um sistema que pontua as mudanças de variáveis na ordem de sensibilidade de impacto ao projeto luminotécnico, como mostrado na Tabela 7.

Tabela 7. Pontuação das grandezas de projeto das vias

Grandeza	Peso
Distância entre os postes	3
Largura da Pista	2
Largura do Passeio	1
Distância poste ao meio-fio	1
Estacionamento	1

A grandeza Distância Entre Postes foi escolhida como sendo de maior impacto pois apresenta maior degrau. Dentre os restantes, o parâmetro de "Largura da Pista" foi escolhido como de maior importância, pois os critérios mínimos de grandezas fotométricas são maiores segundo a NBR 5101, e conseqüentemente, apresenta maior sensibilidade no projeto luminotécnico, o restante foi considerado como peso unitário. Para critério de desempate na formação dos padrões, a quantidade de mudanças em cada variável das vias mescladas será multiplicada pelo seu respectivo peso e somadas, sendo o padrão que apresentar o menor valor deste critério, considerado como prioridade pelo algoritmo.

4.3 Levantamento de Dados

O mapeamento dos pontos de iluminação, que basicamente é a verificação da quantidade de pontos de iluminação e suas localizações, é uma etapa essencial para o levantamento de dados.

Esta ação foi realizada utilizando a ferramenta do Google Earth Pro, onde é possível, de maneira remota, estimar alguns dados necessários para o mapeamento. Esta ferramenta não substitui por completo o levantamento dos dados em campo, porém, além de auxiliar para o mesmo, é uma das melhores alternativas encontradas para suprir alguns dos problemas de distanciamento geográfico.

Por meio do Google Earth Pro foi possível visualizar as vias que compõem o bairro escolhido, de modo que foram retirados os dados: distância entre os postes, distância dos postes ao meio fio, altura de montagem das luminárias, e as dimensões dos passeios e vias de forma manual e utilizando a ferramenta de medição do programa.

4.4 Projetos Luminotécnicos

A elaboração dos projetos luminotécnicos foram realizadas por meio do software DIALux Evo, que é a ferramenta de simulação utilizada para projetos luminotécnicos em chamadas públicas do Procel Reluz, visto que além de realizar os cálculos luminotécnicos, que apresentam um certo grau de dificuldade se feitos manualmente, é gratuito. O software pode ser utilizado para simulações de áreas

internas e externas, e possui um módulo específico para Iluminação Pública.

As características técnicas consideradas no software seguem as normas de iluminação internacionais, as normas europeias e estadunidense. Desta forma, como a NBR 5101 é baseada na norma europeia, são necessários apenas alguns ajustes de valores para adequar o programa a norma nacional.

Sobre a área destinada a Iluminação de vias no software DIALux, há possibilidade modelagem da rua, na qual pode-se inserir passeios, pista de estacionamentos, pista de ciclistas, acostamentos e faixa verde. Além disso, são selecionadas as classificações das vias e dos passeios, neste caso, é interessante frisar que não há a classificação V1, V2, V3, V4 e V5, da NBR 5101; sendo necessário utilizar a classificação C1, C2, C3, C4 e C5, que consideram apenas a iluminância média e a uniformidade da via, como a classificação brasileira, às vezes sendo necessária a mudança dos valores para obedecer à norma.

O DIALux realiza os cálculos baseado na malha de medição, que para a iluminação pública é localizada do meio de um poste ao meio do próximo poste. Deste modo, para ilustrar o nível de iluminância na área são utilizadas as cores, no qual as que apresentam maior comprimento de onda (rosa, vermelho, amarelo, verde, etc.) representam os maiores níveis de iluminância e as cores de menor comprimento de onda (azul, roxo e violeta) representam os menores níveis dessa grandeza.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Utilizando a metodologia apresentada, foi realizado o levantamento dos dados citados anteriormente, do Conjunto Universitário (Figura 2), localizado na cidade de Rio Branco/AC e foram coletadas informações de 28 ruas, o que compreende as duas primeiras partes do bairro, que é dividido em três partes.



Figura 2. Imagem de satélite do Conjunto Universitário obtida com Google Earth

Em posse do *dataframe* com os dados de cada poste, foi feito o pré-processamento, obtendo uma Tabela com as informações representativas de cada grandeza para cada via.

Dos 28 logradouros, o algoritmo apresentado gerou 11 padrões otimizados, representando uma redução de aproximadamente 60% de projetos luminotécnicos realizados, o que confere uma redução de esforço humano, o que é escalonável com o tamanho da área que irá receber o

retrofit. A Tabela 8 mostra a quantidade de vias mescladas por padrão otimizado.

Tabela 8. Quantidades de vias por padrão

Padrão	Número de vias
A	9
B	6
C	3
D	2
E	2
F-K	1 cada

Realizaram-se projetos luminotécnicos no DIALux Evo para todas as vias utilizando como opções a série de luminárias TAU da Tecnowatt de 50W, 60W, 64W, 72W e 80W. O critério de escolha da luminária foi definido como a menor potência que atenda aos requisitos da NBR 5101, assim, respeitando a eficiência energética e os critérios mínimos das grandezas fotométricas para uma iluminação de via satisfatória.

A Figura 3 mostra o histograma da quantidade de luminárias das vias que foram iguais e maiores que a da via de referência do seu respectivo padrão.

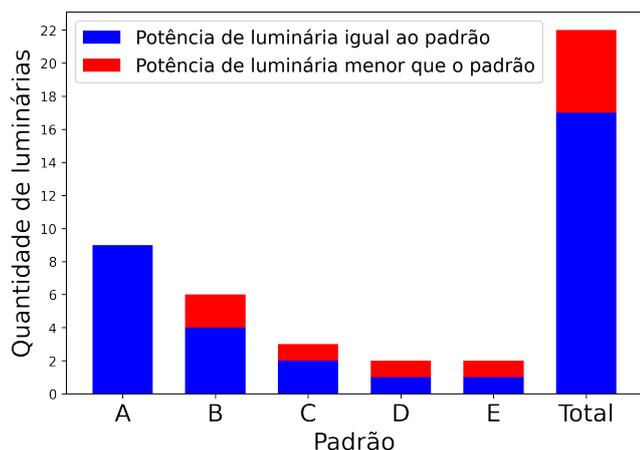


Figura 3. Histograma da quantidade de luminárias por padrão, discriminadas por potência

Dessa forma, dos 22 padrões otimizados gerados com mais de uma via, aproximadamente 77,27% tiveram a potência das luminárias, determinada em projeto luminotécnico, iguais a da via de referência do padrão, enquanto o restante apresentou potência menor.

Observa-se da Tabela 9 que as diferenças de potência entre os projetos da via de referência e demais que foram mescladas é mínima, dado que a luminária projetada é no máximo, um degrau imediatamente inferior dentro do conjunto utilizado para o projeto, representando uma diferença variando de 6,25% a 11,10% em relação à potência original.

6. CONCLUSÃO

A partir dos resultados apresentados, no escopo da produção e execução do *script*, observamos que a linguagem Python é uma poderosa ferramenta para produção de algoritmos de automatização de processos sistemáticos e

Tabela 9. Potência dos projetos da via por padrão

Padrão Otimizado	Potência da via de referência	Potência diferente da referência	Diferença
A	64W	X	0
B	64W	60W	4W
C	72W	64W	8W
D	64W	60W	4W
E	64W	60W	4W

metodológicos como o descrito neste trabalho, o de formação de padrões de vias para projetos de IP, dado que é uma linguagem de programação acessível, e apresenta *frameworks* capazes de lidar facilmente com dados tabulados, como o pandas.

Quanto a metodologia produzida, vimos que a redução de padrões alcançou 60% no estudo de caso realizado, sua utilidade é escalonável e cresce conforme o número de vias da área a receber um possível *retrofit* ou expansão de parque de iluminação.

Em relação a eficiência energética dos padrões otimizados, concluímos que a metodologia utilizada não a prejudica, visto que as vias que apresentaram projetos de luminárias que usam potência diferente das vias de referência possuem uma diferença mínima ou nula.

Ressalta-se porém, que apesar dos resultados obtidos, o algoritmo desenvolvido ainda encontra-se em estágio embrionário e recomenda-se o desenvolvimento de *features* adicionais que possam levar em consideração mais características que impactam diretamente na eficiência energética do projeto, como quantidade de pontos, classificação de vias e diferentes comprimentos de braço. Como trabalhos futuros, cabem a utilização de métodos de Machine Learning e Clusterização, além de implementação de uma plataforma acessível a projetistas e ferramentas adicionais para auxiliar no processamento de dados e na elaboração de projetos de iluminação pública.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao eAmazônia - Energia Sustentável e Inovação, ao Programa Nacional de Conservação de Energia (Procel) e à Eletrobras pelo apoio no desenvolvimento dessa pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ABNT, N. (2018). 5101. iluminação pública. *Terceira Edição*, 4.
- Antunes, L.E.D., dos Santos, E.M., dos Santos, J.O., Bender, V.C., and Neto, J.P.J. (2018). Optimization of street lighting design following the brazilian standard using pso. In *2018 Simposio Brasileiro de Sistemas Eletricos (SBSE)*, 1–6. IEEE.
- Bernades, D.M., Celeste, W.C., and Chaves, G.d.L.D. (2020). Eficiência energética na iluminação pública urbana: revisão bibliográfica dos equipamentos e tecnologias. *Research, Society and Development*, 9(7), e606973957–e606973957.
- De Oliveira, R.A., de Medeiros Júnior, M.F., and Menezes, R.F.A. (2014). Application of genetic algorithm for

- optimization on projects of public illumination. *Electric Power Systems Research*, 117, 84–93.
- MME, M.D.M.E.E. (2011). Plano nacional de eficiência energética.
- Nepomuceno, M.d.S., Casagrande, C.G., de Jesus, H.C.d.S., and de Almeida, A.Z.G. (2019). Retrofit da iluminação pública através do emprego de luminárias led. *Congresso Técnico Científico de Engenharia e da Agronomia*.
- Reluz, P. (2021). Chamada pública procel reluz 2021 - iluminação pública a led. URL <https://eletrobras.com/pt/Paginas/Chamada-Publica-Procel-Reluz.aspx>.
- Shintabella, R., Abdullah, A., and Hakim, D. (2021). Application of genetic algorithm in optimizing redesign of street lighting. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, volume 1098, 042036. IOP Publishing.
- Souto, É.F.d.A. (2022). Análise comparativa de levantamento remoto e in loco para projetos de iluminação pública.