

Análise do comportamento da iluminação pública baseada em LED ao longo de sua vida útil

Álvaro Gotelip Tostes Costalonga

Graduando, UFJF, Brasil
alvarogotelip@gmail.com

Elian Henrique Silva Pereira

Graduando, UFJF, Brasil
elianhenrique.es@gmail.com

Cristiano Gomes Casagrande

Professor Doutor, UFJF, Brasil
cristiano.casagrande@ufjf.br
<https://orcid.org/0000-0003-1409-2471>

Danilo Pereira Pinto

Professor Doutor, UFJF, Brasil
danilo.pinto@ufjf.br

Análise do comportamento da iluminação pública baseada em LED ao longo da vida útil

RESUMO

Objetivo – Este trabalho tem como objetivo analisar o comportamento da iluminação pública baseada em LED ao longo de sua vida útil, considerando sua eficiência, confiabilidade e desempenho ao longo do tempo. A pesquisa foca na avaliação das curvas de iluminância média e luminância média, identificando o impacto do envelhecimento da tecnologia na qualidade da iluminação urbana.

Metodologia – A pesquisa foi conduzida por meio da análise de medições de iluminância e luminância ao longo da vida útil das luminárias LED instaladas em um sistema de iluminação pública. Foram coletados dados em diferentes períodos operacionais, permitindo um comparativo entre os primeiros anos de funcionamento e o fim da vida útil especificada pelos fabricantes.

Originalidade/relevância – O estudo preenche uma lacuna teórica ao investigar empiricamente a degradação da eficiência luminosa de sistemas de iluminação pública baseados em LED. A análise quantitativa contribui para a avaliação da durabilidade e da confiabilidade dessa tecnologia, reforçando sua relevância para políticas públicas e estratégias de eficiência energética.

Resultados – Os resultados indicam uma redução progressiva na iluminância e luminância ao longo do tempo, embora os valores permaneçam dentro dos parâmetros estabelecidos pela norma NBR 5101. O estudo demonstrou que o sistema LED mantém um desempenho satisfatório mesmo após 50.000 horas de operação, sugerindo uma vida útil superior à estimada pelos fabricantes.

Contribuições teóricas/metodológicas – A pesquisa fornece uma abordagem sistemática para a avaliação do desempenho de sistemas de iluminação pública baseados em LED, utilizando medições reais e comparações normativas. Além disso, destaca a importância do monitoramento contínuo da degradação luminosa para otimizar a manutenção e substituição das luminárias.

Contribuições sociais e ambientais – A implementação da tecnologia LED na iluminação pública promove maior eficiência energética, reduzindo o consumo de eletricidade e os custos de manutenção. O estudo reforça a importância da adoção de soluções sustentáveis para iluminação urbana, contribuindo para cidades mais seguras, eficientes e ambientalmente responsáveis.

PALAVRAS-CHAVE: Iluminação Pública. LED. Luminotécnica. Iluminância.

Analysis of the behavior of LED based street lighting over its useful

ABSTRACT

Objective – This study aims to analyze the behavior of LED-based street lighting over its useful life, considering its efficiency, reliability, and performance over time. The research focuses on evaluating the average illuminance and luminance curves, identifying the impact of aging on the quality of urban lighting.

Methodology – The study was conducted through the analysis of illuminance and luminance measurements throughout the lifespan of LED luminaires installed in a public lighting system. Data were collected over different operational periods, allowing a comparative assessment between the early years of operation and the end of the manufacturer-specified lifespan.

Originality/relevance – This study fills a theoretical gap by empirically investigating the degradation of luminous efficiency in LED-based public lighting systems. The quantitative analysis contributes to assessing the durability and reliability of this technology, reinforcing its importance for public policies and energy efficiency strategies.

Results – The findings indicate a progressive reduction in illuminance and luminance over time, although the values remain within the parameters established by the NBR 5101 standard. The study demonstrated that the LED system maintains satisfactory performance even after 50,000 hours of operation, suggesting a lifespan longer than estimated by manufacturers.

Theoretical/methodological contributions – The research provides a systematic approach to evaluating the performance of LED-based public lighting systems, using real measurements and normative comparisons. Additionally, it highlights the importance of continuous monitoring of luminous degradation to optimize the maintenance and replacement of luminaires.

Social and environmental contributions – The implementation of LED technology in public lighting promotes greater energy efficiency, reducing electricity consumption and maintenance costs. The study reinforces the importance of

adopting sustainable urban lighting solutions, contributing to safer, more efficient, and environmentally responsible cities.

KEYWORDS: Street Lighting. LED. Lighting technology. Illuminance.

Análisis del comportamiento del alumbrado público basado en LED a lo largo de su vida útil

RESUMEN

Objetivo – Este estudio tiene como objetivo analizar el comportamiento del alumbrado público basado en LED a lo largo de su vida útil, considerando su eficiencia, confiabilidad y desempeño con el tiempo. La investigación se centra en la evaluación de las curvas de iluminancia media y luminancia media, identificando el impacto del envejecimiento en la calidad del alumbrado urbano.

Metodología – El estudio se realizó a través del análisis de mediciones de iluminancia y luminancia durante la vida útil de luminarias LED instaladas en un sistema de alumbrado público. Se recopilaron datos en diferentes períodos operativos, permitiendo una evaluación comparativa entre los primeros años de funcionamiento y el final de la vida útil especificada por los fabricantes.

Originalidad/relevancia – El estudio llena un vacío teórico al investigar empíricamente la degradación de la eficiencia luminosa en sistemas de alumbrado público basados en LED. El análisis cuantitativo contribuye a evaluar la durabilidad y confiabilidad de esta tecnología, reforzando su importancia para las políticas públicas y las estrategias de eficiencia energética.

Resultados – Los hallazgos indican una reducción progresiva en la iluminancia y luminancia con el tiempo, aunque los valores se mantienen dentro de los parámetros establecidos por la norma NBR 5101. El estudio demostró que el sistema LED mantiene un rendimiento satisfactorio incluso después de 50.000 horas de operación, sugiriendo una vida útil superior a la estimada por los fabricantes.

Contribuciones teóricas/metodológicas – La investigación proporciona un enfoque sistemático para evaluar el desempeño de los sistemas de alumbrado público basados en LED, utilizando mediciones reales y comparaciones normativas. Además, destaca la importancia del monitoreo continuo de la degradación luminosa para optimizar el mantenimiento y la sustitución de luminarias.

Contribuciones sociales y ambientales – La implementación de la tecnología LED en el alumbrado público promueve una mayor eficiencia energética, reduciendo el consumo de electricidad y los costos de mantenimiento. El estudio refuerza la importancia de adoptar soluciones sostenibles para la iluminación urbana, contribuyendo a ciudades más seguras, eficientes y ambientalmente responsables.

PALABRAS CLAVE: Iluminación Pública. LED. Luminotecnia. Iluminancia.

1 INTRODUÇÃO

A iluminação pública (IP) refere-se ao sistema de iluminação instalado em espaços públicos, como ruas, praças, parques, universidades e outras áreas de uso comum da população do local onde estão inseridas. Atuando como um serviço essencial à qualidade de vida nas cidades, contribuindo para a segurança dos cidadãos, segurança do tráfego de pedestres e veículos, incremento do comércio e turismo no período noturno, além de destacar edifícios e monumentos de interesse histórico e cultural.

Os sistemas de IP no Brasil vêm atravessando nos últimos anos um período de mudanças significativas, que implicam em novos paradigmas, desafios e perspectivas para o setor. Essas transformações ganharam significativa expressão com a transferência dos ativos de IP para os municípios, processo que passou a exigir dos gestores municipais maior preparo e capacitação para assumir esse serviço público essencial que anteriormente não era de sua responsabilidade. Além disso, novas tecnologias de iluminação, como os diodos emissores de luz (LEDs), surgiram como alternativa às tecnologias convencionais, acarretando muitos impactos e alterações de conceitos no projeto, gestão e manutenção dos sistemas de IP (CASAGRANDE, 2021).

Atualmente, os sistemas de IP geralmente consistem em postes ou suportes nos quais são instaladas luminárias ou lâmpadas. Também é muito comum ver lâmpadas instaladas no chão, principalmente como artigos de decoração e paisagismo. Essas luminárias são alimentadas através de eletricidade e podem funcionar a partir de vários tipos de tecnologia, como lâmpadas incandescentes, fluorescentes, vapor de mercúrio, vapor de sódio e multivapores metálicos. Nos últimos anos, a tecnologia LED (*Light-Emitting Diode*) tem sido amplamente pesquisada, difundida e utilizada devido à sua alta eficiência energética se comparada aos outros tipos citados anteriormente, além de apresentar elevada vida útil, que pode alcançar 50.000 horas de uso, o que corrobora com as tendências atuais sobre sustentabilidade (FONSECA, 2023).

1.1 Considerações Iniciais

O conceito de iluminação pública data desde a época do homem primitivo. Antes da descoberta do fogo e do homem aprender a manipulá-lo, a luz solar era o único meio de iluminação disponível para as atividades antrópicas. Após a descoberta do fogo, diversos tipos de métodos de iluminação foram criados, sendo eles: tochas, lamparinas, lucernas, candelabros, velas, lâmpadas, entre outros. Ao longo da história, essas tecnologias foram sendo aplicadas para fins públicos, como a iluminação de vilas, pavimentos, cidades, aldeias, praças e edifícios (G-LIGHT, 2021).

1.1.1 Iluminação pública no Brasil e no mundo

A busca pela sustentabilidade ambiental e pela eficiência energética vem impulsionando cada vez mais a implementação de novas tecnologias. Dessa forma, as lâmpadas LED têm sido cada vez mais utilizadas por trazerem uma economia de até 70% em alguns casos, se comparadas a outros tipos de lâmpadas.

Outra forma de se atingir uma melhor eficiência energética é através de sensores de luz, os quais detectam se o ambiente onde estão inseridos possui iluminação natural suficiente

para que não seja necessário ligar as lâmpadas nas quais os sensores estão acoplados e, conseqüentemente, a iluminação artificial será otimizada a funcionar apenas quando for estritamente necessário (ENGIE, 2021).

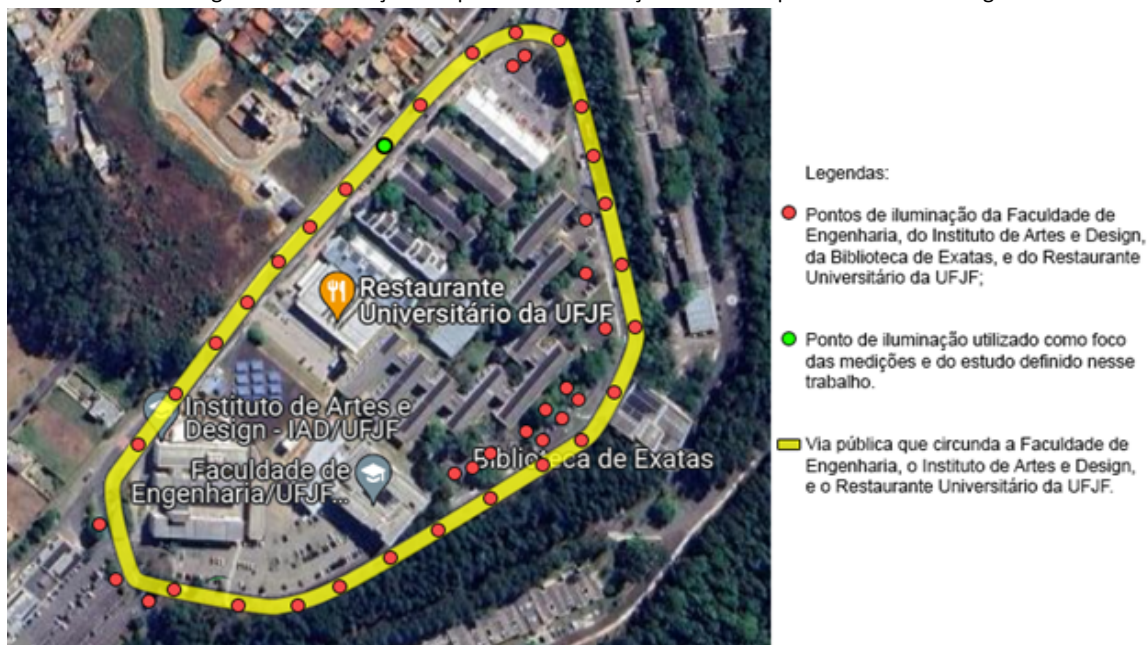
No Brasil, estima-se que existam pelo menos 18 milhões de pontos de luz apenas na área de IP, onde apenas 5% deste montante corresponde a lâmpadas de LED. Tratando-se de cidades menores, a economia de energia ao se aplicar novas tecnologias pode não ser muito grande quantitativamente, mas para os grandes centros urbanos o valor economizado pode chegar à casa dos milhões de reais, já que aproximadamente os municípios gastam de 3 a 5% de seus orçamentos com IP (ENGIE, 2023).

1.1.2 Iluminação pública na Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF)

O convênio ECV-312/2009, denominado “Novas Tecnologias em Iluminação Pública”, foi fruto da parceria entre o PROCEL/Eletróbrás e a Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). O projeto visava substituir a tecnologia anterior de IP de um setor da UFJF, que consistia em luminárias equipadas com lâmpadas de vapor de sódio em alta pressão de 250W, por um sistema experimental de iluminação externa utilizando luminárias LED. Após a instalação das novas 44 lâmpadas em 2012, o convênio também contemplou a análise de desempenho elétrico e luminotécnico da instalação ao longo de um período de avaliação que já se estende por mais de uma década (NOGUEIRA, 2015).

O sistema implementado com as 44 luminárias de LED pode ser visto na Figura 1.

Figura 1 – Distribuição dos pontos de iluminação instalados pela Faculdade de Engenharia



Fonte: Autores

1.2 Motivações e Objetivos

Este artigo tem como objetivo analisar e reavaliar o sistema de IP da UFJF. Serão abordados aspectos fotométricos, e, com o auxílio de equipamentos como o luxímetro e o luminancímetro, será analisada a degradação ao longo dos anos do fluxo luminoso, da iluminância e da luminância média.

Portanto, este trabalho pretende realizar um comparativo fotométrico ao longo da vida útil das luminárias instaladas, que será feito por meios técnicos e simulações, onde será possível avaliar se a nova luminária está atendendo os requisitos mínimos quanto à norma ABNT NBR 5101 e quanto à degradação de até 30% ao fim da sua vida útil (ROSITO, 2009). Também serão propostas melhorias, baseadas nos dados medidos e na análise feita sobre eles.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Atualmente são utilizados majoritariamente quatro tipos de lâmpadas na iluminação pública. Dentre esses quatro tipos, três deles, as de vapor de mercúrio, de vapor de sódio e de iodetos metálicos, são caracterizados como o grupo das lâmpadas de descarga em alta pressão, sendo o último tipo o LED (GARCIA, 2022). Apesar do crescimento na utilização do LED e de suas diversas vantagens sobre as outras tecnologias, as lâmpadas de descarga em alta pressão ainda dominam o cenário da IP, sendo o tipo mais utilizado (BANCO MUNDIAL, 2017).

No Quadro 1, é possível ver uma comparação entre os tipos de lâmpadas supracitados em relação a alguns de seus parâmetros, como eficácia luminosa, vida útil, índice de reprodução de cor (IRC) e temperatura de cor correlata (TCC).

Quadro 1 – Comparação entre tipo de lâmpadas

Lâmpadas	Efic. Luminosa [lm/W]	Vida Útil [h]	IRC [%]	TCC [K]
Vapor de Sódio	50 a 150	16000 a 32000	20 a 60	1900 a 2200
Vapor de Mercurio	35 a 65	9000 a 20000	16 a 52	3600 a 6000
Multimetálicos	70 a 130	15000	70 a 95	3600 a 5600
LED	70 a 160	50000	mín. 80	2700 a 6500

Fonte: BANCO MUNDIAL (2017) e Adaptado de GOUVEIA (2019).

As lâmpadas LED apresentam uma vida útil maior, com valores que se aproximam do dobro dos outros tipos. Além disso estão diretamente ligadas a um melhor aproveitamento do uso da energia uma vez que nem toda a luz gerada pelas lâmpadas de descarga é iluminação útil e, portanto, deve ser levado em consideração ao realizar uma comparação entre os tipos de luminária outros fatores ao fazer a comparação entre tais tecnologias (ALADIN, 2023). Dentre eles podemos citar o:

- **Aproveitamento luminoso:** devido às suas configurações físicas, as lâmpadas de descarga emitem luz em um alcance de 360°, fazendo-se necessário o uso de superfícies reflexivas para direcionar a luz que seria perdida para a direção correta. Essas superfícies

geralmente são encontradas dentro das próprias luminárias, mas por não se tratar de superfícies reflexivas perfeitas, parte do fluxo luminoso original da lâmpada é perdido. No caso das lâmpadas LED, que possuem uma disposição plana, não existe perda do fluxo luminoso, pois toda a luz é direcionada para a direção desejada, não necessitando de meios reflexivos.

- **Espectro luminoso:** o espectro luminoso é a gama de radiações eletromagnéticas emitidas por fontes de luz, sendo a luz visível apenas uma pequena parte desse espectro correspondente à parte que conseguimos ver com olho nu e, para efeitos práticos, é onde a maior parte da emissão das lâmpadas deve se encontrar preferencialmente. Os LEDs podem chegar a ter até 75% de suas emissões dentro do espectro visível. Já para as lâmpadas de descarga, esse valor corresponde a apenas 25% de suas emissões, uma vez que boa parte da luz produzida é dissipada na forma de ultravioleta e infravermelho, que não são detectados pelo olho humano.
- **Tempo de Acendimento:** as lâmpadas de descarga possuem esse nome por necessitarem de uma alta descarga elétrica para ionizar o gás presente dentro das mesmas e emitir luz. Para que isso aconteça, são utilizados os reatores. O processo todo de ionização para o completo acendimento das lâmpadas de descarga pode levar alguns minutos, fazendo com que certos tipos de lâmpadas de alta pressão precisem de 2 a 15 minutos para o acendimento completo (MATTEDE, 2018). Já as lâmpadas LED possuem acendimento quase instantâneo.
- **Manutenção do fluxo luminoso e vida útil:** a vida útil das lâmpadas é definida como o tempo em que ela apresenta uma depreciação de 30% no seu fluxo luminoso original (ROSITO, 2009). Dessa forma, as lâmpadas LED chegam a manter até 70% de seu fluxo luminoso por quase o dobro do tempo que outros tipos de lâmpadas, já que podem chegar a até 50.000 horas, enquanto as de vapor de sódio chegam até no máximo 32.000 horas, sendo essa a maior vida útil entre as lâmpadas de descarga.
- **Sustentabilidade:** as lâmpadas de descarga funcionam através da ionização do gás presente dentro delas. Se não houver o descarte correto, esses gases podem poluir o ambiente, além de causar problemas de saúde se houver inalação deles. Além disso, por se tratar de uma tecnologia mais antiga, não conta com altos níveis de reutilização e reciclagem como os LEDs que podem chegar a 95% de componentes recicláveis. Como os LEDs são altamente recicláveis e não possuem gases tóxicos, geram menos poluição sólida e nenhuma poluição gasosa (ALADIN, 2023).

3 METODOLOGIA

Para analisar o comportamento ao longo da vida útil foram analisados dados coletados durante os primeiros anos após sua instalação e nos anos próximos ao fim do tempo fornecido pelo fabricante, a fim de comparar a eficácia dela ao longo da sua vida útil.

Durante a construção deste estudo ocorreu a atualização da ABNT NBR 5101, no ano de 2024. Contudo, para garantir a comparabilidade com as medições anteriores, foi decidida a utilização dos critérios e metodologias das edições de 2012 e 2018 da norma, uma vez que esses parâmetros foram aplicados durante as medições realizadas desde o início do acompanhamento, permitindo uma avaliação consistente e comparativa entre os resultados. Essa escolha visa garantir a continuidade e a integridade das análises ao longo do tempo, respeitando as atualizações normativas sem comprometer a comparabilidade dos dados.

A norma de iluminação pública ABNT NBR 5101 (ABNT, 2018) preconiza que as vias públicas sejam iluminadas de acordo com a classificação do tipo de via e fluxo de veículos. Por ser uma via local caracterizada por tráfego leve, ela pertence à classe de iluminação V5, que tem os requisitos mínimos de luminosidade descritos no Quadro 2 (NOGUEIRA, 2013).

Quadro 2 – Requisitos mínimos de iluminância média, uniformidade e luminância média para a classe de iluminação V5.

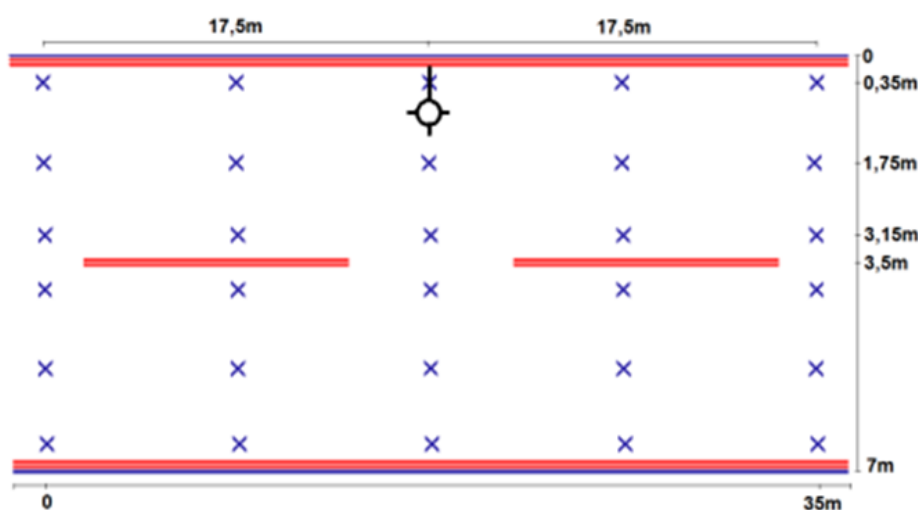
Classe	E_{med} [lux]	$U_o = E_{mim}/E_{med}$	$L_{med,min}$ [cd/m ²]
V5	5	0,2	0,50

Fonte: ABNT (2018).

3.1 Coleta de dados

Foram coletados os valores de iluminância e luminância seguindo a malha de medição citada na norma NBR 5101 (ABNT, 2018) para uma pista com duas faixas de rolamento constrói-se uma malha de 30 pontos posicionado em um trecho com três luminárias, com 3,5 metros de largura em cada faixa, e um vão de 35 metros entre os postes, conforme é representada na Figura 2.

Figura 2 – Malha de Medição de iluminância e luminância da via em estudo



Fonte: Nogueira (2013)

Os dados apresentados serão tratados e, para avaliação, serão apresentados conforme os requisitos citados anteriormente no quadro 2. Para isto é feito o tratamento dos dados de forma a calcular a iluminância média (E_{med}), uniformidade (U_o) e luminância média (L_{med}).

$$E_{med} = \frac{\sum E}{m} \quad (1) \quad U_o = \frac{E_{max}}{E_{med}} \quad (2) \quad L_{med} = \frac{\sum L}{m} \quad (3)$$

Conforme visto na equação (1) e (3) a iluminância média e a luminância média são dadas pela razão do somatório de todas as medidas realizadas e o número total de medidas (m).

Enquanto a uniformidade é obtida através da divisão do maior índice de iluminância coletado pela iluminância média em cada medição, como visto na equação (2).

Os dados apresentados neste artigo compreendem dois intervalos de tempo, considerando os primeiros anos de operação das luminárias estudadas e próximo ao fim da vida útil. Sendo assim, foram feitas medidas entre os anos de 2012 e 2014, avaliando as primeiras 13.000 horas de funcionamento da luminária, e o segundo período avaliou um intervalo de aproximadamente 15.000 horas do tempo de operação durante os anos de 2019 a 2023.

3.2 Análise dos Dados

No estudo do decaimento dos parâmetros analisados nos LEDs, diversos fatores ambientais podem introduzir erros significativos nas medições. As condições climáticas no momento da medição e ao longo do dia podem causar variações significativas nos resultados. A ocorrência de chuva em momentos anteriores à medição acaba por alterar o índice de reflexão de luz no asfalto, impactando significativamente nas medições de luminância. A sujeira acumulada no asfalto pode refletir ou absorver luz, alterando os valores reais de luminância. Além disso, fontes externas de luminosidade, como luzes de veículos e iluminação de prédios no entorno, podem interferir nas medições, introduzindo erros externos que dificultam a obtenção de dados precisos. Portanto, ao analisar o decaimento luminoso dos LEDs, é essencial considerar e, quando possível, corrigir esses fatores, a fim de obter uma avaliação mais precisa e confiável da vida útil dos LEDs.

No presente estudo, com foco na medição do decaimento de iluminância e luminância de um sistema de IP a LED, o tratamento dos dados consistiu em uma etapa de limpeza, onde os valores anômalos foram identificados e removidos. Após essa etapa, os valores restantes foram utilizados para gerar gráficos ilustrativos que representam a tendência de decaimento ao longo do período observado. Para tal, também foi aplicada uma média móvel de período 5, com o intuito de suavizar as flutuações e destacar a tendência geral de redução na série temporal observada. Essa abordagem permitiu uma visualização mais clara e precisa da degradação.

4 RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados os dados das medições para a iluminância e luminância em todos os intervalos já descritos, e, posteriormente, serão feitas considerações sobre o decaimento observado.

4.1 Iluminância

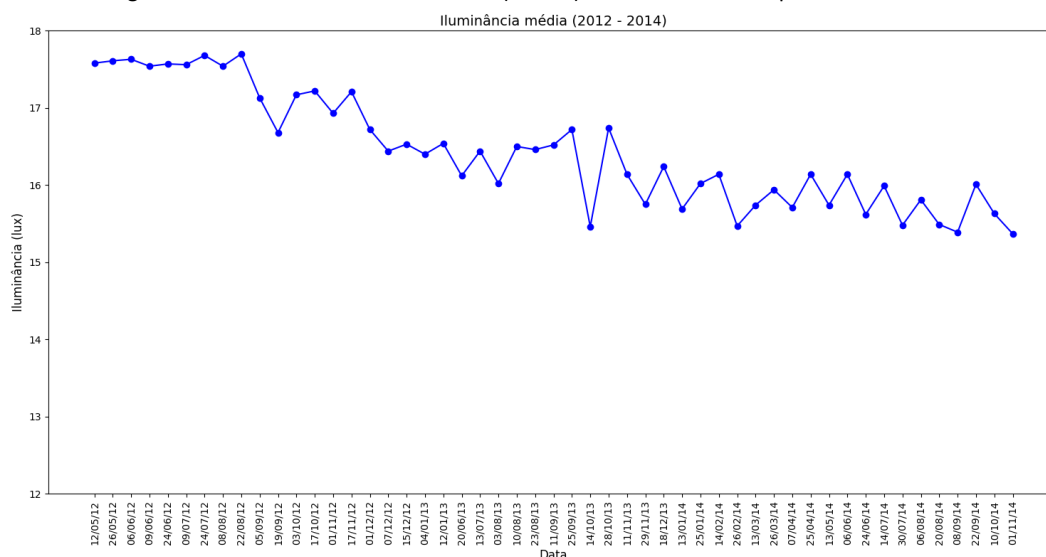
Os valores expostos na tabela do Quadro 3 e na Figura 3, são referentes às medições realizadas durante o primeiro intervalo de tempo, que engloba o período de abril de 2012 a novembro de 2014.

Quadro 3 – Valores coletados de iluminância média no primeiro intervalo de tempo

Data da medição	Iluminância Média [lux]	Data da medição	Iluminância Média [lux]
12/05/2012	17,58	25/09/2013	16,72
26/05/2012	17,61	14/10/2013	15,46
06/06/2012	17,63	28/10/2013	16,74
09/06/2012	17,54	11/11/2013	16,14
24/06/2012	17,57	29/11/2013	15,75
09/07/2012	17,56	18/12/2013	16,24
24/07/2012	17,68	13/01/2014	15,69
08/08/2012	17,54	25/01/2014	16,02
22/08/2012	17,7	14/02/2014	16,14
05/09/2012	17,13	26/02/2014	15,47
19/09/2012	16,68	13/03/2014	15,74
03/10/2012	17,17	26/03/2014	15,94
17/10/2012	17,22	07/04/2014	15,71
01/11/2012	16,93	25/04/2014	16,14
17/11/2012	17,21	13/05/2014	15,74
01/12/2012	16,72	06/06/2014	16,14
07/12/2012	16,44	24/06/2014	15,62
15/12/2012	16,53	14/07/2014	15,99
04/01/2013	16,4	30/07/2014	15,48
12/01/2013	16,54	06/08/2014	15,81
20/06/2013	16,12	20/08/2014	15,49
13/07/2013	16,44	08/09/2014	15,39
03/08/2013	16,02	22/09/2014	16,01
10/08/2013	16,5	10/10/2014	15,63
23/08/2013	16,46	01/11/2014	15,37
11/09/2013	16,52		

Fonte: Coletado pelos autores.

Figura 3 – Gráfico de iluminância média (em lux) no intervalo de tempo de 2012 a 2014



Fonte: Autores

O Quadro 4 é referente aos dados do segundo intervalo de tempo analisado, compreendendo de agosto de 2019 a agosto de 2023. As medições de iluminância realizadas em

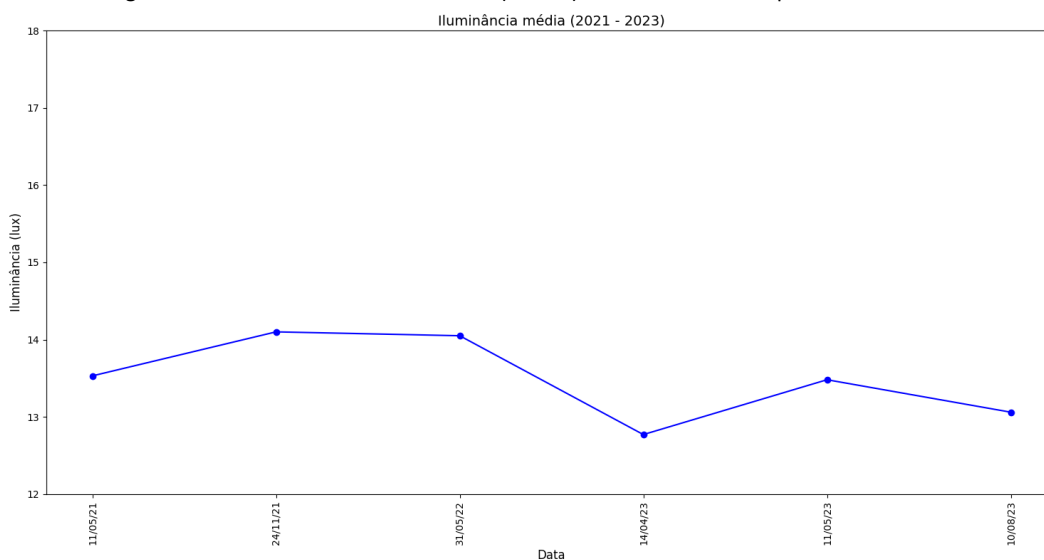
2019 foram excluídas da análise devido à presença de dados anômalos, que comprometem a confiabilidade dos resultados. Após investigação, verificou-se que essas inconsistências foram ocasionadas por falhas no processo de calibração dos equipamentos utilizados, resultando em registros imprecisos e inviabilizando sua utilização no estudo. Sendo assim, o Quadro 4 e o gráfico da Figura 4 apresentam dados de 2021 a 2023.

Quadro 4 – Valores coletados de iluminância média no segundo intervalo de tempo

Data da medição	Iluminância Média [lux]
11/05/2021	13,52802
24/11/2021	14,10487
31/05/2022	14,05033
14/04/2023	12,76722
11/05/2023	13,4777
10/08/2023	13,0595

Fonte: Coletado pelos autores.

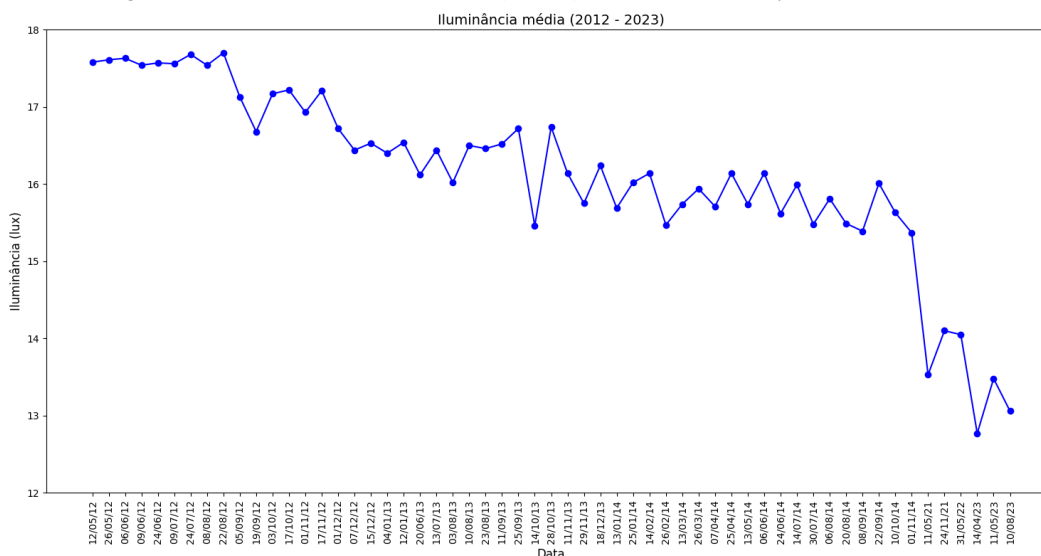
Figura 4 – Gráfico de iluminância média (em lux) no intervalo de tempo de 2021 a 2023



Fonte: Autores

A Figura 5 se refere ao período de 2012 a 2023, englobando a totalidade das medições.

Figura 5 – Gráfico de iluminância média (em lux) no intervalo de tempo de 2012 a 2023



Fonte: Autores

Analisando o perfil da iluminância, pode-se observar que os dados do primeiro intervalo são compostos por 51 medições, realizadas entre 12/05/2012 e 01/11/2014, possuindo um valor médio de 16,4316 lux; o maior valor foi de 17,7 lux, na nona medição da série, realizada no dia 22/08/2012; e o menor valor foi de 15,37 lux na última medição da série no dia 01/11/2014. A variação foi de 2,33 lux, apresentando um decaimento percentual de cerca de 13,1638% do valor máximo encontrado.

O segundo intervalo, composto por 7 medições (uma excluída por erros de medição detectados posteriormente) realizadas entre 11/05/2019 e 10/08/2023, apresenta um valor médio de 13,498 lux, com o maior valor sendo de 14,10 lux no dia 24/11/2021, e o menor sendo 12,76722 lux no dia 10/08/2023.

4.2 Luminância

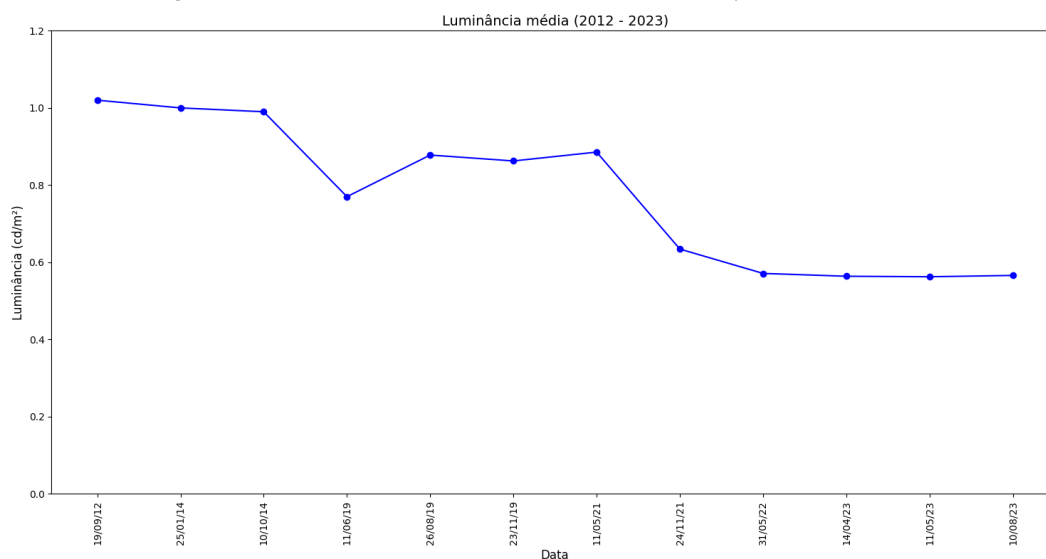
Os valores expostos no Quadro 5 e na Figura 6 são referentes às medições totais realizadas de outubro de 2012 a agosto de 2023.

Quadro 5 – Valores coletados de luminância média

Data da medição	Luminância Média [cd/m²]
19/09/2012	1,02
25/01/2014	1
10/10/2014	0,99
11/06/2019	0,77
26/08/2019	0,8778
23/11/2019	0,8626
11/05/2021	0,8856
24/11/2021	0,6341
31/05/2022	0,5713
14/04/2023	0,5638
11/05/2023	0,5625
10/08/2023	0,5659

Fonte: Coletado pelos autores.

Figura 6 – Gráfico de luminância média no intervalo de tempo de 2012 a 2023



Fonte: Autores

Os dados para a luminância são compostos por 12 medições realizadas entre 12/09/2012 e 10/08/2023, com um valor médio de 0,7753 cd/m², sendo o maior valor de 1,02 cd/m² na medição de número 1 no dia 19/09/2012, e o menor valor foi de 0,5625 cd/m² no dia 11/05/2023, com uma diferença de 0,4575 cd/m², representando um decaimento de 44,8497%.

5 CONCLUSÃO

5.1 Considerações Finais

A análise dos resultados revelou uma depreciação significativa nos valores coletados entre o início e o final da vida útil do sistema. A iluminância média apresentou uma redução de 20,65% entre o primeiro e o segundo períodos analisados, enquanto a luminância média apresentou um declínio ainda mais acentuado, de 44,85%, próximo ao fim da vida útil da luminária.

Apesar dessa considerável depreciação, os valores medidos permanecem dentro dos parâmetros estabelecidos pela norma NBR 5101. Além disso, uma inspeção visual indicou que o ponto de iluminação pública manteve suas características físicas inalteradas. Esses achados sugerem que a tecnologia empregada é adequada para este tipo de aplicação, proporcionando não apenas conformidade normativa, mas também economia de energia e redução nos custos de manutenção ao longo de sua vida útil.

Com base nos resultados obtidos após aproximadamente 50.000 horas de operação, podemos afirmar que o sistema LED continua operando dentro das especificações, sugerindo que sua vida útil é, de fato, superior à estimada pelos fabricantes. Essa evidência reforça a confiabilidade do sistema e indica que ele tem a capacidade de manter o seu desempenho por um período maior que o sugerido pelos fabricantes.

Contudo, é importante destacar que a precisão dos equipamentos de medição, assim como interferências externas, como variações climáticas e poluição luminosa, podem impactar significativamente os resultados. Para minimizar esses fatores de erro, recomenda-se adotar medidas como a recalibração dos equipamentos no início de cada dia de medição, a escolha criteriosa das condições climáticas para a realização das medições e a limpeza periódica dos pontos de coleta de dados. Essas práticas são fundamentais para garantir a confiabilidade das medições e a qualidade dos resultados obtidos.

5.2 Propostas de trabalhos futuros

Dentro das diretrizes para trabalhos futuros, pretende-se continuar o monitoramento do ponto a partir do fim da vida útil especificada até o momento em que ela não irá atender os critérios especificados em norma, e realizar estudos para analisar a viabilidade de troca das luminárias.

Outro parâmetro complementar a este estudo é a análise de custos com a manutenção do sistema durante e após o período de garantia cedida pelo fabricante do equipamento.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 5101. **Iluminação Pública**. 2018.

ALADIN. **Tecnologia LED x Vapor Metálico**. Aladin Iluminação. 2023. Disponível em: <https://www.aladiniluminacao.com.br/blog/tecnologia-led—vapor-metalico>. Acesso em: 26 nov. 2023.

BANCO MUNDIAL. **Iluminando cidades brasileiras: Modelos de negócio para eficiência energética em iluminação pública**. 2017. Grupo Banco Mundial. Disponível em: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099635309232236801/pdf/IDU0173d109e0e683040700a0f300c8530b18444.pdf>. Acesso em: 27 já. 2024

CASAGRANDE, C. G. **Iluminação Pública: Panorama, Tecnologias Atuais e Novos Paradigmas**. 1ª edição. Editora Viseu. Maringá, 2021.

ENGIE. **Eficiência da iluminação pública gera economia de até 70%**. Além da Energia. 3 mai. 2021. Disponível em: <https://www.alemdaenergia.engie.com.br/eficiencia-da-iluminacao-publica-geraeconomia-de-ate-70/>. Acesso em: 18 nov. 2023.

ENGIE. **Entenda a importância da iluminação pública para as cidades sustentáveis**. Além da Energia. 15 mar. 2023. Disponível em: <https://www.alemdaenergia.engie.com.br/entenda-a-importancia-da-iluminacaopublica-para-as-cidades-sustentaveis/>. Acesso em: 18 nov. 2023.

FONSECA, L. **Tipos de lâmpada: Conheça a diferença entre os 4 tipos mais utilizados**. Select. 24 ago. 2016. Disponível em: <https://www.select.eng.br/2023/08/24/tipos-de-lampadas/>. Acesso em: 17 nov. 2023.

G-LIGHT. **Da chama à corrente elétrica: conheça a história da iluminação**. 15 out. 2021. Disponível em: <https://www.glight.com.br/blog/historia-da-iluminacao/>. Acesso em: 17 nov. 2023.

GARCIA, B. **Quais Lâmpadas São Utilizadas Na Iluminação Pública?** Combinado. 11 jan. 2022. Disponível em: <https://blog.combinado.com.br/iluminacaopublica/quais-lampadas-sao-utilizadas-na-iluminacao-publica/>. Acesso em 25 nov. 2023.

GOUVEIA, L. H. B. **Reavaliação Fotométrica do Sistema de Iluminação Pública da Universidade Federal de Juiz de Fora**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, out. 2019.

MATTEDE, H. **O que são as lâmpadas de descarga em alta pressão?** Mundo da Elétrica. Disponível em: https://www.mundodaeletrica.com.br/lampadas_descarga_alta_pressao. Acesso em 27 nov. 2023.

NOGUEIRA, F. J. **Controladores de LEDs para iluminação pública com elevado fator de potência e comutação na frequência da rede elétrica**. Qualificação ao Doutorado. Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, out. 2015.

ROSITO, L. H. **Desenvolvimento da Iluminação Pública no Brasil**. Portal O Setor Elétrico. Edição 36. Jan. 2009.