

COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO DE LUMINÁRIAS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA SEGUNDO OS CRITÉRIOS DAS NORMAS NBR 5101:2018 E 2024

COMPARISON OF THE PERFORMANCE OF PUBLIC LIGHTING LUMINAIRES ACCORDING TO THE CRITERIA OF NBR 5101:2018 AND 2024 STANDARDS

COMPARACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LUMINARIAS DE ALUMBRADO PÚBLICO SEGÚN LOS CRITERIOS DE LAS NORMAS NBR 5101:2018 Y 2024

Rafael Argolo Ferreira¹

RESUMO: Este trabalho realiza uma análise comparativa do desempenho de cerca de 1.300 luminárias destinadas à iluminação pública, considerando os critérios estabelecidos pelas normas brasileiras NBR 5101:2018 e NBR 5101:2024. Para isso, foram executadas mais de 37.500 simulações por meio do software Dialux®, utilizando arquivos fotométricos IES de equipamentos certificados pelo INMETRO e incluídos no PROCEL. A modelagem contemplou cinco configurações típicas de instalação, baseadas nos arranjos de referência definidos pela versão de 2018 da norma. A partir dos resultados obtidos, foi possível determinar as luminárias com melhor desempenho em cada situação analisada, bem como evidenciar as principais atualizações introduzidas na revisão de 2024, como a definição de limites para a temperatura de cor correlata, o aumento do rigor no controle da poluição luminosa e a restrição dos ângulos de instalação. De modo geral, os resultados apontam para impactos relevantes nos projetos em andamento e oferecem suporte técnico para o planejamento de futuras soluções em iluminação pública.

Palavras-chave: Iluminação pública. NBR 5101. Eficiência luminosa. Simulação Dialux.

ABSTRACT: This study conducted a comparative analysis of the performance of approximately 1,300 public lighting luminaires, considering the criteria established by the Brazilian standards NBR 5101:2018 and NBR 5101:2024. To this end, more than 37,500 simulations were carried out using Dialux® software, based on IES photometric files from luminaires certified by INMETRO and listed by PROCEL. The modeling included five typical installation configurations, based on the reference layouts defined in the 2018 version of the standard. From the results obtained, it was possible to identify the luminaires with the best performance in each analyzed scenario, as well as to highlight the main updates introduced in the 2024 revision, such as the establishment of limits for correlated color temperature, stricter control of light pollution, and restrictions on installation angles. Overall, the findings indicate significant impacts on ongoing projects and provide technical support for the planning of future public lighting solutions.

Keywords: Public lighting. NBR 5101. Luminous efficiency. Dialux simulation.

¹Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal da Bahia.

RESUMEN: Este estudio realizó un análisis comparativo del desempeño de aproximadamente 1.300 luminarias destinadas al alumbrado público, considerando los criterios establecidos por las normas brasileñas NBR 5101:2018 y NBR 5101:2024. Para ello, se llevaron a cabo más de 37.500 simulaciones mediante el software Dialux®, utilizando archivos fotométricos IES de equipos certificados por INMETRO e incluidos en PROCEL. La modelación contempló cinco configuraciones típicas de instalación, basadas en los esquemas de referencia definidos en la versión de 2018 de la norma. A partir de los resultados obtenidos, fue posible identificar las luminarias con mejor desempeño en cada escenario analizado, así como destacar las principales actualizaciones introducidas en la revisión de 2024, tales como el establecimiento de límites para la temperatura de color correlacionada, un control más estricto de la contaminación lumínica y la restricción de los ángulos de instalación. En general, los resultados señalan impactos relevantes en los proyectos en curso y ofrecen soporte técnico para la planificación de futuras soluciones de alumbrado público.

Palabras clave: Alumbrado público. NBR 5101. Eficiencia lumínica. Simulación Dialux.

INTRODUÇÃO

A iluminação pública constitui um elemento essencial da infraestrutura urbana, exercendo papel fundamental na segurança, no bem-estar da população e no adequado funcionamento das cidades, indo além da simples função de iluminar vias [1]. Sistemas de iluminação bem planejados contribuem para a redução de acidentes de trânsito, inibem práticas criminosas e incentivam a ocupação dos espaços públicos no período noturno, promovendo dinamismo social, cultural e econômico nos municípios [2].

No contexto brasileiro, a Associação Brasileira de Normas Técnicas estabelece os requisitos técnicos para iluminação pública por meio da norma NBR 5101 – Iluminação Pública: Procedimento [3]. Essa norma define critérios de desempenho das luminárias conforme a classificação das vias, incluindo parâmetros como luminância média, uniformidade global e longitudinal, incremento de limiar e relação de luminância entre áreas adjacentes.

Outras instituições também exercem funções relevantes nesse cenário, como o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, que, por meio da Portaria nº 62 [4], certifica luminárias destinadas à iluminação pública, assegurando conformidade com requisitos de eficiência e segurança. Além disso, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica atua incentivando a eficiência energética por meio da promoção de tecnologias e práticas mais sustentáveis [5].

Para além do atendimento às exigências normativas, o desempenho real das luminárias deve ser avaliado com base em critérios fotométricos. Nesse contexto, as curvas da Illuminating Engineering Society, que representam a distribuição espacial da intensidade luminosa [6], são

fundamentais para analisar a direcionalidade e a uniformidade da luz, permitindo a escolha adequada dos equipamentos para diferentes tipos de vias e aplicações [7].

Adicionalmente, a atualização recente da norma NBR 5101:2018 para NBR 5101:2024 trouxe mudanças relevantes, como a definição de limites para a temperatura de cor correlata, maior rigor no controle da poluição luminosa e restrições mais severas quanto aos ângulos de instalação. A compreensão dessas alterações e de seus efeitos nos projetos de iluminação pública é indispensável para garantir eficiência, conformidade normativa e sustentabilidade nos ambientes urbanos. Nesse sentido, o presente estudo busca suprir essa lacuna por meio da realização de simulações em larga escala, avaliando os impactos dessas atualizações regulatórias.

Apesar das atualizações recentes da NBR 5101:2024, ainda há lacunas quanto ao impacto prático dessas mudanças no desempenho de luminárias em cenários reais de aplicação, especialmente considerando critérios simultâneos de eficiência energética e conformidade normativa. Este estudo tem como objetivo comparar o desempenho de luminárias de iluminação pública conforme os critérios das normas NBR 5101:2018 e NBR 5101:2024, avaliando impactos em eficiência, conformidade e seleção de equipamentos.

2. Fundamentação Teórica

2.1 Parâmetros fotométricos

O dimensionamento de sistemas de iluminação pública baseia-se em princípios fotométricos estabelecidos pela NBR 5461 [1] e aplicados na NBR 5101 [2], as quais definem os critérios necessários para assegurar conforto visual, segurança e eficiência energética nos espaços urbanos.

Os principais parâmetros fotométricos incluem:

Fluxo luminoso (Φ): representa a quantidade total de luz emitida por uma fonte, sendo medido em lúmens (lm), indicando a potência luminosa do equipamento.

Intensidade luminosa (I): corresponde à luz emitida em uma direção específica, expressa em candela (cd), determinando a distribuição direcional da luz.

Iluminância (E): refere-se ao fluxo luminoso incidente por unidade de área, medido em lux (lx), indicando o nível de iluminação sobre uma superfície.

Luminância (L): expressa o brilho percebido de uma superfície, em candela por metro quadrado (cd/m^2), estando diretamente relacionada ao conforto visual e à percepção de uniformidade.

Fatores de uniformidade: incluem a uniformidade global (U_0), definida pela razão entre o valor mínimo e o médio de luminância ou iluminância, e a uniformidade longitudinal (UI), dada pela razão entre os valores mínimo e máximo ao longo do eixo da via. Esses fatores garantem distribuição homogênea da luz e reduzem o cansaço visual.

Incremento de limiar (TI): indicador percentual que mede a perda de desempenho visual causada pelo ofuscamento, afetando a capacidade de percepção de objetos na via. Valores menores indicam melhor controle do ofuscamento.

Temperatura de cor correlata (TCC): medida em kelvin (K), descreve a aparência da cor da luz emitida, influenciando o conforto visual, a identificação de objetos e a percepção ambiental.

Os dados fotométricos das luminárias são normalmente disponibilizados em arquivos IES, padronizados pela norma ANSI/IES LM-63 [3], que descrevem a distribuição espacial da intensidade luminosa em coordenadas polares. Esses arquivos também incluem informações técnicas relevantes, como potência nominal, eficiência luminosa, classificação óptica e padrão de distribuição da luz.

2.2 Dados de instalação das luminárias

A forma como as luminárias são instaladas exerce influência direta no desempenho fotométrico dos sistemas de iluminação pública. Neste estudo, os parâmetros de instalação foram definidos com base nas classes padrão de vias e áreas de pedestres descritas na NBR 5101:2018, garantindo a comparabilidade entre os diferentes cenários analisados.

Para cada classe, foram considerados os seguintes parâmetros:

Altura de montagem (H_m): distância vertical entre a luminária e a superfície da via, definida conforme a classe da via.

Avanço (O): deslocamento horizontal entre o poste e a borda da via.

Espaçamento (S): distância entre postes consecutivos ao longo da via.

Número de faixas (NL): quantidade total de faixas de tráfego, influenciando a altura de instalação e a distribuição das luminárias.

Largura da via (R): medida total da pista, impactando diretamente o espaçamento e a distribuição luminosa.

Tipo de arranjo: configuração dos postes (unilateral, bilateral oposto ou alternado), conforme a classificação da via.

Ângulo de instalação (Tilt): inclinação da luminária em relação ao plano horizontal, limitada pelas exigências normativas.

2.3 Classificação das vias

Na versão NBR 5101:2018, as vias são classificadas em categorias V₁ a V₅, destinadas ao tráfego de veículos, e P₁ a P₄, voltadas para áreas de pedestres, cada uma com requisitos fotométricos específicos [2]. Já a revisão de 2024 introduz uma nova abordagem, substituindo essas categorias pelas classes C (áreas de conflito, C₀ a C₅) e P (áreas de pedestres, P₁ a P₆), levando em consideração fatores como velocidade dos veículos, volume de tráfego e luminância do entorno [4].

2.4 Principais atualizações da NBR 5101:2024

A revisão de 2024 da NBR 5101 trouxe mudanças relevantes nos critérios de classificação, nos níveis de desempenho fotométrico e nos aspectos ambientais, com o objetivo de aprimorar a segurança, a eficiência e a sustentabilidade dos sistemas de iluminação pública. Embora os valores de luminância média tenham sido mantidos, foram estabelecidos requisitos mais rigorosos para uniformidade global (U₀) e longitudinal (U_l), além da redução dos limites permitidos para o incremento de limiar (TI), favorecendo o conforto visual e o controle do ofuscamento.

Uma alteração significativa foi a adoção de uma faixa mais baixa de temperatura de cor correlata (1800–2200 K), substituindo os valores mais elevados (4000–5000 K) comumente utilizados anteriormente. Essa mudança busca reduzir a emissão de luz azul e seus impactos negativos sobre a saúde humana, a fauna e o céu noturno.

Além disso, a nova versão intensificou o controle da poluição luminosa, estabelecendo limites obrigatórios para a emissão de luz acima do plano horizontal (zona de 90–180°). Também houve restrições mais severas nos parâmetros de instalação, com a redução do ângulo máximo de inclinação das luminárias de 15° para 5°, contribuindo para a diminuição do ofuscamento e da dispersão indesejada de luz.

De forma geral, essas atualizações evidenciam uma evolução para critérios técnicos e ambientais mais exigentes, exigindo que gestores públicos, projetistas e fabricantes adaptem suas práticas de especificação e instalação de luminárias para atender às novas diretrizes e promover soluções de iluminação urbana mais sustentáveis.

MÉTODOS

Este estudo adotou uma sequência sistematizada de etapas para avaliar o desempenho de luminárias de iluminação pública à luz dos critérios estabelecidos pelas normas NBR 5101:2018 e NBR 5101:2024. A metodologia foi estruturada nas seguintes fases:

1. Coleta de todos os arquivos fotométricos no formato IES disponíveis no site do PROCEL, referentes a luminárias certificadas pelo Instituto Nacional de Metrologia (INMETRO);
2. Organização, verificação e complementação das informações associadas às curvas fotométricas fornecidas pelos fabricantes;
3. Realização de simulações em cinco cenários padronizados de instalação, definidos com base na NBR 5101:2018 — considerando a inexistência de cenários de referência na versão 2024 — utilizando o software Dialux® e o conjunto completo de luminárias e dados tratados;
4. Avaliação dos resultados obtidos nas simulações, verificando a conformidade com os requisitos da NBR 5101:2024;
5. Comparação do desempenho das fontes luminosas segundo os critérios da NBR 5101:2018, com o objetivo de analisar os impactos decorrentes da atualização normativa;
6. Identificação e classificação dos fabricantes com melhor desempenho, considerando sua frequência entre as 10 luminárias mais bem posicionadas em cada cenário, permitindo avaliar a competitividade e a diversidade de portfólio.

3.1 Aquisição das curvas fotométricas

A Portaria nº 62 do INMETRO (2023) estabelece os requisitos técnicos e de segurança aplicáveis às luminárias de iluminação pública viária no Brasil, conforme previsto no Regulamento Técnico da Qualidade. Entre os ensaios obrigatórios, destaca-se a medição da distribuição luminosa, realizada por laboratórios acreditados. A partir desses ensaios, são geradas as curvas fotométricas das luminárias, posteriormente convertidas em arquivos no formato IES, conforme a norma ANSI/IES LM-63, sendo disponibilizadas tanto pelos fabricantes quanto pelo PROCEL.

Para o presente estudo, as curvas fotométricas foram obtidas a partir da Publicação nº 22 do PROCEL, que reúne luminárias LED destinadas à iluminação pública em conformidade com

os requisitos de certificação do INMETRO. Ao todo, aproximadamente 1.300 arquivos IES foram coletados para análise.

Durante a etapa de processamento, verificou-se que diversos arquivos apresentavam inconsistências ou ausência de informações relevantes, como identificação do modelo, potência nominal e temperatura de cor correlata (TCC). Dessa forma, todos os arquivos IES foram submetidos a revisão e edição manual, com padronização dos campos de metadados, a fim de garantir compatibilidade com o software Dialux® e possibilitar o processamento automatizado e a geração dos cenários de simulação.

3.2 Cenários de simulação

Foram definidos cinco cenários de instalação com base nas configurações padronizadas de montagem estabelecidas pela NBR 5101:2018 (Tabela 1). A adoção dessas configurações para ambas as normas se justifica pela ausência de arranjos de referência na versão de 2024. Cada cenário foi estruturado para representar uma classe específica de via destinada ao tráfego motorizado, associada a uma classe de iluminação para pedestres.

Em todos os casos, foi considerada a disposição unilateral das luminárias, adotando-se um fator de manutenção igual a 0,8, com o objetivo de representar a redução do desempenho fotométrico ao longo do tempo.

Tabela 1 – Configurações de montagem utilizadas nas simulações

Classe	Espaçamento (m)	Altura de montagem (m)	Nº de faixas	Largura da via (m)	Avanço (m)
V5	35,0	7,0	3	8,10	1,5
V4	35,0	8,0	3	9,0	1,5
V3	35,0	8,0	3	9,0	1,5
V2	35,0	9,0	4	10,8	2,5
V1	40,0	12,0	4	12,0	3,0

As simulações contemplaram cinco cenários combinados envolvendo classes de iluminação viária e de pedestres (Tabela 2). As classes destinadas a pedestres (P1–P4) foram atribuídas conforme os critérios estabelecidos pela NBR 5101:2018, a qual não define padrões específicos de instalação, garantindo assim a uniformidade metodológica na comparação entre as duas versões normativas.

Para a norma NBR 5101:2024, foram consideradas as classes correspondentes de Áreas de Conflito (C₁-C₅) e de Pedestres (P₁-P₅), permitindo uma comparação direta. Para isso, foram mantidas as mesmas configurações físicas adotadas nos cenários baseados na versão de 2018.

3.3 Seleção das luminárias mais eficientes

Em cada cenário analisado, foi selecionada a luminária com melhor desempenho dentre aquelas que atenderam integralmente aos requisitos das normas NBR 5101:2018 e NBR 5101:2024. Para evitar distorções na análise, considerou-se apenas o modelo de maior eficiência de cada fabricante, assegurando que os resultados refletissem o melhor aproveitamento energético disponível.

Tabela 2 – Cenários simulados

Cenário	Classe da via (veicular)	Classe de pedestres
1	V ₁ / C ₁	P ₁
2	V ₂ / C ₂	P ₂
3	V ₃ / C ₃	P ₃
4	V ₄ / C ₄	P ₄
5	V ₅ / C ₅	P ₄

RESULTADOS

Esta seção apresenta os resultados das simulações realizadas para os cinco cenários definidos pela NBR 5101, considerando o conjunto de luminárias certificadas pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Ao todo, foram conduzidas aproximadamente 37.500 simulações, possibilitando uma avaliação abrangente dos parâmetros luminotécnicos sob as versões de 2018 e 2024 da norma.

A atualização de 2024 introduziu critérios mais rigorosos, incluindo a limitação do ângulo de inclinação das luminárias a 5° (em contraste com os 15° permitidos anteriormente) e exigências mais restritivas para a iluminação de áreas de pedestres, com a incorporação de valores mínimos de iluminância horizontal, além dos tradicionais fatores de uniformidade. Essas mudanças impactaram diretamente as taxas de aprovação, reduzindo o número de luminárias conformes em determinados cenários, ao mesmo tempo em que proporcionaram estimativas mais realistas de potência e consumo energético.

4.1 Comparação entre cenários

A Tabela 3 apresenta a quantidade de luminárias aprovadas em cada cenário para ambas as versões da norma, bem como o percentual em relação ao total avaliado e a potência da luminária mais eficiente aprovada em cada caso.

A análise evidencia padrões claros quanto aos efeitos da revisão de 2024 sobre a aprovação dos equipamentos:

Cenários 1 a 3 (vias com maior fluxo e maior exigência luminotécnica) registraram aumento significativo no número de luminárias aprovadas, indicando que os novos critérios permitiram maior conformidade sem comprometer a coerência dos níveis de potência. Como exemplo, no Cenário 2, o número de modelos aprovados passou de 7 para 70, com redução da potência de 121 W para 100 W.

Cenários 4 e 5 (vias de menor fluxo ou predominantemente voltadas a pedestres) apresentaram redução expressiva nas aprovações, passando de 800 para 90 no Cenário 4 e de 4.000 para 260 no Cenário 5. Esse comportamento está associado, principalmente, à introdução da exigência de iluminância mínima em áreas de pedestres, critério mais restritivo que o anteriormente baseado apenas em uniformidade.

Em termos de potência, a versão de 2024 manteve ou reduziu os níveis de consumo nos cenários mais exigentes. Entretanto, no Cenário 4, a luminária mais eficiente que atendeu aos novos critérios apresentou potência ligeiramente superior (48 W) em comparação com a melhor opção da norma de 2018 (33 W).

Quanto aos percentuais de aprovação, observa-se que a norma de 2018 era mais permissiva nas classes de menor exigência, permitindo, em alguns casos, o uso de luminárias superdimensionadas. Por outro lado, a revisão de 2024 estabelece maior aderência às reais necessidades operacionais.

De modo geral, a transição para a NBR 5101:2024 resultou em maior consistência técnica e rigor nos critérios de conformidade, especialmente em ambientes urbanos com demandas luminotécnicas mais complexas. Contudo, as exigências mais severas para áreas de pedestres reduziram a diversidade de luminárias aptas, o que pode limitar as opções disponíveis para aplicações de baixa intensidade luminosa.

4.2 Fornecedores com melhor desempenho por abrangência de cenários

Além da análise individual por cenário, o estudo também consolidou os resultados com o objetivo de identificar os fabricantes com maior presença entre os melhores desempenhos. Para isso, considerou-se, em cada cenário, apenas a luminária mais eficiente aprovada de cada fornecedor.

A Tabela 4 apresenta o ranqueamento dos fornecedores com base no número de cenários distintos em que figuraram entre as 10 luminárias de melhor desempenho, constituindo um indicador da versatilidade de seus portfólios frente às diferentes exigências da NBR 5101.

Tabela 3 – Comparação entre luminárias aprovadas e potência (NBR 5101:2018 vs. NBR 5101:2024)

Cenário	Quantidade de luminárias aprovadas	Potência média (W)
	NBR 2018	NBR 2024
1	5 (0,05%)	40 (0,42%)
2	7 (0,08%)	70 (0,75%)
3	9 (0,09%)	90 (0,94%)
4	800 (8,60%)	90 (0,97%)
5	4.000 (43,0%)	260 (2,8%)

A análise do ranqueamento dos fornecedores evidencia diferenças relevantes quanto à presença de mercado e à capacidade de adaptação entre os fabricantes. A Philips destaca-se como o fornecedor mais versátil, com aprovações em quatro cenários distintos, demonstrando elevada capacidade de atender a diferentes demandas de iluminação urbana. As empresas Unilumen e Esb aparecem em seguida, com presença em três cenários cada, indicando equilíbrio entre eficiência energética e conformidade com os requisitos das normas de 2018 e 2024.

Fabricantes como Zagonel, Sxlight e Demape demonstram competitividade consistente em aplicações específicas, sobretudo em contextos de tráfego moderado e em áreas voltadas a pedestres, onde os critérios técnicos diferem daqueles aplicados a vias de maior fluxo.

Mesmo fornecedores com participação em apenas dois cenários, como Tecnowatt e Soneres, apresentam soluções de alto desempenho dentro de seus nichos de atuação, sugerindo um perfil mais especializado em determinadas classes de vias ou aplicações para pedestres.

Tabela 4 – Principais fornecedores por cenário

Posição	Fabricante	Cenários de destaque
1	Philips	1, 3, 4, 5
2	Unilumen	3, 4, 5
3	Esb	2, 3, 4
4	Zagonel	1, 2
5	Sxlight	4, 5
6	Demape	4, 5
7	Tecnowatt	2, 4
8	Soneres	4, 5
9	Tradetek	1, 5
10	Lumer	3, 4

De forma geral, essa abordagem centrada nos fornecedores complementa a análise de desempenho por cenário ao acrescentar uma dimensão adicional voltada à avaliação do mercado. Além disso, fornece subsídios relevantes para decisões estratégicas de aquisição em projetos de iluminação pública, permitindo que gestores e projetistas alinhem a escolha dos fabricantes aos requisitos normativos, à eficiência energética e às demandas específicas de cada aplicação.

11

CONCLUSÃO

Este estudo analisou o desempenho de luminárias certificadas pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia com base nas normas NBR 5101:2018 e NBR 5101:2024, por meio da realização de 37.500 simulações distribuídas em cinco cenários envolvendo vias e áreas de pedestres. A revisão de 2024 introduziu critérios mais rigorosos, como a limitação do ângulo de inclinação de instalação, exigências mais elevadas de uniformidade e a adoção de níveis mínimos de iluminância para áreas destinadas a pedestres, impactando diretamente tanto as taxas de aprovação quanto as potências ideais das luminárias.

Observou-se aumento no número de luminárias aprovadas nos cenários de maior exigência (1 a 3), enquanto nos cenários de menor demanda e com predominância de pedestres (4 e 5) houve redução significativa. A análise das potências indicou diminuição no Cenário 1 (de 196 W para 179 W) e no Cenário 2 (de 121 W para 100 W), manutenção no Cenário 3 (195 W em

ambas as normas) e elevação nos Cenários 4 (de 33 W para 48 W) e 5 (de 20 W para 24 W). Esses resultados evidenciam ganhos de eficiência em contextos mais exigentes, ao passo que os critérios mais restritivos para iluminação de pedestres podem implicar aumento na potência requerida.

A análise dos fabricantes destacou a Philips como a mais versátil, com aprovação em quatro cenários, seguida por Unilumen e Esb, que apresentaram desempenho consistente em três cenários cada. Os resultados demonstram que a NBR 5101:2024 favorece sistemas de iluminação pública mais seguros, eficientes e ambientalmente responsáveis; contudo, também reduz o leque de opções para aplicações voltadas a áreas de pedestres. Nesse contexto, gestores municipais e projetistas precisam ajustar a especificação das luminárias, buscando um equilíbrio entre atendimento às exigências normativas, desempenho técnico e eficiência energética.

REFERÊNCIAS

- ASSIS, J.F., and Lima, A.O., Iluminação pública: aspectos técnicos e socioeconômicos, *Rev Bras Energ*, 25(2), 45-57, 2019.
- SANTOS, V.L.S., and Costa, M.R., Sustainable public lighting: challenges and perspectives, *J Urban Technol*, 29(3), 55-70, 2022.
- ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas, NBR 5101:2024 - Iluminação pública - Procedimento, ABNT, Rio de Janeiro, 2024.
- INSTITUTO Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, Portaria nº 62: Regulamento Técnico da Qualidade para Luminárias para Iluminação Pública Viária, INMETRO, Brasília, 2023.
- PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, Publicação nº 22 - Luminárias LED para iluminação pública, Eletrobras/PROCEL, Rio de Janeiro, 2023.
- COMMITTEE of the Illuminating Engineering Society, ANSI/IES LM-63-19: Approved method - File format for the electronic transfer of photometric data, Illuminating Engineering Society, New York, 2002.
- FRAGOSO, R., Silva, W.F., and Almeida, J.P., Photometric analysis of public lighting for urban safety, *Light Eng J*, 28(4), 33-42, 2020.
- RIBEIRO, L., Coelho, P., and Caires, J., Efeitos da temperatura de cor na iluminação urbana, *Rev Ilum Arq*, 19(1), 12-19, 2012.
- LEE, K., Moreno, T., and Sun, C., Evaluation of mounting angle effects in LED street lighting, *Lighting Res Technol*, 45(5), 601-615, 2013.