ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Avaliação da iluminação pública a partir de medições descentralizadas e dinâmicas com uso de dispositivos IoT

Assessment of public lighting based on decentralized dynamic measurements with IoT devices

Bruno Marques de Souza
Universidade de São Paulo (USP) | São Paulo (SP) | Brasil | bruno.marques@geovista.com.br
Henrique Chiaradia Falcão Curci
Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia (FDTE) | São Paulo (SP) | Brasil | hcfcurci@gmail.com
Renan Pereira de Andrade
Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia (FDTE) | São Paulo (SP) | Brasil | renan.andrade@geovista.com.br
Ronney Rodrigues Agra
THM Consultoria Estatística | São Paulo (SP) | Brasil | agra@thmestatistica.com
Tiago Haddad Marum
THM Consultoria Estatística | São Paulo (SP) | Brasil | marum@thmestatistica.com
Flávio Leal Maranhão
Universidade de São Paulo (USP) | São Paulo (SP) | Brasil | flavio.maranhao@geovista.com.br

Resumo

O sistema de iluminação pública desempenha um papel crucial nas cidades, influenciando nas funcionalidades noturnas das áreas urbanas. A avaliação da qualidade da iluminação pública instalada requer coletar dados de iluminância seguindo normativas. A literatura e a norma brasileira ABNT NBR 5101 apontam que a coleta de dados de iluminância deve ser realizada por meio de sensores estáticos (luxímetros) com medições realizadas em pontos específicos. É um processo que, apesar de eficaz, demonstra ser difícil e dispendioso em relação a custo e tempo. Neste tema, pouco se discute no meio técnico-científico a respeito da coleta de dados descentralizada, em especial a partir de sensores embarcados. Este estudo objetiva propor um método complementar de coleta de dados de iluminação a partir de sensores dinâmicos embarcados, através de um programa experimental e aplicação em estudo de caso (campo amostral, coleta e análise de dados). Os resultados demonstram assertividade deste método quanto a avaliação da iluminância média e uniformidade, em comparação aos níveis de aceitabilidade da norma, evidenciando as vantagens da coleta dinâmica de dados para a gestão pública deste sistema.

Palavras-chave: Iluminação pública. Internet das Coisas. Telemetria veicular.

Como citar:
MARQUES, B. Avaliação da iluminação pública a partir de medições descentralizadas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

Abstract

The public lighting system plays a crucial role in cities, influencing the nighttime functionality of urban areas. Assessing the quality of installed public lighting requires collecting illuminance data in accordance with regulations. The literature and the Brazilian standard ABNT NBR 5101 indicate that the collection of illuminance data must be carried out using static sensors (lux meters) with measurements carried out at specific points. It is a process that, despite being effective, proves to be difficult and expensive in terms of cost and time. On this topic, little is discussed in the technical-scientific environment regarding decentralized data collection, especially from embedded sensors. This study aims to propose a complementary method for collecting lighting data from onboard dynamic sensors, through an experimental program and application in a case study (sample field, data collection and analysis). The results demonstrate the assertiveness of this method in terms of evaluating average illuminance and uniformity, in comparison to the standard's acceptability levels, highlighting the advantages of dynamic data collection for the public management of this system.

Keywords: Public lighting. Internet of things. Vehicle telemetry.

INTRODUÇÃO E FUNDAMENTAÇÃO

O serviço de iluminação pública desempenha a importante função de trazer visibilidade aos usuários de espaços públicos no período noturno, de modo a possibilitar o tráfego de veículos e pedestres por meio da disponibilização de luz de forma adequada e confortável nos logradouros públicos [1], tendo a segurança pública como fator secundário [2][3]. A NBR 5101 [4] é a normativa nacional associada ao dimensionamento e avaliação do nível de atendimento da iluminação pública e levanta as diretrizes necessárias para satisfazer esta percepção do usuário, em geral relacionada aos aspectos (classificação e complexidade) da via, a iluminância e a uniformidade da iluminação fornecida, partindo de premissas semelhantes às normativas internacionais análogas [5].

Estes parâmetros são, portanto, fundamentais para a análise de atendimento de uma certa configuração de fornecimento de iluminação em uma via. Sob a ótica gerencial, a instalação e manutenção de redes de iluminação pública é de competência dos municípios (em geral), e usualmente existem concessões e PPPs para a administração desses ativos públicos por entes privados. Nesses casos, a necessidade de aferição da qualidade do serviço parte tanto das empresas concessionárias contratadas quanto do poder público (ou não) através de verificadores independentes, no caso de PPPs.

Considerando as premissas apresentadas no item 7.5 da normativa brasileira [4], existem diferentes técnicas para a aferição da qualidade da iluminação em logradouros públicos. Apesar disso, todos os métodos mais utilizados pelo mercado atualmente se embasam na medição centralizada de dados [6][7], isto é, com o uso de aparatos tecnológicos (como sensores de iluminância ou luminancímetros, por exemplo) que necessitam de medições complexas em áreas limitadas e onerosas em relação ao tempo despendido em cada coleta de dados. Estes métodos são precisos para a

avaliação da iluminação pública em espaços limitados, no entanto, dificilmente permite a avaliação contínua e abrangente de toda a rede de iluminação pública.

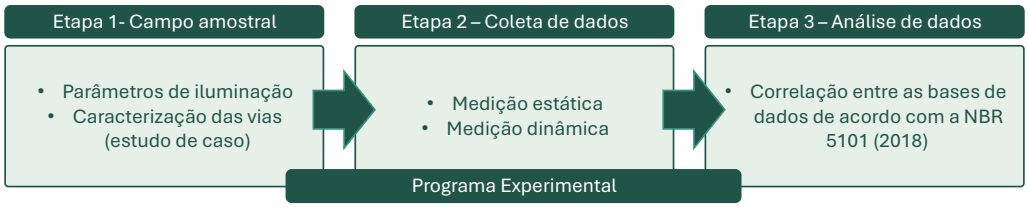
Com os novos usos da tecnologia, foram apresentadas abordagens para aferição de iluminância, dentre elas, a medição de iluminância por imagem (ILMD) e sua comparação com grades que levam em consideração a perspectiva do observador [8] ou sistemas inteligentes de iluminação pública integrados com aplicações de Internet das Coisas (IoT), controlando de maneira automática a intensidade da luz no sistema [9], e tecnologias associadas ao uso de sensoriamento embarcado em veículos [10].

Neste contexto, questiona-se a possibilidade da aferição de iluminância com o uso de dispositivos IoT embarcados em veículos. O presente trabalho busca avaliar a possibilidade da utilização de sensores dinâmicos, por meio de um programa experimental desenvolvido em ambiente real (vias públicas), de maneira que seus resultados sejam comparados com a metodologia aplicada correntemente através dos critérios da norma NBR 5101 [4].

MÉTODO

O método a ser apresentado neste trabalho será avaliado através da análise comparativa entre as medições estáticas [4] e a apropriação descentralizada e dinâmica de dados de iluminação das vias. O programa experimental (conforme Figura 1) proposto neste trabalho foi dividido nas etapas de análise de campo amostral, que se diz respeito a classificação e caracterização das vias (1) conforme parâmetros estabelecidos pela NBR 5101 [4] , coleta de dados em campo nas vias selecionadas (2) e por fim, a análise dos dados resultantes (3).

Figura 1: Programa experimental dividido em 3 etapas



Fonte: o autor (2023)

PARÂMETROS DA NORMA DE ILUMINAÇÃO

A norma NBR 5101 [4] e a equivalente internacional EM 13201-2 [5], caracterizam o espaço viário em classes distintas para avaliar, a cada classe viária, os requisitos mínimos de iluminância e uniformidade da iluminação pública que nestas são incidentes. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta, com base na normativa brasileira, as classes viárias e os níveis mínimos considerados de uniformidade e iluminância a serem considerados para vias de tráfego de veículos, onde U é a uniformidade (com U_o global e U_L longitudinal, adimensionais), e E é a iluminância (E_{med} é a média horizontal e $E_{mín}$ a mínima, em lux).

Tabela 1: Requisitos de uniformidade e iluminância para as classes de iluminação.

Classe de iluminação	$U_o \geq$	$U_L \leq$	E_{med} (lux)	$U = E_{mín}/E_{med}$
V1	0,40	0,70	30	0,4
V2	0,40	0,70	20	0,3
V3	0,40	0,70	15	0,2
V4	0,40	0,60	10	0,2
V5	0,40	0,60	5	0,2

Fonte: ABNT (2018) [4] - adaptado.

CARACTERIZAÇÃO DAS VIAS

Para caracterização das vias, foram utilizados os parâmetros conforme norma [4]. O Quadro 1 apresenta as vias do estudo de caso caracterizadas. A Figura 2 mostra a representação das vias selecionadas, com visão de satélite e posicionamento dos postes.

Quadro 1: Classificação de vias

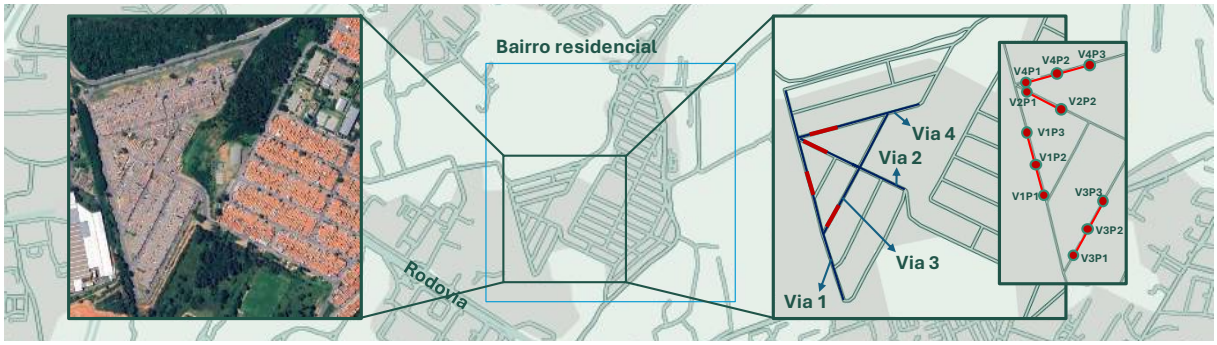
Logradouro	Classificação viária	Tráfego motorizado	Tráfego de pedestres	Comprimento (m)	Classe NBR 5101
Via 1	Local	Leve	Leve	540	V5
Via 2	Local	Leve	Leve	301	V5
Via 3	Local	Leve	Leve	334	V5
Via 4	Local	Leve	Leve	326	V5

Fonte: o autor (2023).

Para cada via escolhida foi realizado o levantamento de dados característicos (Erro! Fonte de referência não encontrada.**) para elaboração da malha sistêmica. A**

Figura 3 apresenta a situação das vias no momento das medições estáticas e dinâmicas, para cada vão analisado.

Figura 2: Representação da localização das vias (sem escala). As vias estão sinalizadas pelas linhas e os postes (P) pelos pontos em vermelho e indicação "VxPy".



Fonte: o autor (2023).

Tabela 2: Características das vias escolhidas para o campo amostral

Logradouro	Via 1	Via 2	Via 3	Via 4
Distância entre postes - vão 1 (m)	41,30	30,30	30,00	28,00
Distância entre postes - vão 2 (m)	30,00	-	30,00	31,00
Largura da faixa de rolamento (m)	4,50	4,50	4,50	4,50
Largura da calçada do poste (m)	2,50	2,30	2,60	2,40
Largura da calçada oposta (m)	2,15	2,80	2,50	2,40
Largura entre paredes (m)	13,65	14,10	14,10	13,80
Lâmpadas no poste (m)	1	1	1	1
Altura de instalação (m)	6,50	6,00	6,50	6,10
Distância do poste à via (eixo) (m)	3,10	3,00	4,00	4,50
Iluminação Simétrica?	Não	Não	Não	Não

Fonte: o autor (2023).

Figura 3: Vias no momento das medições estáticas e dinâmicas. Na ordem apresentada, Vias 1, 2, 3 e 4, com o Poste 1 do vão mais próximo da imagem e o Poste 2 mais distante (na posição das setas).



Fonte: o autor (2023).

Conforme análise de percepção dos técnicos responsáveis pelas medições, a Via 1 apresentava boa iluminação na proximidade do poste 1 (V1P1), sendo que o trecho não apresenta qualquer obstrução de iluminação entre postes. A Via 2 apresenta obstrução localizada de iluminação entre os postes pela presença de arborização próxima ao primeiro poste. As duas árvores do lado aposto da via não interferem na iluminação da via. Os vãos da Via 3 apresentam obstruções localizadas de iluminação entre os postes pela presença de arborização próxima ao primeiro e terceiro postes. No momento da medição, próximo aos postes havia iluminação relevante oriunda das casas do lado aposto da via. O primeiro vão da Via 4 apresenta obstruções relevantes de iluminação entre os postes pela presença de arborização próxima ao primeiro poste

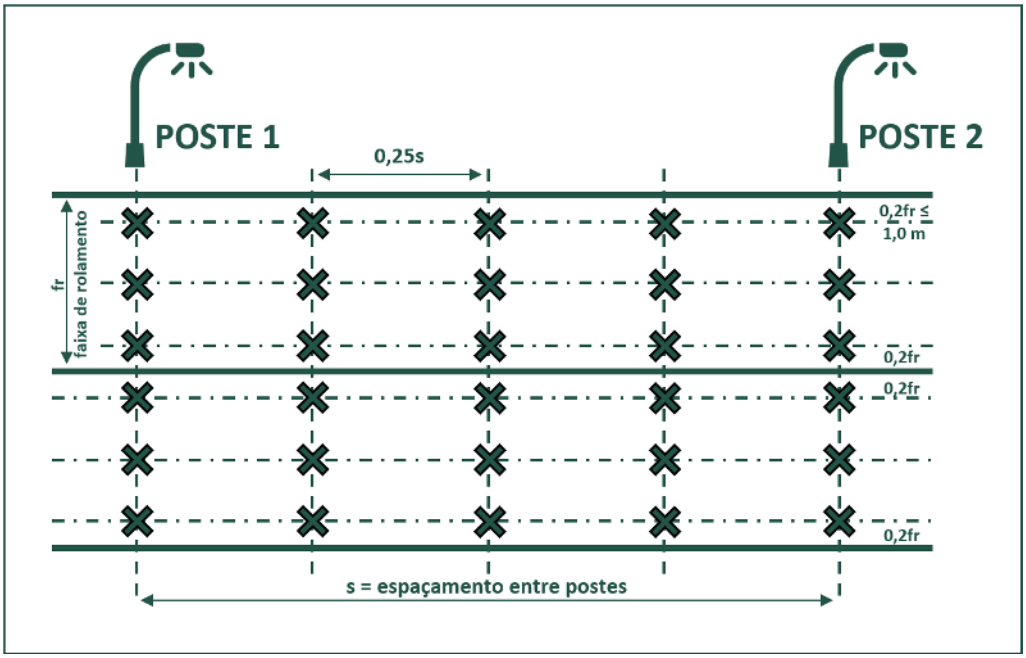
e, na calçada do lado oposto ao poste, pela arborização deste lado, enquanto o segundo vão está livre de obstruções.

MEDIÇÃO ESTÁTICA

Para aferição da iluminância de maneira estática, foi utilizado como base de referência a malha sistêmica de pontos entre postes e faixas de rolamento, conforme apresentado na

Figura 4. A malha sistêmica proporciona uma avaliação abrangente da distribuição de luz, de maneira a identificar variações da iluminância ao longo do trajeto, evidenciando níveis de iluminância inadequados ou incoerentes.

Figura 4: Malha de referência para medição de iluminâncias conforme a normativa brasileira para o caso de duas faixas de rolamento. Cada "X" na imagem indica um ponto de medição.



Fonte: ABNT NBR 5101 (2023) - adaptado.

O equipamento utilizado para coleta de dados estáticos foi o Luxímetro digital LDR-225 calibrado. Suas especificações gerais estão apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2: Especificação técnica do luxímetro de aferição estática

Temperatura de operação (°C)	Características	Medidas (lux)	Faixa de alimentação (V)
0 a 40	Resposta espectral fotópica; f'1 < 6%	0,01 a 999900	1,5

Fonte: Instrutherm (2017).

As medições foram realizadas na altura do chão (conforme preconizado pela norma [4]) e, para cada ponto de coleta, foi registrado o valor de iluminância obtido, após estabilização do valor exibido na tela do equipamento.

MEDIÇÃO DINÂMICA

A medição dinâmica foi realizada através de um sensor embarcado, instalado na parte superior-frontal do teto do veículo de apropriação (a uma altura de 1,5 m acima do nível do chão), do lado do motorista. Os dados são coletados a partir de 5 sensores direcionais: central, frontal, traseiro, esquerda e direita. A Figura 5 ilustra o equipamento e a posição dos sensores. Os dados de interesse são registrados pela passagem do veículo pelas vias, em velocidade e sentido variável e conforme aos limites das vias. Este equipamento foi calibrado para capturar dez registros por segundo (frequência de 10 Hz). O

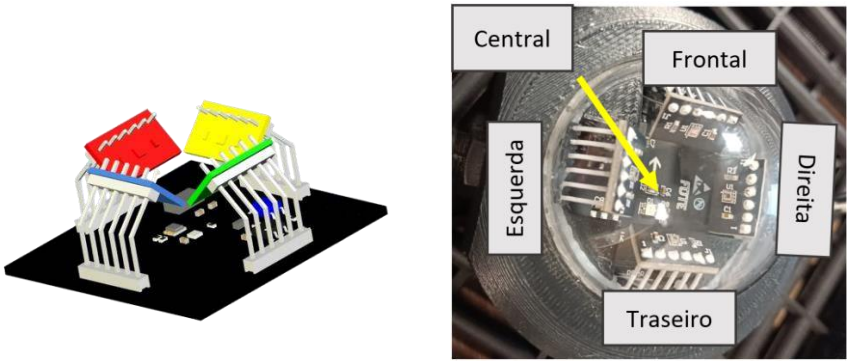
Quadro **3** apresenta a especificação do sensor utilizado, que por sua vez são qualificados para dispositivos automotivos [11].

Quadro 3: Especificação técnica do sensor embarcado

Temperatura de operação (°C)	Características	Medidas (lux)	Faixa de alimentação (V)
- 40 a 105	Filtragem óptica de precisão; Rejeita > 99% do Infravermelho	0,01 a 83000	1,6 A 3,6

Fonte: Texas Instruments (2018).

Figura 5: Equipamento com a indicação dos 5 sensores de captação de dados de luz

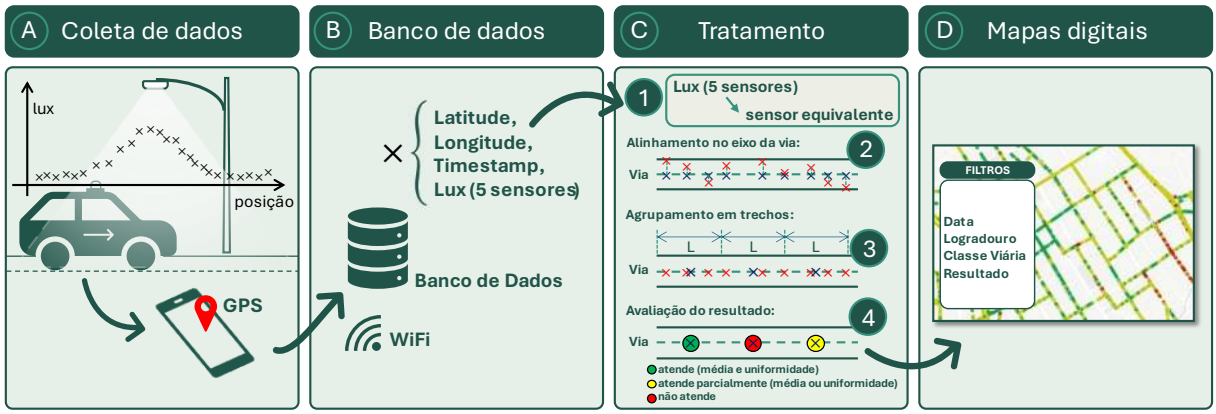


Fonte: o autor (2023).

A

Figura 6 ilustra o fluxo de coleta, armazenamento, tratamento e exibição de resultados dos dados coletados. Deste fluxo, pode ser depreendida algumas características da coleta dinâmica do método aplicado. Os dados coletados (A) são registrados através de um aparelho celular conectado via *bluetooth* ao sensor, que armazena e envia via *wi-fi* (B) este conteúdo a um banco centralizado, de maneira que os dados fiquem armazenados e disponíveis. É necessário o tratamento desse volume de dados (C), em que se calcula a iluminância equivalente dos sensores (C1); as informações de localização são alinhadas perpendicularmente ao eixo da via na qual a coleta foi registrada (corrigindo imprecisões causadas por perturbações do GPS) (C2); os dados são agrupados em trechos de dez metros das vias, através de critérios estatísticos (C3), se fazendo a avaliação dos parâmetros de média e uniformidade destes registros agrupados (C4). Por fim, este resultado pode ser apresentado através de relatórios gerenciais, mapas dinâmicos ou demais ferramentas desta natureza.

Figura 6: Fluxo de coleta, armazenamento, tratamento e exibição dos resultados dos dados coletados



Fonte: o autor (2023).

Realizou-se uma calibração dos cinco sensores integrantes do sensor embarcado, objetivando estabelecer um valor representativo de medição em função do resultado dos sensores. Este processo foi conduzido sob condições controladas de bancada, onde parâmetros como a fonte, direção e intensidade da emissão luminosa foram gerenciados, considerando as angulações em que estão dispostos. Destaca-se que em outras configurações experimentais, envolvendo diferentes sensores e geometrias, procedimentos análogos de calibração podem ser aplicados. Isso pode incluir a utilização do coeficiente de calibração isoladamente ou a aplicação de uma equação de calibração do tipo “ax+b”.

Os dados do sensor foram avaliados a partir da métrica E_{SE} (Equação 1), que representa o valor de iluminância de uma medida do sensor embarcado considerando o equacionamento de valores entre cada sensor, calculado com

$$E_{SE} = K_{SE} \times \sum E_{SI}, \qquad \text{(Equação 1)}$$

onde $K_{SE} \approx 0{,}33$ é o coeficiente de calibração do sensor embarcado e E_{SI} é o registro de cada um dos 5 sensores individuais.

Desta forma, foi passado com o veículo pelos trechos avaliados, fornecendo registros de iluminância (E_{SE}) nos vãos entre postes analisados. Conforme apresentado no fluxo do método (
Figura 6), a partir da obtenção dos vários valores de iluminância E_{SE} para o trecho foram calculadas a iluminância média ($E_{SE,MED}$) e mínima ($E_{SE,MIN}$), bem como a uniformidade do trecho U_{SE} (Equação 2), dada pela razão direta entre a iluminância mínima e a média, onde

$$U_{SE} = \frac{E_{SE,min}}{E_{SE,med}}. \qquad \text{(Equação 2)}$$

ANÁLISE DE DADOS

A partir dos dados coletados de acordo com as medições estáticas e dinâmicas, foram avaliados os valores de iluminância mínima, média e uniformidade em cada vão. Os resultados medidos de maneira estática permitiram a reprodução, em cada vão analisado, de mapas de isolinhas dos resultados em lux (tratadas doravante por curvas "isolux") obtidos com a interpolação dos resultados medidos em campo com o método do inverso ponderado da distância (IDW), com potência três. Adicionalmente, uma análise comparativa foi conduzida para avaliar a correlação dos resultados obtidos pelo método estático nos vãos e o método dinâmico proposto.

A correlação é feita considerando um ajuste de modelo de regressão linear do tipo "y=ax", tanto para os valores médios (Equação 3), sendo

$$E_{med} = a \times E_{SE,med} \, , \quad \text{(Equação 3)}$$

quanto para os mínimos (Equação 4), com

$$E_{min} = b \times E_{SE,min} \, . \quad \text{(Equação 4)}$$

Nesse ajuste são indicados o gráfico de dispersão com a reta de correlação bem como o coeficiente de determinação R^2 de cada modelo. A Figura 11 apresenta este resultado.

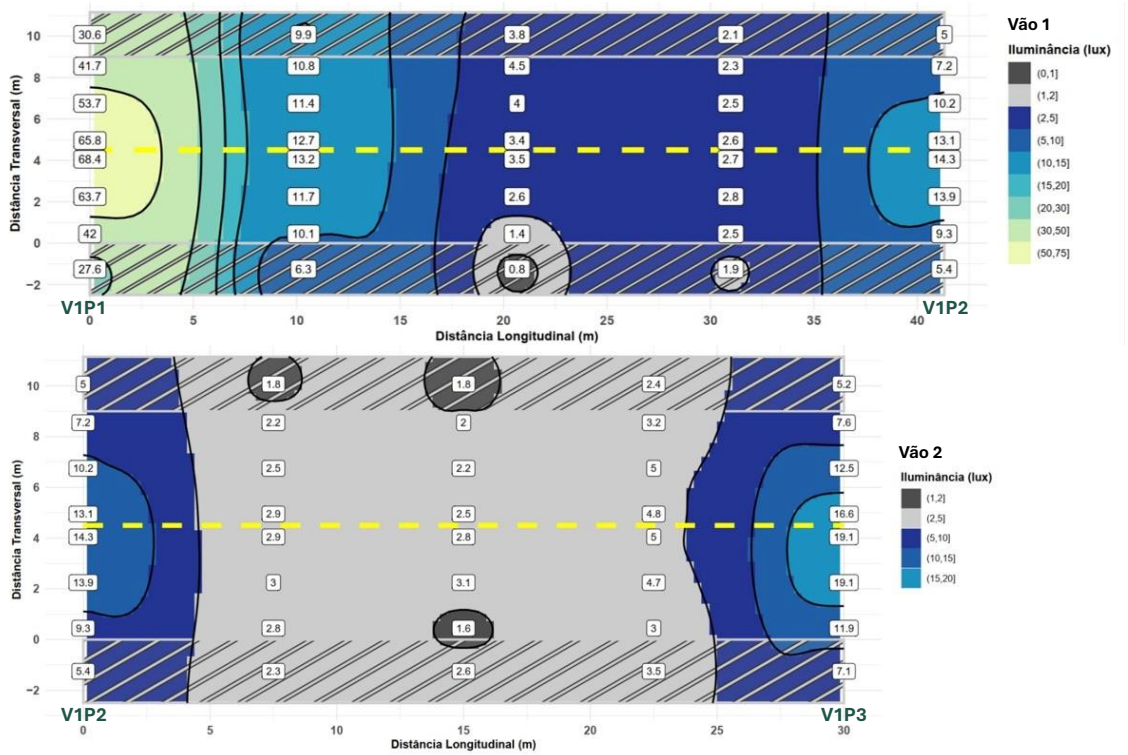
Ao final dessa análise tem-se calibrada uma equação que correlaciona o valor medido no sensor embarcado com um valor equivalente ao medido através da proposição da norma.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de isolux obtidos pela análise estática em cada via estão apresentados nas

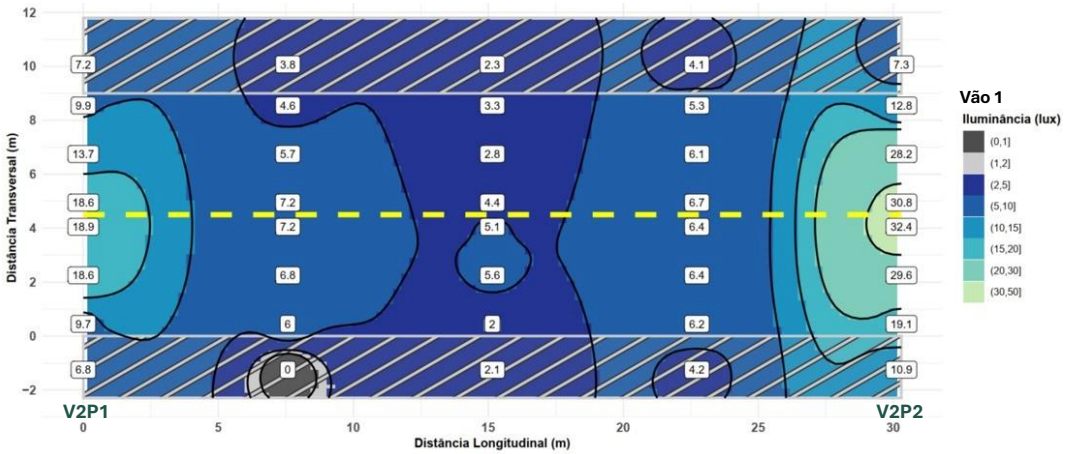
Figura 7, 8, 9 e 10. Nestas figuras, os resultados discretos apresentados são os valores medidos conforme método da norma [4]. Em todas as figuras, a distância longitudinal nula marca a posição do primeiro poste do vão (P1 no vão 1 e P2 no vão 2).

Figura 7: Mapa isolux da avaliação da iluminância na via 1 em seus vãos.



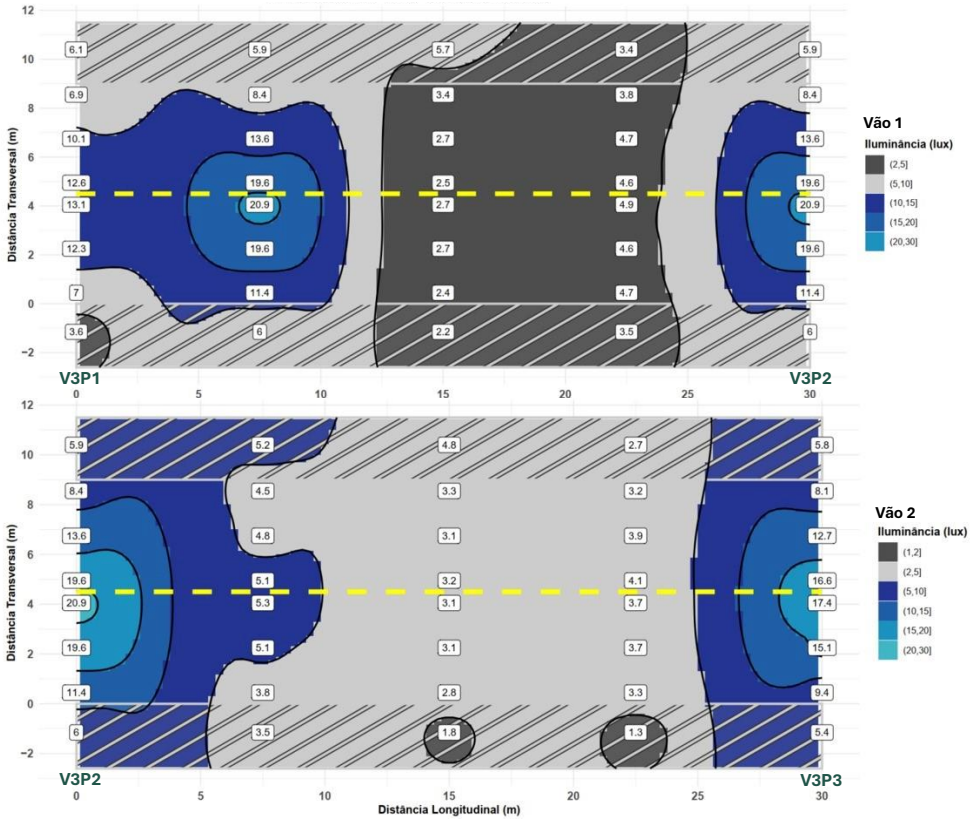
Fonte: o autor (2023).

Figura 8: Mapa isolux da avaliação da iluminância na via 2 em seu vão.



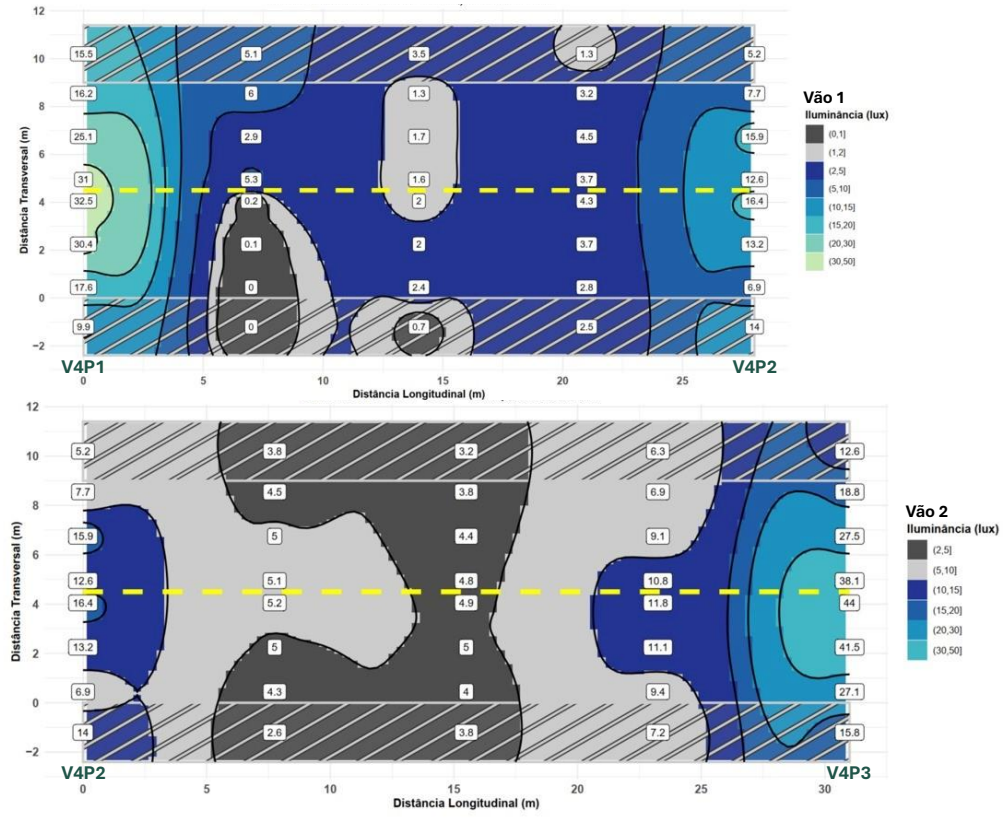
Fonte: o autor (2023).

Figura 9: Mapa isolux da avaliação da iluminância na via 3 em seus vãos.



Fonte: o autor (2023).

Figura 10: Mapa isolux da avaliação da iluminância na via 4 em seus vãos.



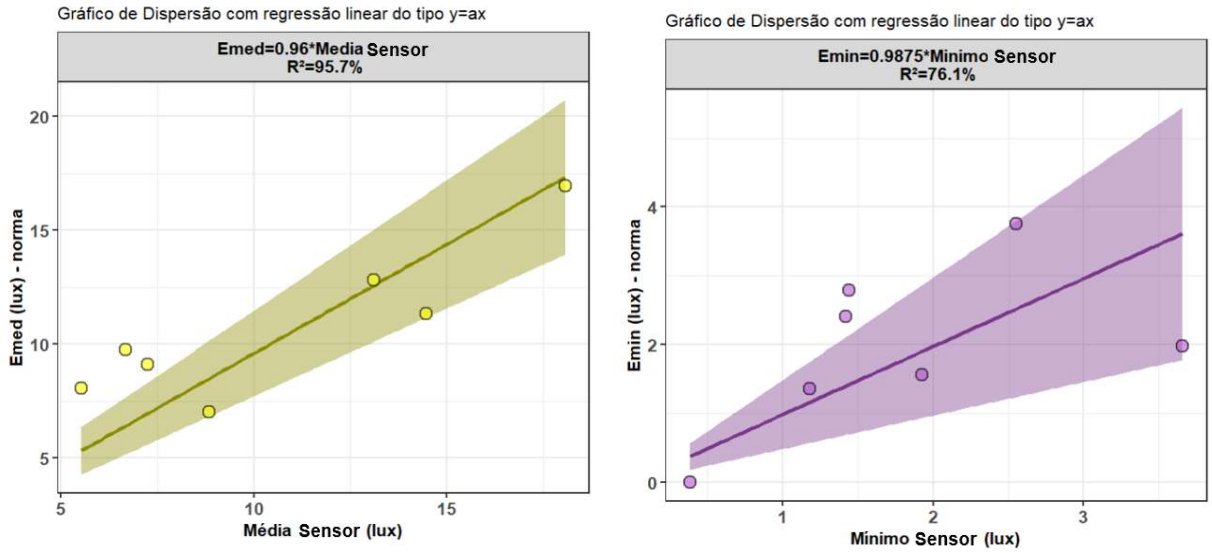
Fonte: o autor (2023).

Pelos valores apresentados nos mapas de isolux, observa-se que a iluminância registrada nos vãos demonstra-se condizente, qualitativamente, à caracterização das vias indicadas a partir da Figura 3, apresentando regiões “escuras” nos pontos de obstrução de luz mencionados, bem como regiões de maior intensidade de luz na proximidade dos eixos dos postes. Estes valores obtidos através da medição estática serão correlacionados com os dados de medições dinâmicas.

CORRELAÇÃO SENSOR EMBARCADO x LUXÍMETRO

A Figura 11 apresenta os gráficos de dispersão que demonstram a aderência entre os valores obtidos pelo sensor embarcado e os resultados medidos pelo luxímetro. Observa-se uma excelente concordância, com um coeficiente de determinação (R^2) elevado para as médias. Por outro lado, os valores mínimos exibem um coeficiente de determinação moderado, com uma dispersão mais acentuada em torno da reta de regressão. Notavelmente, as regressões para as médias e mínimos apresentam coeficientes angulares próximos de 1 (0,96 para médias e 0,98 para mínimos), indicando uma quase equivalência nos valores medidos pelo luxímetro (no chão) e pelo sensor embarcado (no carro).

Figura 11: Correlação Sensor embarcado x Norma – Iluminância Média e Iluminância Mínima



Fonte: o autor (2023).

Para análise comparativa entre os dados coletados de forma estática e dinâmica, foi considerado 2 casos alternativos, sendo: (i) comparação entre os resultados de iluminância para faixa de rolamento (desconsiderando calçadas) e os resultados do sensor dinâmico entre vãos de postes (
Tabela 3) e (ii) comparação entre os resultados de iluminância para o centro da via (considerando os 4 pontos centrais) e resultados do sensor dinâmico entre vãos de postes (Tabela 4). Em ambas as tabelas, os resultados destacados em negrito indicam os casos em que ambas as abordagens apontaram para um mesmo resultado de atendimento conforme a norma [4]. Para os resultados do sensor dinâmico, os valores

médios e mínimos foram corrigidos utilizando os coeficientes angulares apresentados na Figura 11.

Tabela 3: Comparativo de resultados (i) – sensor estático segundo Norma

Logradouro	Resultado - sensor estático			Resultado - sensor embarcado		
	Mín.	Média	Uniformidade	Mín.	Média	Uniformidade
Via 1 (vão 1)	1,36	**16,93**	**0,01**	1,16	**17,32**	**0,07**
Via 1 (vão 2)	1,56	**7,03**	**0,22**	1,90	**8,49**	**0,22**
Via 2 (vão 1)	1,98	**11,33**	0,17	3,61	**13,88**	0,26
Via 3 (vão 1)	2,41	**9,76**	**0,25**	1,40	**6,41**	**0,22**
Via 3 (vão 2)	2,79	**8,06**	**0,35**	1,42	**5,31**	**0,27**
Via 4 (vão 1)	0,02	**9,10**	**0,00**	0,38	**6,95**	**0,05**
Via 4 (vão 2)	3,75	**12,82**	**0,29**	2,52	**12,56**	**0,20**
Porcentagem de acerto qualitativo (resultado norma)					100%	86%

Fonte: o autor (2023).

Tabela 4: Comparativo de resultados (ii) – sensor estático adaptado (centro da via)

Logradouro	Resultado - sensor estático			Resultado - sensor embarcado		
	Mín.	Média	Uniformidade	Mín.	Média	Uniformidade
Via 1 (vão 1)	2,45	**18,82**	**0,13**	1,16	**17,32**	**0,07**
Via 1 (vão 2)	2,19	**8,00**	**0,27**	1,90	**8,49**	**0,22**
Via 2 (vão 1)	2,80	**13,06**	**0,21**	3,61	**13,88**	**0,26**
Via 3 (vão 1)	2,55	**11,24**	**0,23**	1,40	**6,41**	**0,22**
Via 3 (vão 2)	4,03	**9,19**	**0,33**	1,42	**5,31**	**0,27**
Via 4 (vão 1)	0,07	**10,45**	**0,01**	0,38	**6,95**	**0,05**
Via 4 (vão 2)	4,41	**14,57**	**0,30**	2,52	**12,56**	**0,20**
Porcentagem de acerto qualitativo (resultado norma)					100%	100%

Fonte: o autor (2023).

Após a análise comparativa entre os resultados do sensor estático e sensor embarcado (

Tabela 3 e Tabela 4), é possível observar grande assertividade dos valores de média e uniformidade em relação aos níveis de aceitabilidade da norma (Quadro 1 e Tabela 1). No primeiro comparativo (

Tabela 3), apenas o valor de uniformidade da via 2 (vão 1) não está concordante com os níveis de aceitabilidade e método normativo de coleta de dados. Já o segundo comparativo (Tabela 4) está totalmente concordante com os níveis de aceitabilidade e métodos da norma, visto que o recorte de dados considerado neste comparativo é mais aderente às posições nas quais o veículo é capaz de capturar dados de iluminância das vias.

CONCLUSÃO

Este estudo tratou de apresentar um método dinâmico e descentralizado para capturar, tratar e exibir dados de iluminação pública do viário urbano através do uso de dispositivos IoT, apresentando a medição da iluminância em ambientes urbanos utilizando métodos baseados em abordagens estáticas e dinâmicas.

A comparação entre os resultados dos dados coletados com luxímetro e do sensor dinâmico apresenta forte correlação, quando se comparado com os valores médios (Figura 11). No caso apresentado na Tabela 4, o sensor embarcado está localizado próximo a posição do motorista, o que faz com que os dados de iluminação registrados estejam concentrados nas regiões centrais/à esquerda das faixas de rolamento, o que corrobora com o resultado exibido, demonstrando valores coerentes.

Através dos resultados apresentados na
Tabela 3 e na Tabela 4, o estudo confirmou seu potencial de viabilidade de associar os resultados de medições dinâmicas com os padrões estabelecidos pela norma NBR 5101 [4]. Neste propósito, a medição dinâmica oferece vantagens significativas, como a capacidade de realizar levantamentos extensivos em curtos períodos, aumentando a eficiência, recorrência e produtividade na aquisição e atualização constante de dados sobre a iluminância urbana. Esse aspecto oferece uma capacidade de diagnóstico inicial ampla, que pode ser posteriormente validada por medições amostrais. Tal abordagem é especialmente útil para orientar intervenções em regiões prioritárias onde a iluminância é crítica para a segurança e o bem-estar dos cidadãos. Este método pode permitir uma resposta mais rápida às necessidades de iluminação urbana, otimizando recursos.

Observa-se que os estudos foram conduzidos em vias de baixa capacidade de tráfego, residenciais e de menor iluminação (com médias inferiores a 20 lux). É previsto, portanto, que essa análise seja estendida também a vias com maior intensidade de iluminação. Além disso, deve se considerar que a correlação entre as medições dinâmicas e estáticas pode ser afetada por variáveis dinâmicas, como a velocidade do veículo e a aceleração, além da posição do sensor instalado. Assim, recomenda-se a realização de estudos adicionais que incorporem essas variáveis, a fim de proporcionar uma análise mais aprofundada de seus impactos. Os autores também consideram para estudo futuro os impactos da atualização da norma de iluminação pública [12] na avaliação estática, quanto à classificação viária e malha de referência utilizadas.

Em suma, este estudo destaca a importância de integrar métodos dinâmicos e estáticos na gestão da iluminação urbana, e sugere caminhos para pesquisas futuras que podem maximizar os benefícios dessas tecnologias para uma melhor qualidade de vida nas cidades.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia (FDTE) e da Universidade de São Paulo (USP) pela disponibilização dos dados para realização do estudo.

REFERÊNCIAS

[1] BERTUZZI, F. B. A influência da iluminação pública na segurança urbana noturna. **Paisagem e Ambiente**, [S. l.], v. 32, n. 48, p. e174975, 2021. DOI: 10.11606/issn.2359-5361.paam.2021.174975.

[2] FAVERO, Cassio Santana; LARANJA, Andreia Coelho.Paisagem urbana noturna – Iluminação artificial na valorização urbana e bem-estar coletivo. In: **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, 18., 2020, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2020

[3] NARBONI, Roger. **A luz e a paisagem: criar paisagens nocturnas**. Lisboa: Livros Horizonte, 2003.

[4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5101**: Iluminação pública - Procedimento. Rio de Janeiro, 2018.

[5] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 13201-2**: Road lighting – Part 2: Performance Requirements. Europa, 2016.

[6] PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE. **Relatório de Diagnóstico Técnico da Rede de Iluminação Pública de Porto Alegre**. Porto Alegre, 2017. Disponível em: http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/ppp/usu_doc/1_-_diagnostico_tecnico_da_rede_de_iluminacao_publica.pdf. Acesso em 01 julho 2024.

[7] PREFEITURA DE CANOAS. **Estruturação de Projeto de Parceria Público-Privada (PPP) da rede de Iluminação Pública de Canoas/RS**. Canoas, 2022. Disponível em: https://www.canoas.rs.gov.br/wp-content/uploads/2023/04/Produto-P2-Relatorio-de-Diagnostico-Tecnico.pdf. Acesso em 01 julho 2024.

[8] GREFFIER, Florian; BOUCHER, Vincent; MUZET, Valérie; BUSCHMANN, Sandy; VÖLKER, Stephan. A Grid in Perspective for Road Lighting Calculations. In: LEUKOS - **Journal of Illuminating Engineering Society of North America**, [S. l.], v. 19, n. 4, p. 389–404, 2023. DOI: 10.1080/15502724.2022.2135529.

[9] CHIRADEJA, Pathomthat; YOOMAK, Suntiti. Development of public lighting system with smart lighting control systems and internet of thing (IoT) technologies for smart city. In: **Energy Reports**, [S. l.], v. 10, p. 3355–3372, 2023. DOI: 10.1016/j.egyr.2023.10.027.

[10] TAHA, Z.; PASSARELLA, R.; HOW, H. X.; SAH, J. M.; AHMAD, N.; GHAZILLA, R. A. R.; YAP, H. J. Application of data acquisition and telemetry system into a solar vehicle. In: **2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER ENGINEERING AND APPLICATIONS, ICCEA** 2010, Anais [...]. p. 1–5. DOI: 10.1109/ICCEA.2010.26.

[11] INSTRUMENTS, Texas; SBOS, Incorporated. **OPT3001-Q1 Ambient Light Sensor (ALS) datasheet (Rev. A)**. Disponível em: www.ti.com.

[12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5101**: Iluminação pública - Procedimento. Rio de Janeiro, 2024.