

## LUMINÁRIAS LED E SUA RELAÇÃO COM A TEMPERATURA AMBIENTE E UMIDADE RELATIVA DO AR

Silvia Bigoni<sup>1</sup>

### RESUMO

O presente artigo apresenta uma análise da degradação de alguns dos principais componentes de luminárias LED utilizadas em instalações comerciais, sem condicionamento do ar, a partir de variáveis ambientais.

Os critérios utilizados foram: parâmetro geográfico, a partir da escolha de duas localizações – Cotia - SP e Fortaleza - CE – , com diferentes parâmetros climáticos (variações de temperatura ambiente e umidade relativa do ar); o segundo critério foi a determinação dos períodos de ensaio em campo e em laboratório; o terceiro critério foi a determinação dos *objetos de ensaio* – luminárias LED com suas características fotométricas e colorimétricas – variações de fluxo luminoso, intensidade luminosa, potência elétrica consumida e eficácia luminosa, levantamento das coordenadas de cromaticidade “x, y”, IRC, Ra, temperatura de cor correlata (TCC), índice de fidelidade (Rf) e índice de Gamut (RG).

**Palavras-chave:** Luminárias LED. Colorimetria. Fotometria. Variáveis ambientais.

### ABSTRACT

This article presents an analysis of the degradation of some of the main components of LED luminaires used in commercial installations, without air conditioning, based on environmental variables.

The criteria used were: geographic parameter, from the choice of two locations – Cotia, SP and Fortaleza, CE - with different climatic parameters (variations in ambient temperature and relative humidity); the second criterion was the determination of the test periods in the field and in the laboratory; the third criterion was the determination of the test objects – LED luminaires with their photometric and colorimetric characteristics – variations in luminous flux, luminous intensity, electric power consumed and luminous efficacy, “x,y” chromaticity coordinates, CRI, Ra, correlated color temperature (CCT), fidelity index (Rf) and Gamut Index (Rg).

**Keywords:** LED luminaires. Colorimetry. Photometry. Environmental variables.

---

<sup>1</sup> Docente do Curso *Lighting Design* do Programa de Pós-Graduação Lato Sensu do Centro Universitário Belas Artes de São Paulo; Doutora em Ciências pela Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo em 2020.

## INTRODUÇÃO

A iluminação artificial faz parte do ambiente construído e a introdução da tecnologia LED<sup>2</sup> exige uma transformação de pensamento e de vivência dos arquitetos, instaladores e usuários.

Segundo Kraftmakher (2015) e Soares (2018), a iluminação em estado sólido<sup>3</sup> tem avançado significativamente nos últimos tempos, com nítida economia de energia, menor custo de propriedade, melhor desempenho de iluminação e, em especial, com uma queda significativa nos preços dos componentes que compõem a luminária LED. Se comparadas ao início de sua utilização, luminárias e lâmpadas do tipo LED estão cada vez mais presentes nas instalações e, inevitavelmente, temos a necessidade de conhecer um pouco mais suas especificidades fotométricas, colorimétricas e de consumo energético.

“Com a ajuda da luz, um dos instrumentos mais poderosos, é possível dar vida aos espaços internos” - L. C. Kalff (1971)

O Departamento de Energia dos Estados Unidos<sup>4</sup> (*U.S. Department of Energy - DOE*), em recente análise a partir de uma pesquisa realizada em 2017 sobre o mercado global, publicada pela *Strategies Unlimited* (2017), constatou um impressionante crescimento da tecnologia LED: considerando um universo composto por lâmpadas, luminárias e serviços, as luminárias convencionais ocupavam 51% do mercado global em 2010, diminuindo para 41% em 2014, com projeção de 11% para 2020; as luminárias LED, ao contrário, ocupavam apenas 5% do mercado em 2010, passaram a ocupar 15% em 2014, com projeção de 45% para 2020.

Um dos aspectos mais importantes da tecnologia de iluminação LED é o fato de apresentar algumas propriedades que abrem uma vasta gama de novos parâmetros, anteriormente impossíveis de serem alcançados pelas fontes tradicionais. Nesse sentido, temos especificamente o controle espectral e as combinações de diferentes LEDs, que criam a capacidade de projetar luminárias com distintos espectros de radiação, permitindo a entrega do espectro de luz mais adequado para cada aplicação, oferecendo a facilidade de controlar a intensidade da luz por meio de fontes de alimentação eletrônicas chaveadas, sistemas analógicos ou protocolos digitais, bem como a possibilidade de controle e a distribuição óptica em função das reduzidas

---

<sup>2</sup> LED: Conforme ABNT IEC/TS 62504: 2013, o LED é um dispositivo de estado sólido que contém uma junção p-n, que permite radiação óptica quando excitado por uma corrente elétrica. Essa definição é independente da existência de invólucro (s) e de terminais.

<sup>3</sup> Iluminação em estado sólido (sigla **SSL**, em inglês *Solid State Lightining*).

<sup>4</sup> Departamento de Energia dos Estados Unidos (**DOE**) - É um departamento do governo dos Estados Unidos da América responsável pela política de energia e segurança nuclear.

dimensões da fonte, e a natureza direcional, que permite ser controlada com pequenas ópticas de custo relativamente baixo, selecionando os efeitos de luz desejados de acordo com as intenções de projeto, da atmosfera pretendida e o impacto que a arquitetura deve provocar no observador por meio da iluminação.

Quanto à depreciação do fluxo luminoso, as estimativas de vida útil devem considerar todo o sistema de luminárias, não apenas os LEDs. Falhas procedentes dos componentes eletrônicos do driver, deterioração dos componentes ópticos, podem ocorrer muito antes que a depreciação do lúmen<sup>5</sup> do LED seja considerada como falha.

Segundo o DOE - Departamento de Energia dos Estados Unidos, a redução do consumo de energia global com a introdução de tecnologia LED será de 67% no consumo de iluminação até 2025 e, acreditamos, devemos seguir passos semelhantes no Brasil.

O grande desafio deste experimento foi propor uma metodologia para aprofundar o conhecimento do comportamento da tecnologia LED aplicada em luminárias.

Os fatores climáticos são de extrema relevância nesse sentido, uma vez que atuam de forma intrínseca na natureza. A ação simultânea das variáveis climáticas terá influência direta sobre o ambiente construído que, por sua vez, terá influência sobre a tecnologia LED.

O avanço tecnológico implica em estudos mais específicos em relação aos fatores ambientais e climáticos, como temperatura e umidade relativa do ar, que provavelmente podem influenciar e danificar os sistemas de iluminação LED inseridos nas edificações, e quanto a fatores indiretos, como agentes agressivos presentes no meio ambiente (poluentes, spray de sal, chuva ácida, entre outros).

Segundo Lamberts, Dutra, Pereira (1997), o clima interno em edifícios não condicionados reage mais largamente à variação do clima externo que os sistemas artificiais para resfriamento ou aquecimento que controlam simultaneamente a temperatura, a umidade, a pureza e a distribuição do ar. Assim, a fim de garantir resultados conclusivos do comportamento dos LEDs, e de criar situações críticas para análise, definiu-se que os espaços para realização das experimentações, não fariam uso da climatização artificial.

## **COMPONENTES E PROCESSOS APLICADOS NO PROJETO DE LUMINÁRIAS LED**

A luminária distribui, filtra ou transforma a luz emitida por uma ou mais fontes de luz e compreende, com exceção das próprias fontes emissoras de luz, todas as partes imprescindíveis para sustentar, fixar e protegê-la e, além disso, quando necessário, os

---

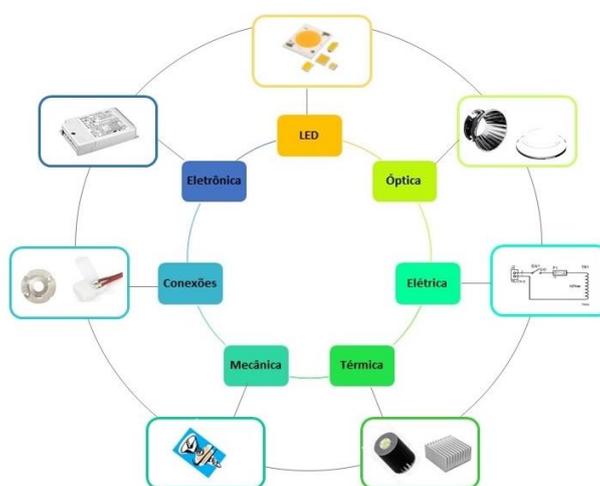
<sup>5</sup> Lúmen: unidade do fluxo luminoso.

equipamentos auxiliares, bem como os meios para ligá-los à rede de alimentação (BIGONI, 2013).

O fluxo ideal do projeto de desenvolvimento, desempenho e vida útil de uma luminária LED não depende somente do emissor de luz, mas está também diretamente relacionado à confiabilidade dos componentes, como controladores eletrônicos, dissipadores térmicos, lentes, conectores etc., que podem contribuir favorável ou desfavoravelmente para o bom desempenho do sistema, segundo Scopacasa (2016).

A Figura 1 apresenta os componentes que fazem parte de uma luminária com LED, ou arranjos de LED.

**Figura 1 - Componentes que fazem parte de uma luminária com LED.**



**Fonte: Adaptado de Scopacasa, 2016.**

### **Integração do projeto com tecnologia LED e o desempenho dos componentes**

A integração do projeto é dividida em cinco níveis, sendo que esses dados nos levam ao entendimento de todos os parâmetros importantes para a construção de uma luminária LED, uma vez que existem vários tipos de LEDs com diferentes características elétricas, mecânicas, ópticas e térmicas, e não necessariamente com o mesmo nível de desempenho (SCOPACASA, 2017).

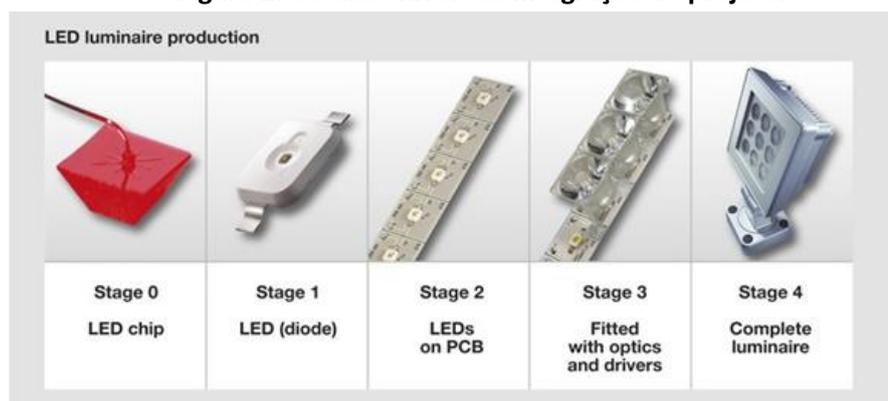
Os componentes que fazem parte do projeto, conforme condições apresentadas:

- O nível 0 (zero) é efetivamente o diodo semicondutor (chip) que emite luz, sem nenhum tipo de encapsulamento, lente ou terminais;

- O nível 1 (um) é o encapsulamento de uma ou mais pastilhas (chips ou die) de LED, com terminais elétricos, podendo conter ou não a lente primária, estando prontos para serem montados em um circuito impresso, sendo que dentre os principais tipos estão os LED High Power, Mid Power e Low Power;
- O nível 2 (dois) são os diodos emissores de luz, podendo conter conector, cabos, resistor e demais componentes já montados em placa de circuito impresso. O COB (chip-on-board) é um exemplo;
- O nível 3 (três) é a montagem do nível 2 (dois), com a inserção do dissipador de calor e ou driver;
- O nível 4 (quatro) considera todos os elementos compostos no nível 3 (três), mais a mecânica e a estrutura da carcaça. Trata-se da luminária, pronta para uso final;
- O nível 5 (cinco) é o dispositivo de controle de luz que harmoniza as tensões padronizadas da rede de corrente alternada (127 e 220V), ou outras tensões em corrente contínua, necessárias ao funcionamento do LED. Instalação de outros periféricos, tais como controle de dimerização, temporizados, controles de acionamento, IoT etc.

A Figura 2 apresenta os cinco níveis de integração do projeto.

**Figura 2: Os cinco níveis de integração do projeto.**



**Fonte: Fördergemeinschaft Gutes Licht, 2021.**

### **O controle e gerenciamento térmico**

Segundo Scopacasa (2016), o controle da temperatura é de vital importância para o desempenho da luminária, assim como também da sua longevidade, pois, garantir o controle sobre a temperatura gerada pelo LED, é uma forma de assegurar a maior vida

útil do sistema. Para tanto, se faz uso de dissipadores de calor, interfaces térmicas e demais elementos de controle térmico.

Temos dois tipos de calor a serem considerados: o primeiro é o calor dissipado, resultante da não transformação da energia elétrica em luz (visível ou não). O segundo é o calor irradiado, que representa a energia presente no feixe de luz, e que no LED é quase ausente. Ainda segundo Scopacasa (2016), o LED emite cerca de 60% da energia visível e 40% de calor.

Outra questão a ser considerada é o fato de o fluxo luminoso e a cor serem dependentes da temperatura de operação do LED. Qualquer fonte luminosa, com o tempo, perde a capacidade de produzir fótons, mas no uso da tecnologia LED o excesso de calor acelera muito esse processo dado que, quanto maior a temperatura, menor será o fluxo luminoso.

Outras variáveis podem ser identificadas, tais como a diminuição da eficácia do sistema e possíveis alterações nas coordenadas de cromaticidade.

A exposição a temperaturas elevadas também pode danificar outros elementos do LED como, por exemplo, a camada de fósforo que é necessária para converter a luz gerada em luz branca, ou mesmo os materiais usados para encapsular os chips dentro do dispositivo LED.

### **Sistemas ópticos**

Enquanto o LED pode incorporar óptica primária diretamente no componente, as luminárias necessitam de ópticas secundárias para dirigir a luz, uma vez que o mercado se acostumou com feixes de luz controlados de 4° a 60°, princípios usualmente estabelecidos pela tecnologia antecessora halógena, com cores uniformes ao longo do feixe, sombra única e bem delimitada. A óptica primária integrada no LED, em conjunto com a óptica secundária, garantem resultados de fachos perfeitos, visto que os LEDs de potência, em sua maioria, apresentam fachos de distribuição bem abertos, de 120° em média, fazendo com que sua intensidade seja fraca para os casos de iluminação direcional e funcional.

As ópticas secundárias podem ser lentes colimadoras (normalmente utilizando polímeros como Policarbonato (PC), Polimetilmetacrilato (PMMA), ou acrílico), ou lentes refletoras parabólicas, *darklight*, esféricas, elípticas etc. (geralmente de alumínio anodizado, ou material plástico metalizado).

Já as ópticas terciárias, além de orientar o fluxo luminoso, auxiliam na difusão do efeito pontual do LED e podem ser utilizadas em conjunto com as ópticas secundárias. São produzidas utilizando polímeros como Polimetilmetacrilato (PMMA), Poliestireno (PS), ou acrílico.

## PROPRIEDADES COLORIMÉTRICAS E FOTOMÉTRICAS

A colorimetria e a fotometria são utilizadas para medir características da luz com parâmetros como fluxo luminoso, intensidade luminosa, eficácia luminosa, temperatura de cor e índice de reprodução de cor, diagrama de cromaticidade, entre outros.

A engenharia espectral é um tema central da Iluminação em Estado Sólido (SSL).

As propriedades dessa natureza mais relevantes para esta pesquisa foram:

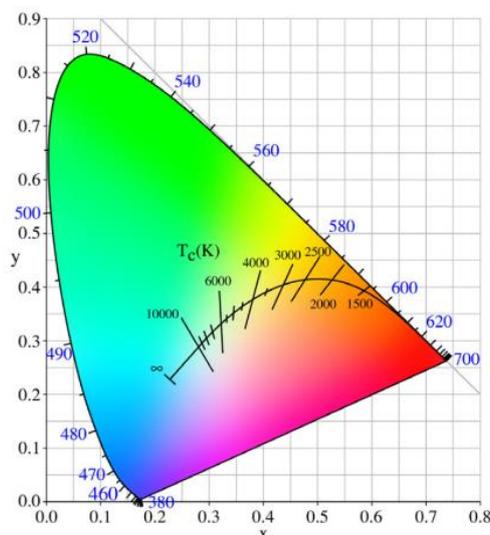
### Índice de Reprodução de Cor (IRC) ou Color Rendering Index (CRI)

O método vigente para aferição do IRC (métrica Ra), desenvolvido pela CIE (*Commission Internationale de L'éclairage*), utiliza 8 cores de referência (R1 a R8). Uma nova métrica, desenvolvida pela IES (*Illuminating Engineering Society*), mais adequada à tecnologia LED, possui 2 parâmetros que utilizamos nesta pesquisa: O Rf (Fidelidade), que determina a proximidade entre a cor aferida e sua referência, e o Rg (Gamut), que determina saturação ou dessaturação da cor aferida em relação à sua referência.

### Diagrama de cromaticidade

A CIE (*Commission Internationale de L'Éclairage*) estabeleceu coordenadas de cromaticidade para descrever a cor. A partir das coordenadas "x, y", é possível localizar e representar a cor da luz emitida pelas luminárias. A Figura 3 apresenta o diagrama de cromaticidade CIE 1931.

Figura 3: Diagrama de cromaticidade CIE 1931



Fonte: Nagy, 2016.

### Temperatura de cor correlata (TCC)

É a “aparência da cor” da luz branca de uma fonte e se refere à localização no diagrama de cromaticidade. Sua unidade é Kelvin.

A temperatura de cor abaixo de 3.300K corresponde à “luz quente” de aparência amarelada; entre 3.300 e 5.300K temos as fontes de temperatura intermediária ou neutra e, acima de 5.300K, temos as fontes de “luz fria” com branco azulado, sendo que quanto mais elevada, mais a aparência será de um branco violeta. A “luz branco natural” emitida pelo sol em céu aberto, ao meio-dia, tem uma temperatura de cor de 5.800K. A Figura 4 apresenta a aparência de cor, ou temperatura de cor correlata, como exemplificação.

**Figura 4: Exemplos de temperatura de cor.**



**Fonte: Fördergemeinschaft Gutes Licht, 2021.**

### Fluxo luminoso

O fluxo luminoso é a grandeza característica de um fluxo energético, expressando a sua disposição de produzir uma sensação luminosa no ser humano, através de estímulo da retina ocular, avaliada segundo valores da eficácia luminosa relativa admitidos pelo CIE. Unidade: lúmen (lm), Símbolo ( $\phi$ ). Uma esfera integradora, ou esfera de Ulbricht, é utilizada para a medição do fluxo luminoso emitido por uma fonte de luz.

### Intensidade luminosa

A intensidade luminosa de uma fonte de luz é igual ao fluxo emitido em uma direção por unidade de ângulo sólido nessa mesma direção. Sua Unidade é candela (cd), que é a

intensidade luminosa de uma fonte puntiforme numa certa direção, na qual um ângulo sólido de 1 esferradiano<sup>6</sup> emite 1 lúmen, símbolo (lm).

### **Eficácia luminosa**

É a capacidade de conversão de energia elétrica em luminosa, expressa pela razão entre o fluxo luminoso emitido por uma fonte de luz (em lumens) e a potência elétrica consumida por essa mesma fonte (em Watts). Sua unidade é lúmen/watt (lm/w).

## **MÉTODOS E MATERIAIS**

Os procedimentos metodológicos adotados tiveram início com um amplo levantamento de dados, por meio de experimentações e medições para a determinação de indicadores de projeção da manutenção do fluxo luminoso, da alteração espectral, reprodução de cor, e consistência de cor de luminárias LED aplicadas no setor comercial.

Não foi analisado o comportamento do sistema eletrônico, do controle térmico, conector e carcaça, considerando que são componentes indiretos da luminária.

Os sistemas de iluminação, denominados de *objetos de ensaio*, foram cuidadosamente determinados, assim como a definição dos parâmetros geográficos, temporais e de laboratório para a obtenção do desempenho fotométrico e colorimétrico dos sistemas. Igualmente, foram determinadas a identificação, codificação, quantidade de amostragens, intervalos e duração dos experimentos das luminárias de testes.

### **Determinação dos sistemas de iluminação**

Os principais componentes de uma luminária LED são o diodo emissor de luz, a óptica secundária, a óptica terciária, o controlador eletrônico – também chamado de driver ou fonte alimentadora –, o dissipador térmico e o conector.

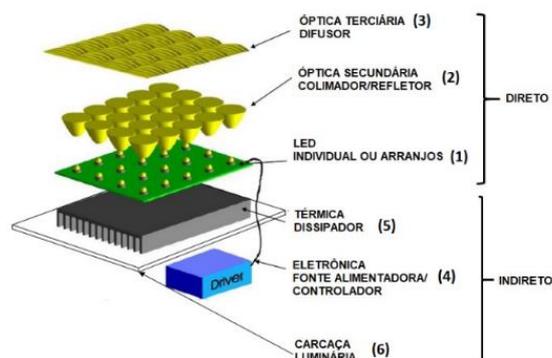
Para este experimento foram ensaiadas luminárias completas e, para efeito de avaliação do comportamento e desempenho dos sistemas, foram considerados o emissor de luz LED, individual ou em arranjo, a óptica secundária, considerando a lente colimadora ou refletor, e a óptica terciária, por meio de difusor frontal.

A Figura 5 apresenta os componentes da luminária em estado sólido.

---

<sup>6</sup> Esferradiano: Ângulo sólido que, tendo vértice no centro de uma esfera, subtende na superfície da mesma, uma área igual ao quadrado do raio da esfera.

**Figura 5: Componentes da luminária em estado sólido.**



**Fonte: Adaptado Scopacasa, 2017.**

### Componentes diretos e indiretos

Fazem parte dos componentes de uma luminária LED:

- 1 - LED - Diodo emissor de luz de alta potência individualmente fabricado ou montado em placas de circuito impresso de núcleo metálico e inserido em luminárias do mercado (direto);
- 2 - Óptica secundária – Colimadores moldados e injetados em plástico, refletores em policarbonato com superfície refletora metalizada, ou refletor em alumínio anodizado. As ópticas servem para favorecer o direcionamento do fecho luminoso (direto);
- 3 - Óptica terciária – Difusor produzido em plástico, projetado para controle, difusão e distribuição da luz do LED (direto);
- 4 - Eletrônica – Driver ou fonte alimentadora, que é um dispositivo de controle de luz que harmoniza as tensões padronizadas da rede de corrente alternada (127 e 220 V) ou outras tensões em corrente contínua conforme, necessária para funcionamento do LED. É um circuito eletrônico para o funcionamento e controle do LED (indireto);
- 5 - Térmica – Segundo Mello (1980), o controle térmico por meio de dissipador, que permite que o diodo dissipe maior potência e tenha a temperatura de junção mais baixa que a máxima permissível (indireto);
- 6 - Carcaça – Os componentes mecânicos que fazem parte do envoltório, a estrutura geral da luminária e os componentes mecânicos para fixar a luminária; normalmente o corpo é produzido em chapa de aço, ou alumínio, com pintura eletrostática (indireto).

## Objetos de Ensaio

A escolha das luminárias deu-se por meio de uma análise do mercado especificador e da representatividade entre os projetistas de iluminação, arquitetos, especificadores, instaladoras, construtoras, atacadistas e revendas de materiais elétricos.

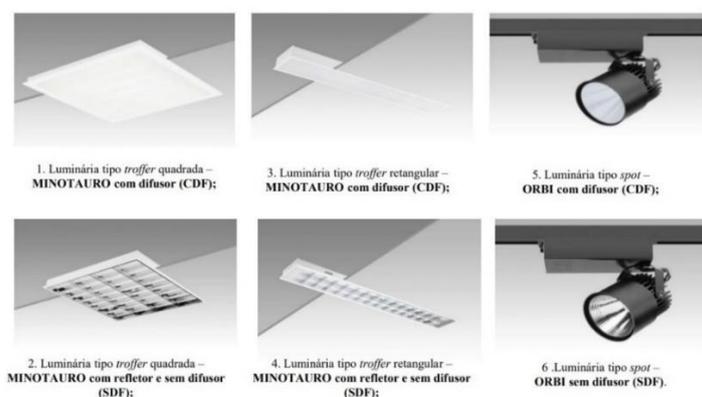
Os modelos foram escolhidos por serem produzidos, em média e grande escala, por diversos fabricantes conhecidos no mercado nacional, aplicados em instalações bancárias, instituições de ensino, escritórios, lojas e redes de departamento, shoppings centers e hotéis, entre outros. O experimento foi patrocinado por uma empresa atuante no mercado de iluminação há mais de 50 anos.

Detalhamento dos *objetos de ensaio* utilizados para a realização do experimento, considerando-se as informações em fichas técnicas fornecidas pelo fabricante:

- a) Luminária tipo “*troffer*” quadrada – modelo MINOTAURO com difusor;
- b) Luminária tipo “*troffer*” retangular – modelo MINOTAURO com difusor;
- c) Luminária tipo “*troffer*” quadrada – modelo MINOTAURO com refletor e sem difusor;
- d) Luminária tipo “*troffer*” retangular – modelo MINOTAURO com refletor e sem difusor;
- e) Luminária tipo “*spot*” – modelo ORBI com difusor;
- f) Luminária tipo “*spot*” – modelo ORBI sem difusor.

Na Figura 6 são apresentadas as luminárias escolhidas, com respectivos prefixos de identificação.

**Figura 6: Luminárias escolhidas denominadas *objetos de ensaio*, com respectivos prefixos de identificação.**



Fonte: Itaim Lighting Concept, adaptada pela autora, 2021

### Parâmetros geográficos

Para a inserção dos *objetos de ensaio* foram adotadas duas localidades, Cotia - SP e Fortaleza - CE, ambas em edificações comerciais e sem climatização, com características ambientais distintas. A determinação das localidades buscou as condições ideais e alguns indicadores, conforme características atmosféricas, como: tipo climático e classificação do clima, temperatura do ar, umidade relativa do ar, altitude, latitude e longitude.

Em Cotia - SP foi definida uma área no primeiro pavimento de um centro de distribuição de luminárias, com área de 352m<sup>2</sup> (22,00m x 16,00m).

A altura de instalação das luminárias foi 2,60m, sendo que parte dos *objetos de ensaio*, modelos MINOTAURO, foram instalados no forro modular, composto de placas de fibra mineral de modulação quadrada 0,625m x 0,625m e estruturadas em perfis metálicos, e os modelos ORBI foram instalados por meio de adaptadores específicos, em um trilho eletrificado trifásico de 3m.

A Figura 7 mostra os *objetos de ensaio* instalados e um tripé montado centralmente, com altura de 0,75m, e um data logger (Hobo U12-012) – anexado por meio de velcro – para as medições de temperatura e umidade do ar.

**Figura 7: Objetos de ensaio – Cotia-SP**



**Fonte: a autora, 2020.**

Em Fortaleza - CE, foi utilizada uma área no 6º pavimento de um centro de hematologia e hemoterapia, com área de 21,60m<sup>2</sup> (6,00m x 3,6m), pé direito de 2,87m.

A altura de instalação das luminárias foi de 2,65m, sendo que parte dos *objetos de ensaio*, modelos MINOTAURO, foram instalados no forro modular, composto de placas de isopor de modulação retangular 1,25m x 0,625m, e estruturadas em perfis metálicos;

os modelos ORBI foram instalados por meio de adaptadores específicos, em dois trilhos eletrificados trifásico de 1,0m cada, sendo esse parafusado na estrutura do forro modular.

A Figura 8 mostra a distribuição dos *objetos de ensaio* na área de experimento e o tripé com o data logger posicionado no centro da instalação para as medições de temperatura e umidade do ar.

**Figura 8: Objetos de ensaio – Fortaleza - CE**



Fonte: a autora, 2020.

### **Características climáticas das localidades dos experimentos e codificações adotadas**

Para as duas localidades, a fim de facilitar a avaliação dos *objetos de ensaio*, foram definidos prefixos em relação às localizações. As características climáticas iniciais foram obtidas através do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Cotia / SP - Prefixo - COT

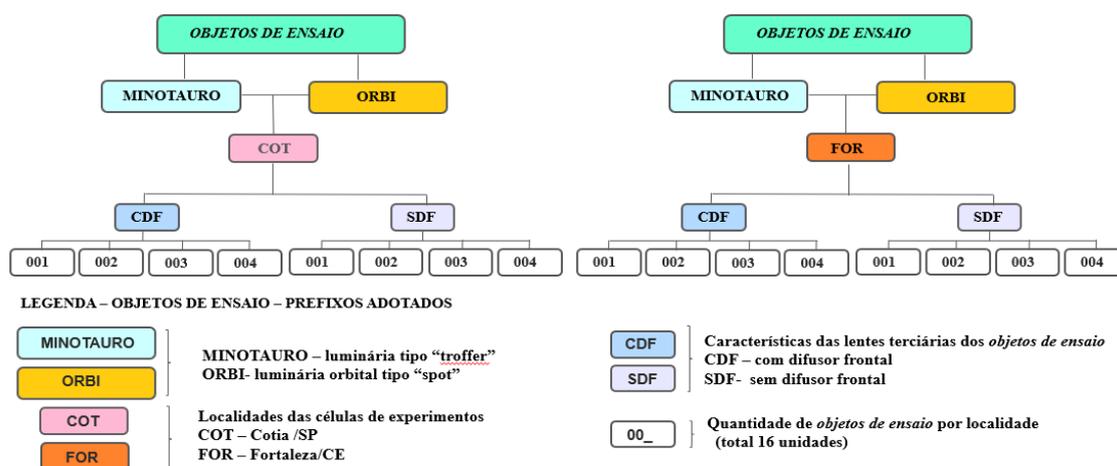
- Tipo climático: clima temperado – Cfa (clima subtropical úmido);
- Temperatura máxima média/ano – 24°C;
- Temperatura média registrada pelo data logger Hobo (período de 06/11/2017 a 10/10/2019) – 25,6°C;
- Umidade relativa do ar/ano – 78,4%;
- Umidade relativa registrada pelo data logger Hobo (período de 06/11/2017 a 10/10/2019) – 57,29%;
- Altitude – 797 metros; Latitude – 23° 36' 15" Sul; Longitude – 46° 56' 27" Oeste.

Fortaleza / CE – Prefixo – FOR

- Tipo climático: clima tropical – Aw (clima savânico);
- Temperatura máxima média/ano – 24,8°C;
- Temperatura média registrada pelo data logger Hobo (período de 05/12/2018 a 25/08/2019) – 30,74°C;
- Umidade relativa do ar/ano – 76%;
- Umidade relativa registrada pelo data logger Hobo (período de 05/12/2018 a 25/08/2019) – 68,25%;
- Altitude – 14 metros; Latitude – 3° 43' 6" Sul; Longitude – 38° 32' 36" Oeste.

Na Figura 9 podem ser observadas as características (modelo, tipo de lente) e quantidade dos *Objetos de ensaio*, por localidade,

**Figura 9: Objetos de ensaio**



**Fonte: a autora, 2020.**

### Dados temporais

Para a determinação do período de ensaios, houve a análise criteriosa de alguns indicadores, em atendimento às recomendações dos memorandos técnicos do *Illuminating Engineering Society* - IES, para a indicação das perdas luminosas, depreciação das superfícies ópticas e alterações cromáticas dos *objetos de ensaio* tendo sido definido o seguinte:

a) Períodos de testes em campo e laboratório distintos em função da programação do laboratório, logística e distância da instalação, conforme localidade;

b) *Objetos de ensaio* ligados 24 horas x 7 dias, para cumprir os intervalos de testes e duração;

c) Testes subdivididos em quatro períodos para o prefixo COT - Cotia/SP, totalizando 12.120 horas; definiu-se esse período maior como possível fator para falhas catastróficas<sup>7</sup>, considerando que no processo poderia ocorrer a queima de alguma amostragem;

d) Testes subdivididos em dois períodos para o prefixo FOR - Fortaleza/CE, totalizando 6.000 horas.

A Tabela 1 demonstra esses dados:

**Tabela 1: Períodos de medições de COT (Cotia - SP) e FOR (Fortaleza - CE).**

COTIA (COT)	0 hora	1.000 horas	2.000 horas	3.000 horas	4.000 horas	5.000 horas	6.000 horas	7.000 horas	8.000 horas	9.000 horas	10.000 horas	11.000 horas	12.000 horas
1º período (início dos ensaios)	0												
2º período	2.016 horas												
3º período	6.072 horas												
4º período	6.000 horas conforme recomendação da IES - com acréscimo de 6.120 horas												

FORTALEZA (FOR)	0 hora	1.000 horas	2.000 horas	3.000 horas	4.000 horas	5.000 horas	6.000 horas	7.000 horas	8.000 horas	9.000 horas	10.000 horas	11.000 horas	12.000 horas
1º período (início dos ensaios)	0												
2º período	6.336 horas recomendações do conforme IES												

**Fonte: a autora, 2020.**

e) Medições efetuadas por equipamento modelo HOBO U12-012 para avaliação de temperatura e umidade relativa do ar, com intervalos de 15 minutos, sendo o equipamento colocado sobre um tripé a 0,75m do piso, e fotocélula posicionada horizontalmente aos *objetos de ensaio*.

As informações armazenadas pelo data logger seguiram os períodos definidos nos parâmetros temporais, conforme ilustra a Tabela 2.

<sup>7</sup> Falha que ocorre quando equipamento ou componente queima no período de 1.000 horas (mortalidade da fonte).

**Tabela 2: Parâmetros climáticos das experimentações**

Características climáticas	Cotia -SP	Fortaleza-CE
Tipo de clima	Cfa (clima subtropical úmido)	Aw(clima savânico)
Temperatura do ar média/ano*	24°C	24,8°C
Temperatura do ar média registrada pelo data logge HOBO (período 06/11/2017 a 10/10/2019 e Fortaleza 05/12/2018 a 25/08 /2019)	25,6°C	30,74°C
Umidade relativa do ar média/ano*	78,40%	76%
Umidade relativa do ar média registrada pelo data logge HOBO (período 06/11/2017 a 10/10/2019 e Fortaleza 05/12/2018 a 25/08 /2019)	57,29%	68,25%
Altitude*	797 metros	14 metros
Prefixo	COT	FOR

Fonte: a autora, 2020.

### Atividades de laboratório e campo

Para a determinação dos ensaios e medições, definiu-se a necessidade de atender às recomendações do memorando técnico do IES, para obtenção dos dados de variações de fluxo luminoso, levantamento das coordenadas de cromaticidade e consistência da cor, potência elétrica consumida, eficácia luminosa, entre outros parâmetros.

### Determinação dos parâmetros fotométricos, elétricos e colorimétricos para as medições em laboratório:

Determinação dos processos comumente utilizados na determinação das medições, a saber:

- Fluxo luminoso em lúmens;
- Intensidade luminosa em candelas (no caso das luminárias de foco);
- Eficácia;
- IRC – Índice de reprodução de cor;
- TCC/CCT – Temperatura correlata de cor;
- Coordenadas de cromaticidade “x, y”, conforme CIE 1931;
- Rf e Rg, conforme IES TM-30-18 e CIE 224-17.

## RESULTADOS

Nas medições de manutenção de fluxo luminoso para todos os *objetos de ensaio*, dentro do intervalo de 0 hora até 6.000 horas, houve pouca variação em relação ao fluxo original, mas nas medições de 12.000 horas, para os modelos de COTIA CDF e SDF, temos uma notável diminuição, independente do uso de difusores frontais ou refletores

metálicos sem difusor. Uma possível explicação para tal resultado é a redução do fluxo luminoso, em função do maior tempo de operação.

Esse resultado é importante para as indústrias, por representar métricas e desempenho da luminária LED e não somente do LED, conforme recomendações do IES e realizado pelos fabricantes de luminárias em laboratório.

Os *objetos de ensaio* ORBI COT CDF e FOR CDF sofreram variações no comportamento, relacionadas a uma questão térmica, uma vez que com os difusores tenderam a ter um maior aquecimento por acúmulo de calor nas partes internas dos refletores, comprometendo a característica de convecção.

Os modelos ORBI COT CDF e FOR CDF são sistemas mais críticos e, em condições de calor extremo, foi possível serem observadas as alterações e depreciação do fluxo luminoso, provavelmente por termos uma maior densidade de emissão de luz ( $\text{lm}/\text{mm}^2$ ), maior densidade de potência ( $\text{W}/\text{mm}^2$ ) e, conseqüentemente, maior densidade de calor, o que demanda maiores cuidados com o projeto térmico, pois a transferência de calor dissipado passa a ocorrer em áreas cada vez menores.

A condição ambiental externa também pode ter causado a perda de fluxo luminoso, mas em contrapartida, observou-se uma variação menor no IRC e Ra nos modelos ORBI COT CDF e FOR CDF, em função de uma tecnologia mais aprimorada por parte dos LEDs COB em relação aos modelos MINOTAURO COT CDF e FOR CDF, que fazem uso de LED Mid-Power plástico.

Todos os *objetos de ensaio* MINOTAURO e ORBI CDF e SDF, apresentaram elevação na temperatura de cor TCC (K), variação caracterizada pelo fenômeno de degradação natural do fósforo em um período maior de operação, quando ocorre o vazamento da luz azul.

A indústria apoiadora divulga uma vida útil de 50.000 horas para os modelos aqui utilizados; em função dos resultados deste experimento, podemos afirmar que a vida útil projetada para estes *objetos de ensaio* está em acordo com as recomendações da IES. Contudo os resultados indicam que sua vida útil é provavelmente superior ao recomendado pela IES, pois todos os *objetos de ensaio* continuaram em funcionamento pleno até o final dos testes.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Identificar que as características atmosféricas ambientais são capazes de alterar as propriedades colorimétricas e fotométricas das luminárias LED, poderá subsidiar melhorias dos produtos ofertados pela indústria brasileira, em função de termos apresentado informações inéditas de medições por um período de 12.000 horas subdivididas em 0 hora, 2.000 horas, 6.000 horas e 12.000 horas em condições de

temperatura ambiente média de 25°C a 31°C, umidade relativa do ar entre 55 e 70%, dentro de um padrão exequível para instalações no setor comercial. Com as informações coletadas será possível o desenvolvimento de novos produtos, ou até mesmo a requalificação dos existentes. O trabalho cria embasamento técnico para aperfeiçoamento da esfera acadêmica e da indústria, contribuindo como um veículo fundamental de desenvolvimento científico e tecnológico.

## **BIBLIOGRAFIA**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT IEC/TS 62504:2013 – Termos e definições para LED e os módulos de LED de iluminação geral. Rio de Janeiro, 2013.12p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT IEC 62031:2013 – Módulos de LED para iluminação geral-Especificações de segurança. Rio de Janeiro, 2013. 11p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT IEC/TS 62504:2013 – Termos e definições para LEDs e os módulos de LED de iluminação geral. Rio de Janeiro, 2013. 12p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT NBR IEC 62722-2-1:2016 - Desempenho de luminárias - Parte 2-1: Rio de Janeiro, 2016. 15p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 – Iluminação em Ambientes de Trabalho – Parte 1 :Interior, Rio de Janeiro, 2013. 46p.

BIGONI, S. Eficiência dos Conjuntos Óticos de Alumínio Especular de Alto Desempenho energético, Dissertação apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 2013.

DOE, U.S. Department of Energy, Solid-State Lighting – Suggested Research Topics Supplement: Technology and Market Context, <energy.gov/eere/ssl/solid-state-lighting> 2017.

IES LM-79-19 Electrical and Photometric Measurements of Solid-State Lighting Products.

IES LM-80-18 - Measuring Lumen Maintenance of LED Light Source; 2018.

IES LM-84-14 Measuring Luminous Flux and Color Maintenance of LED Lamps, Light Engines, and Luminaires.6p.

IES TM-21-11 - Projecting Long Term Lumen Maintenance of LED Light Sources.2011. 24p.

IES TM-28-14 - Projecting Long-Term Luminous Flux Maintenance of LED Lamps and Luminaries. 2014.13p.

IES TM-30-18 - Method for Evaluating Light Source Color Rendition. 26p.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET  
<"http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas,07/01/2017"> acesso 07/01/2017.

ITAIM Lighting Concept – Catálogo Geral. <https://itaimlc.com.br/pt/produtos/led-integrado/produto-minotauro-me/, acesso, 15/03/2019.

\_\_\_\_\_.<https://itaimlc.com.br/pt/produtos/led-integrado/produto-orbi-tr-m/>, acesso, 15/03/2019.

\_\_\_\_\_.<https://itaimlc.com.br/pt/produtos/led-integrado/produto-2003-led/>, acesso, 15/03/2019.

\_\_\_\_\_.<https://itaimlc.com.br/pt/produtos/led-integrado/produto-2005-re-led/>, acesso, 15/03/2019.

KRAFTMAKHER, Y. Nobel Prize for Blue Leds. European Journal of Physics, 2015. 36p.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. Eficiência Energética na Arquitetura. 1.ed, São Paulo, Editora PW Editores,1997. p.74/82/171.

\_\_\_\_\_. Difusores<http://www.lucchi.com.br/leds-e-componentes/difusores>, 2020.

MOREIRA, V.A. Iluminação Elétrica, Ed. Edgar Blucher Ltda, 1999.

NAGY.B.V. Fotometria e Colorimetria - Disciplina PSE5936 apresentada na Universidade de São Paulo. 2016.

NASCIMENTO, A. Análise do Uso da Tecnologia LED Aplicada à Iluminação Pública. Estudo das Perspectivas de Aplicação da Cidade de São Paulo. Dissertação apresentada para Universidade Federal do ABC, 2012.

OKAMOTO, J. Percepção ambiental e comportamento: visão holística da percepção ambiental na arquitetura e na comunicação. São Paulo: Instituto Presbiteriano Mackenzie, 2002. p.21.

SCOPACASA.V. Entendendo os Leds. O Setor Elétrico. São Paulo, Capítulo III, Edição 122, 4p, 2016.

\_\_\_\_\_. Gerenciamento Térmico dos Leds. O Setor Elétrico. São Paulo, Capítulo V, Edição 124, 4p, 2016.

\_\_\_\_\_. Gerenciamento Térmico – Conclusão. O Setor Elétrico. São Paulo, Capítulo VII, Edição 126, 4p, 2016.

SCOPACASA, V. Tecnologia Led, São Paulo, 2017.

SCOPACASA, V. IESNA TM30-15 e CIE 224:2017 – Qualidade e reprodução de cor, 2019.

SOARES FILHO, R. B. Resposta humana à luz: alterações não visuais e o projeto luminotécnico residencial com LED, Universidade de São Paulo, 2018.