

# DEPRECIÇÃO E EFICIÊNCIA EM TECNOLOGIAS DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL: LED X FLUORESCENTE

DEPRECIATION AND EFFICIENCY IN ARTIFICIAL LIGHTING TECHNOLOGIES: LED X FLUORESCENT

Cristiane Sato

## Resumo

Este artigo aborda a depreciação da tecnologia LED (Diodo Emissor de Luz) comparada à da tecnologia fluorescente nos sistemas de iluminação mais utilizados em ambientes corporativos internos. O resultado da depreciação dos sistemas de iluminação foi obtido por meio da experimentação em uma célula teste, com dois modelos de luminárias (com aletas e com difusor) e três fontes de luz: a lâmpada fluorescente tubular T5 de 28W, o tubo LED T8 de 18W e o LED integrado na luminária. Os conjuntos foram instalados em uma célula teste e ficaram ligados por aproximadamente 17.000 horas. As medições foram realizadas a cada 3 meses, ao longo de 24 meses (2 anos), com um luxímetro em pontos definidos, de acordo com a norma NBR/ISO 8995:2013. Os valores encontrados na experimentação serviram para verificar a depreciação do fluxo luminoso na tecnologia LED, tanto no sistema com a lâmpada tubo LED quanto no sistema com o LED integrado na própria luminária, comparada com a tecnologia fluorescente. Os experimentos revelaram resultados de depreciação inferiores aos determinados na norma CIE-97:2005. A utilização dos valores de depreciação encontrados nesta pesquisa permite a redução no quantitativo de luminárias e a consequente economia de energia em um edifício.

Palavras-chave: Iluminação artificial. Depreciação. LED. Fluorescente. Medição.

## Abstract

This paper compares the depreciation of LED (Light-Emitting Diode) technology with fluorescent technology, considered the most commonly used lighting systems in indoor corporate environments. The result of the depreciation of these lighting systems was obtained by

experimenting inside a testing room, with two models of luminaires - with fins and with a diffuser - and three light sources: the T5 tubular fluorescent lamp of 28W, the T8 LED tube of 18W and a LED applied over the luminaire. These sets were assembled in the test cell and kept turned on for approximately 17,000 hours. Measurements were performed every 3 months over 24 months (2 years) using a lux meter. The placement of testing points was defined according to the NBR/ISO 8995:2013 Brazilian standard. The values found in the experiment were used to check if there was a flux depreciation in LED technology, both in the system with tube LED lamp and the LED applied in luminaire when compared to the fluorescent technology. Moreover, the study verifies that the lamp lumen depreciation factors obtained in practice are lower than the ones listed in CIE-97:2005 Standard. The depreciation values founded in this research allows for a reduction in the number of luminaires, and consequently saving energy in a building.

Keywords: Artificial lighting. Depreciation. LED. Fluorescent. Measurement.

## **1. Introdução**

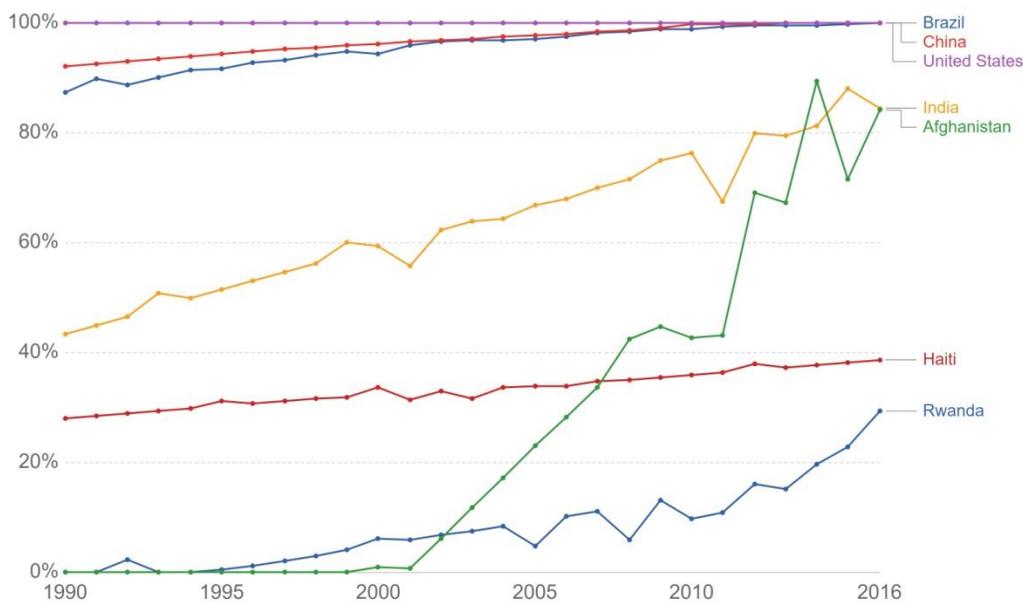
Em termos de evolução tecnológica na área da construção civil, os sistemas de iluminação são um dos itens de maior avanço tecnológico nas últimas duas décadas. Poucos elementos sofreram tantas alterações, em um período tão reduzido, e continuam avançando em direção ao desempenho e à qualidade. A maior eficiência luminosa da fonte de luz contribui para esse avanço, uma vez que é possível iluminar mais com menor custo (ROSER, 2019). O World Bank levantou os dados de crescimento do acesso à eletricidade e, por conseguinte, à iluminação, a partir de dados compilados desde 1990, sendo que o último relatório foi divulgado em 2016. Na Figura 1, observa-se a evolução desse crescimento em alguns países.

Figura 1: Gráfico da evolução do acesso à energia elétrica da população em alguns países

### Porcentagem da população com acesso à eletricidade

Dados representam o acesso à eletricidade em residências

Our World  
in Data



Fonte: The World Bank. [OurWorldInData.org/energy-production-and-changing-energy-sources/](http://OurWorldInData.org/energy-production-and-changing-energy-sources/)CC BY SA

Entre 2000 e 2001, os níveis médios dos reservatórios dos mananciais brasileiros atingiram as menores marcas históricas. Como não havia reserva de água disponível, houve uma crise hídrica e, conseqüentemente, uma crise energética. Por esse motivo, o governo brasileiro estipulou a redução em 20% no consumo de energia elétrica nacional, definindo novas metas de consumo (GARCIA, 2011). Nesse período, a lâmpada incandescente foi substituída massivamente pela lâmpada fluorescente e pela fluorescente compacta, pois o consumo podia ser reduzido em até 75%.

No setor comercial, a solução para economizar energia por meio da iluminação foi a substituição das lâmpadas fluorescentes tubulares T10 de 40W (base G13) pelas lâmpadas fluorescentes tubulares T8 de 32W (base G13). Com essa substituição, economizava-se cerca de 20% de energia. Nos anos de 2004-2005, iniciou-se a substituição da lâmpada fluorescente tubular T8 e T10 pela fluorescente tubular T5, mais eficiente e com maior vida útil. Esta tecnologia ainda é utilizada, pois tem elevada eficiência energética, grande durabilidade, grande variedade de temperatura de cor, IRC (Índice de Reprodução de Cor) alto, além de possuir selo de certificação do INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia) desde 1999.

No momento, a tecnologia LED é considerada o sistema de iluminação mais eficiente do mercado e está cada vez mais sendo utilizada no Brasil e no mundo. No Brasil, as normas existentes relativas à fabricação do LED são de 2012, enquanto a certificação de lâmpadas LED pelo INMETRO entrou em vigor em fevereiro de 2016; ou seja, data ainda recente. Até setembro de 2016, ainda não era possível encontrar as lâmpadas tubo LED certificadas em revendedores de grande e médio portes. Tais produtos estavam disponíveis apenas diretamente nos fabricantes.

Apesar de se mostrar extremamente eficiente, na maioria dos casos, a tecnologia LED é relativamente recente. Assim, alguns estudos, como os de Soares (2018), Kyba et al. (2017) e Jaadane et al. (2015), começaram a avaliar suas implicações para a saúde humana e para a concentração no trabalho – principalmente devido à alta emissão do espectro da luz azul nos LED. Portanto, ainda recomenda-se cautela na utilização dessa tecnologia.

No setor dos edifícios, dados da EPE (Empresa de Pesquisa Energética) mostram que o consumo de energia elétrica, no Brasil, era de 243.074 GWh, em 1995, e foi para 465.130 GWh, em 2017. Logo, o consumo de energia praticamente dobrou nesses 22 anos. No setor comercial, que engloba edifícios de escritório, instituições de ensino, hospitais, bancos, etc., o aumento representou 44% ao longo desses anos.

Segundo a EPE (2019), o consumo do setor comercial corresponde a 19,1% do total. A pesquisa de posse de equipamentos e hábito de uso, publicada em 2008, mostra, a partir dos dados coletados em 2005, que 22% em média do consumo das edificações correspondem ao gasto com iluminação (ELETROBRAS, 2009).

O cuidado deve ser ainda maior no caso de projetos de *retrofit*, pois ainda vende-se a ideia de que, substituindo-se uma lâmpada fluorescente por uma lâmpada LED com formato tubular, haverá economia de energia sem prejuízo na qualidade da iluminação. No entanto, o nível de iluminação resultante dessa substituição pode divergir do projeto original e, muitas vezes, não está de acordo com a norma (BECK, 2016).

Estudos, como os de Gu et al. (2004) e Aman et al. (2013), já demonstraram que a vida útil e o desempenho do LED podem ser reduzidos pela ação de altas temperaturas; no entanto, essa questão não tem sido levada em consideração nessa substituição de lâmpadas. Assim, o estudo de diferentes modelos de sistemas de iluminação que utilizam LED deveria ser considerado.

Além disso, no mercado atual, os arquitetos e os *lighting designers* ainda têm dificuldade na obtenção dos dados básicos, que os fabricantes deveriam fornecer junto dos seus produtos –

tanto em LED como em sistemas de iluminação convencionais. Até hoje, os fabricantes não disponibilizam os dados fotométricos das luminárias com lâmpadas de tubo LED, salvo quando solicitados e dentro dos prazos fabricantes, não necessariamente, atendendo aos prazos da pesquisa.

Muito embora os programas de simulação computacional de iluminação possibilitem a edição dos dados, é necessário que esses dados sejam absolutamente corretos e precisos. Entre esses dados, está o fator de manutenção ou o fator de depreciação do sistema de iluminação. No cenário ideal, recomenda-se limpar os sistemas periodicamente e, após se alcançar a depreciação de 30% do fluxo luminoso, recomenda-se que o conjunto seja substituído.

Ao iniciar esta pesquisa, um dos objetivos foi verificar se existe depreciação na tecnologia LED e qual sua porcentagem se comparada à depreciação da tecnologia fluorescente. Assim, verificar-se-iam: a eficiência dos sistemas de iluminação utilizando a nova tecnologia LED no Brasil, em diferentes modelos de luminárias; a confiabilidade dos dados de entrada nos programas de simulação; assim como a depreciação a ser utilizada e os dados fotométricos fornecidos pelos fabricantes.

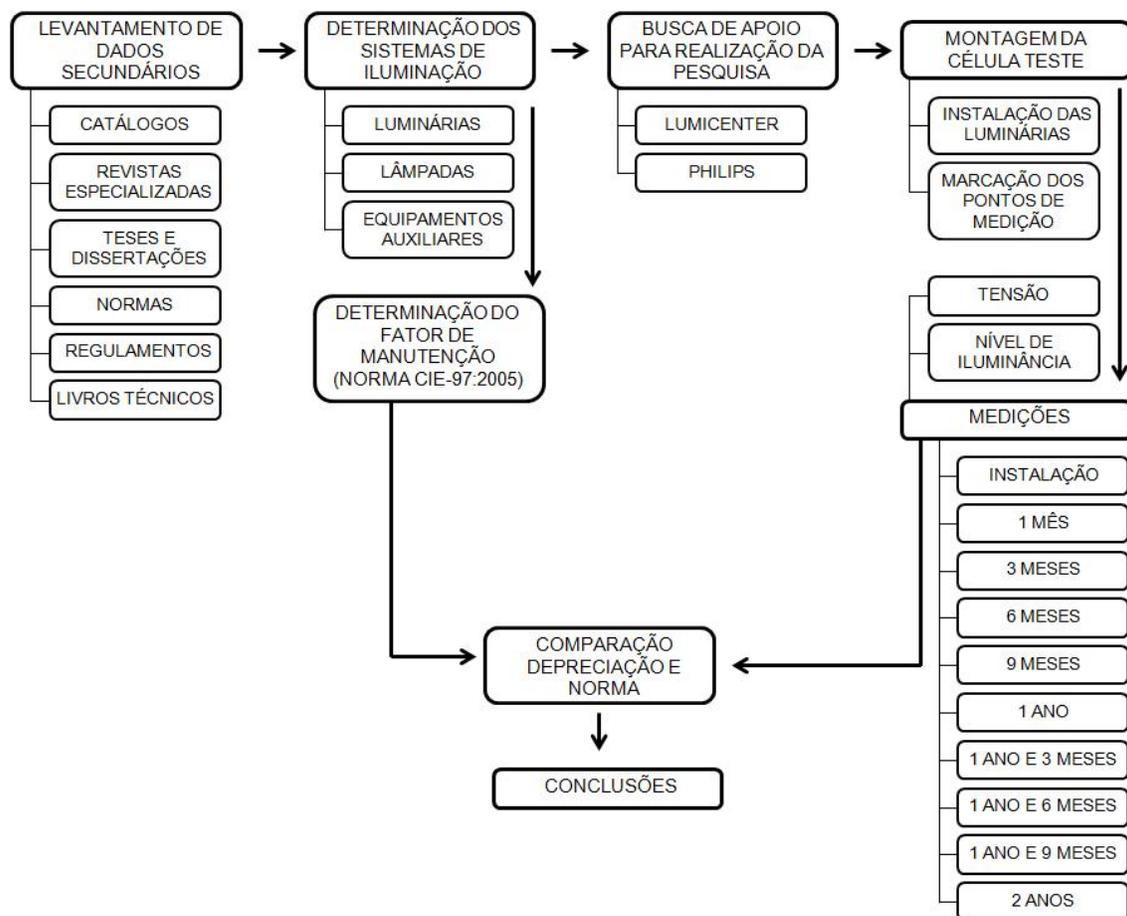
O uso em ampla escala de uma tecnologia pode gerar grande impacto energético para um país; por isso, ter conhecimento profundo do comportamento desta tecnologia é fundamental. Aferir se o resultado esperado condiz com a realidade é mandatário, visto que, em tempos de instabilidade na produção de recursos básicos, como a eletricidade, conhecer o consumo real de uma edificação pode significar a viabilidade ou não – de uma empresa ou até de um país – de trocar os sistemas de iluminação.

Este artigo tem como objetivo mostrar a depreciação da tecnologia LED comparada à tecnologia fluorescente, estimando o fator de manutenção real em projetos de iluminação.

## **2. Método**

O método de pesquisa seguiu o fluxograma mostrado na Figura 2 durante todas as suas etapas.

Figura 2: Fluxograma da pesquisa



Fonte: Os autores.

## 2.1. Levantamento de dados

Inicialmente, foi realizado o levantamento de dados secundários, que incluem revisões de literatura em dissertações e teses sobre iluminação artificial, eficiência energética e LED; informações sobre projetos atuais utilizando a tecnologia LED, em revistas e *sites* especializados; e normas e regulamentos sobre o assunto, para definir a metodologia que seria utilizada na pesquisa.

Também foram levantadas informações sobre quais sistemas de iluminação com tecnologia LED eram mais utilizados em projetos de *retrofit* e que poderiam ser equivalentes aos sistemas de iluminação convencionais utilizando lâmpada fluorescente tubular. Essas informações foram pesquisadas em catálogos e *sites* de fabricantes de empresas (nacionais e internacionais) mais conhecidas no mercado brasileiro.

Determinados os sistemas de iluminação mais utilizados em edifícios comerciais, iniciou-se o levantamento dos dados primários para a pesquisa.

Para a pesquisa, foram utilizadas as normas NBR ISO/CIE 8995-1, de 2013, Iluminação de ambientes de trabalho – Parte 1: Interior (ABNT, 2013), adotando o espaçamento mínimo para medições, e a norma CIE 97:2005 (CIE, 2005), para aplicação do fator de manutenção do sistema de iluminação utilizado.

## 2.2. Sistemas de Iluminação

Foram adotadas duas tipologias de sistemas de iluminação: modelo de luminária com aletas e modelo de luminária com difusor. Deste modo, foi estudada a depreciação tanto da tecnologia LED como da tecnologia fluorescente, considerando uma luminária semiaberta e uma fechada. No total, foram seis tipologias de sistemas de iluminação: três luminárias com aletas parabólicas e refletor em alumínio para lâmpada fluorescente tubular 2x28W (tipo 1), para lâmpada LED tubular equivalente 2x18W (tipo 2) e com o LED integrado (tipo 3); e mais três luminárias com refletor branco e fechamento translúcido para lâmpada fluorescente tubular 2x28W (tipo 4), para lâmpada LED tubular equivalente 2x18W (tipo 5) e com o LED integrado (tipo 6).

A luminária do tipo 3, apesar de ter aletas, possui um difusor entre elas e a fonte luminosa, para evitar o ofuscamento direto causado pelos LEDs. Quando se iniciou a pesquisa, o modelo foi lançado no mercado brasileiro para substituir luminárias de mesmo modelo (com aletas, mas sem o difusor).

A empresa Lumicenter doou todas as luminárias utilizadas na pesquisa, sendo duas peças de cada modelo. As lâmpadas utilizadas nos sistemas de iluminação foram doadas pela empresa Philips do Brasil. A descrição de cada modelo de luminária, das lâmpadas e dos equipamentos auxiliares utilizados é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Sistemas de iluminação utilizados na pesquisa

Modelo	Luminária	Lâmpada	Equipamento auxiliar
Tipo 1	 Modelo da luminária: FAA04-S228 Luminária de sobrepor, com corpo em chapa de aço fosfatizada e pintada	2 lâmpadas fluorescentes tubulares T5 28W – Marca/Modelo: TL5	1 reator eletrônico Marca/Código do produto: Philips EL1/214-28A26 P

		eletrostaticamente na cor branca, refletor e aletas parabólicas em alumínio alto brilho	Essencial 28W/840, potência de 28W, Base G5, Temperatura de cor 4000K Fluxo luminoso 2900lm, Eficiência 103 lum/W, Vida útil de 20.000h, IRC 80	105~250V, para 2x28W, tensão de 127V, Corrente de entrada 0,49A, Potência total: 63W, Fator de potência 0,99, THD (Distorção Harmônica Total) < 5%, Fator de Fluxo luminoso 1,00, Fator Eficiência 1,59 e Frequência da tensão elétrica: 45 kHz
Tipo 4		Modelo da luminária: FHT07-S28 Luminária de sobrepor com corpo em chapa de aço fosfatizada e pintada eletrostaticamente na cor branca. Difusor em acrílico leitoso (PMMA - polimetilmetacrilato)		
Tipo 2		Modelo da luminária: CAA02-S232 Luminária de sobrepor, com corpo em chapa de aço fosfatizada e pintada eletrostaticamente na cor branca, refletor e aletas parabólicas em alumínio alto brilho	2 lâmpadas tubo LED T8 18W – Marca/Modelo: Philips – MASTER LEDTube 18W Potência de 18W, Base G13, Temperatura de cor 6500K, Fluxo luminoso 2100lm, Eficiência luminosa 117 lm/W, Vida média 25.000h, Tensão 100~240V, 50/60 Hz, Fator de potência 0,92, IRC > 82	Drive incorporado à lâmpada
Tipo 5		Modelo da luminária CHT10-S232ACL Luminária hermética de sobrepor, com corpo em chapa de aço fosfatizada e pintada eletrostaticamente na cor branca. Difusor em poliestireno leitoso		
Tipo 3		Modelo da luminária: EAA02-S3500840 Luminária de sobrepor de LED, corpo em chapa de aço fosfatizada com pintura microtexturizada. Aletas parabólicas e refletores em	LED aplicado diretamente na luminária, Temperatura de cor 4000K, Fluxo luminoso 3400lm (já consideradas as perdas	Marca/Código do produto: Lumicenter REREAT00714, para lâmpada LED 12-17, Tensão: 100 a 250V, : 0,32 (127V), Potência Total: 37W, Fator de

		alumínio de alto brilho. Difusores recuados em acrílico leitoso. IRC 85 e IP20 (Índice de Proteção).	óticas), Vida útil 30.000h de uso em ambientes a 50°C, 3 anos de garantia.	Potência 0,98, THD (Distorção Harmônica Total): 10%, Fator de Eficiência.: 90% e
Tipo 6		Modelo LCN13-S4000840 Luminária de sobrepor à LED, com corpo em chapa de aço fosfatizada, acabamento em pintura eletrostática pó poliéster na cor branca microtexturizada. Difusor em acrílico leitoso. IRC 80 e IP20	LED aplicado diretamente na luminária, Temperatura de cor 4000K, Fluxo luminoso 3850lm (já consideradas as perdas óticas), Vida útil 50.000h	Frequência da rede elétrica: 50/60 Hz

Fonte: Elaborado pelos autores. Dados coletados em: <https://www.lumicenteriluminacao.com.br/>

### 2.3. Determinação do fator de manutenção ou perdas luminosas

Para encontrar o valor do fator de manutenção a ser considerado em projetos luminotécnicos, foi utilizada a norma CIE-97:2005 – Guia de manutenção dos sistemas elétricos de iluminação internos (CIE, 2005). Essa norma foi selecionada, pois é importante considerar, ainda na fase projetual, um fator de perdas luminosas pela depreciação da fonte de luz e pelo acúmulo de poeira nos sistemas de iluminação e nas superfícies do ambiente, além do *design* do próprio sistema de iluminação.

O fator de manutenção (FM) a ser considerado é determinado pela seguinte equação:

$$FM = FMFL \times FEL \times FML \times FMSS \quad \text{Eq. 1}$$

onde: FMFL – fator de manutenção do fluxo luminoso da lâmpada

FFL – fator de falha por envelhecimento da lâmpada

FML – fator de manutenção da luminária

FMSS – fator de manutenção das superfícies da sala

Seguindo-se as instruções da norma CIE-97 (CIE/2005), encontraram-se os valores de FMFL, FFL, FML e FMSS que foram considerados para o cálculo do fator de manutenção.

Primeiramente, considerou-se que a recomendação dos intervalos de inspeção dos sistemas de iluminação é de 3 anos. Esse valor é dado conforme a tarefa realizada no ambiente, no caso uma sala de escritório – que é considerada um ambiente limpo (C).

Depois, determina-se o tipo de luminária conforme os sistemas de iluminação utilizados. No caso da pesquisa, ambas as luminárias possuem fluxo direto, ou seja, direcionam a luz para baixo. Os modelos Tipo 1, Tipo 2 e Tipo 3 são classificadas como C, que são descritos como luminárias com aletas, e os modelos Tipo 4, Tipo 5 e Tipo 6 são classificadas como D, que são descritos como luminárias fechadas IP2X.

Outro fator importante que deve ser considerado é o tempo que os sistemas de iluminação permanecem acesos durante um ano. Em geral, escritórios e escolas funcionam de 8h a 12h por dia. No entanto, a premissa que foi adotada é de que os sistemas de iluminação permaneceriam acesos 24h por dia, quase sem interrupção. Os sistemas de iluminação ficaram acesos durante 8.760 horas por ano, totalizando aproximadamente 17.000 horas de operação.

Com base nestes dados, seguindo as tabelas indicadas na norma, encontram-se os valores do FMFL (fator de manutenção do fluxo luminoso da lâmpada) e o FFL (fator de falha por envelhecimento da lâmpada), conforme o tipo de lâmpada utilizado no sistema de iluminação e observado na Tabela 2.

Tabela 2: Tabela de fator de manutenção do fluxo luminoso da lâmpada (FMFL) e de fator de falha por envelhecimento da lâmpada (FFL)

		diferenças	Horas gastas em mil horas										
			0,1	0,5	1	2	4	6	8	10	12	15	20
Fluorescente trifosfato	FMFL	moderado	1,00	0,99	0,98	0,97	0,93	0,92	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
	FFL	moderado	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,98	0,97	0,94	0,50
LED	FMFL	grande	Dados mudam constantemente										
	FFL	grande	Dados mudam constantemente										

Fonte: CIE-97/2005 – adaptado pelos autores.

A Tabela 3 mostra os valores do FML (fator de manutenção da luminária) e cruza os dados, informados anteriormente, de intervalo de inspeção e tipo de luminária.

Tabela 3: Tabela de fator de manutenção da luminária (LMF)

Tempo de limpeza em anos	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Tipo de luminária	C	C	C	C	C	C	C
C	1	0,93	0,89	0,84	0,80	0,77	0,74

D	1	0,92	0,88	0,85	0,83	0,81	0,79
---	---	------	------	------	------	------	------

Fonte: CIE-97/2005 – adaptado pelos autores.

Por fim, é necessário encontrar o valor do fator de manutenção das superfícies do ambiente. O acúmulo de sujeira nas superfícies do ambiente reduz a capacidade de reflexão de luz no plano de trabalho com o passar do tempo.

Tabela 4: Tabela de fator de manutenção das superfícies da sala (FMSS) para luminárias com distribuição direta da luz.

Refletância Teto/parede/piso	Tempo/anos ambiente	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
		Fator de manutenção da superfície – plano de utilização												
0,50/0,50/0,20	Limpo	1,00	0,97	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95

Fonte: CIE-97/2005 – adaptado pelos autores.

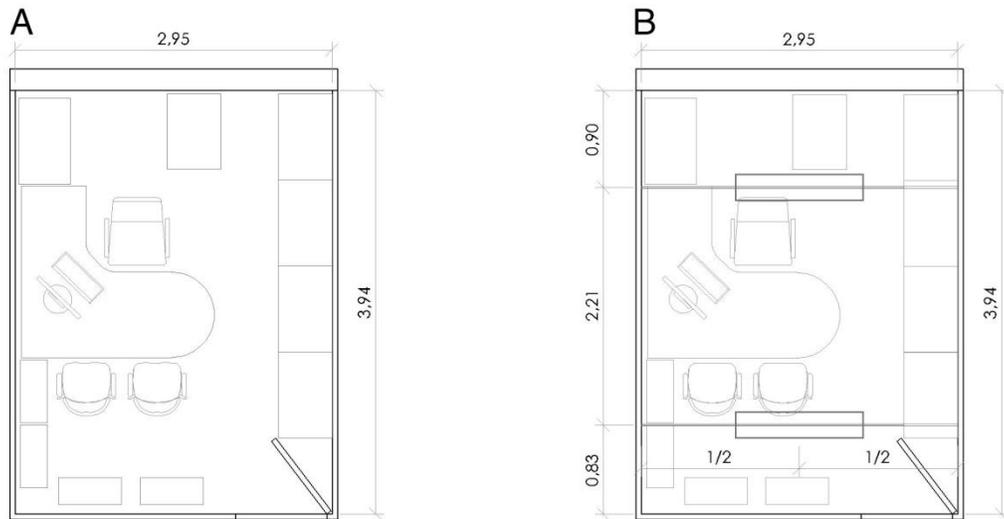
Os dados apresentados nas Tabelas 2, 3 e 4 são informações retiradas da norma CIE-97 (CIE/2005), de acordo com os sistemas de iluminação do experimento. Os fatores de manutenção finais, para os sistemas de iluminação calculados para a pesquisa, serão mostrados nos resultados.

#### 2.4. Montagem da célula teste

A célula teste utilizada para esta pesquisa foi umas das salas de laboratório do Departamento de Tecnologia, localizado na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, no piso dos laboratórios.

A sala tem 2,95m x 3,94m, com pé-direito de 2,92m e altura de instalação das luminárias a 2,82m no perfilado existente. A Figura 3 é referente ao *layout* da célula teste (A) e aos pontos onde foram instalados os sistemas de iluminação (B).

Figura 3: Layout da célula teste (A) e Posição das luminárias para medições (B)



Fonte: Os autores.

O acabamento da sala é: piso cor de caramelo, paredes de cor creme claro e teto em concreto. As estantes da sala contêm livros ou são armários fechados, conforme Figuras 4. A refletância considerada foi de 0,20 para o piso, 0,50 para as paredes, devido à interferência de diversos armários e livros, e 0,50 para o teto de concreto.

Figura 4: Vista da sala da porta para janela (A) e Vista da sala da janela para porta (B)



Fonte: Os autores.

## 2.5. Medições

As medições foram realizadas conforme norma NBR-ISO/CIE 8995-1:2013 (ABNT,2013). Segundo a norma, a distância entre os pontos a serem medidos é obtida com a seguinte fórmula, onde  $p$  é o tamanho da malha (m) e  $d$  é a maior dimensão do ambiente (m):

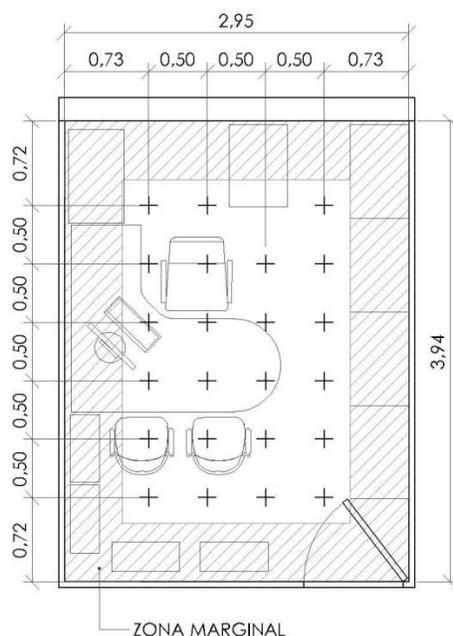
$$p = 0,2 \times 5^{\log_{10} d} \quad \text{Eq. 2}$$

No caso da célula teste, a maior dimensão é de 3,94m.

Substituindo os valores na Equação 2, calcula-se o tamanho da malha como 0,52m. Para facilitar as medições, considerou-se a distância dos pontos da malha de 0,50m. A norma ainda considera um número mínimo de pontos da malha de medição, que é dado pela relação de  $d$  (maior dimensão do ambiente) por  $p$  (tamanho da malha), onde é encontrado o valor mínimo de sete pontos.

Outro ponto da norma presente na pesquisa foi o acréscimo de uma faixa marginal de 0,50m ao redor do ambiente, onde é desconsiderado o valor de medição e/ou de simulação. Dessa maneira, para a sala teste em questão, foram considerados os seguintes 23 pontos de medição, conforme pode ser observado na Figura 5:

Figura 5: Malha de pontos de medição na célula teste



Fonte: Os autores.

A Figura 6 mostra a base, feita com cano de PVC, com altura de 0,75m, que permitiu que as medições de iluminância realizadas fossem feitas todas na mesma altura. A mesa de trabalho também possui a mesma altura de 0,75m.

Figura 6: Base utilizada na célula teste para medições



Fonte: Os autores.

Para que as medições fossem feitas no mesmo ponto, foram feitas marcações no piso e no plano de trabalho.

A tensão de rede medida, no edifício, não variou e ficou entre 122V e 124V. Para medição do nível de iluminância, foi utilizado o luxímetro da Minipa, modelo MLM-1020. A cada 6 meses, o luxímetro utilizado foi comparado com o luxímetro de referência do laboratório de fotometria do IEE-USP (Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo), por meio da comparação dos níveis de iluminância medidos, para verificar a validade da calibração. A diferença permaneceu a mesma em todas as verificações, com margem de erro de 5%.

Os sistemas de iluminação permaneceram acesos durante 24 horas por dia, totalizando, ao final do experimento, 17.520 horas (aproximadamente 2 anos), desde o dia 16 de novembro de 2016 até o dia 14 de novembro de 2018. Desta maneira, foi possível analisar a depreciação e a vida útil real dos sistemas de iluminação do experimento. Nessas 17.520h, os sistemas foram desligados apenas nos curtos períodos de medição e substituição de sistemas, não ultrapassando 30 minutos por dia. Este procedimento ocorreu a cada três meses e somente durante as medições.

Foram feitas medições dos seis sistemas de iluminação logo após instalação, um mês depois de serem instalados e a cada três meses, totalizando dois anos.

As medições ocorreram predominantemente à noite, para que não houvesse interferência da luz natural. Quando foram realizadas durante o dia, foram realizadas duas medições, uma considerando iluminação natural mais artificial e outra somente com a iluminação natural. Assim, descontando uma pela outra, obteve-se os valores dos níveis da iluminação artificial.

Como havia apenas uma célula teste, as medições ocorreram em datas distintas. A cada dia da medição, uma tipologia de sistema de iluminação foi posicionada, conforme Figura 3 (B), com o auxílio de um electricista. As demais peças ficavam instaladas em perfilados nas paredes laterais da célula teste e desligadas somente no momento de cada medição, uma vez que cada sistema de iluminação estava ligado em um circuito diferente. Os vãos superiores foram cobertos com papel do tipo Paraná, para que a luz da sala teste não interferisse nas salas adjacentes. Durante o experimento, a sala teste não foi utilizada por docentes ou alunos.

### **3. Resultados e discussões**

#### **3.1. Considerações Preliminares**

As medições foram realizadas com o intuito de verificar a real depreciação de sistemas de iluminação.

Os valores medidos foram apurados por um luxímetro calibrado com base em uma lâmpada incandescente. Isso significa que os valores tiveram variação em relação ao luxímetro calibrado, dependendo do tipo de lâmpada medida. As lâmpadas fluorescentes tubulares T8 tiveram variação de 16%; as lâmpadas fluorescentes tubulares T5 tiveram variação de 5% a 6%; as lâmpadas tubo LED apresentaram maior diferença, com variação de 20% a 21%; e as luminárias com LED integrados, tiveram variação de 4% a 6%.

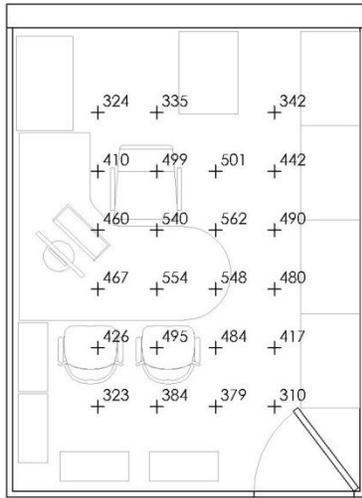
Apesar de terem ocorrido variações em relação ao luxímetro calibrado, o resultado é concreto, pois o aparelho utilizado durante toda a pesquisa não foi trocado e a variação entre este e o luxímetro calibrado permaneceu constante. Então, se pode afirmar que a depreciação medida durante os dois anos é válida.

### **3.2. Medições e resultados**

A seguir, serão apresentados os valores medidos ponto a ponto no momento da instalação dos sistemas de iluminação. Os valores apresentados foram corrigidos e estão de acordo com o luxímetro calibrado. A Figura 7 ilustra as medições realizadas no dia da instalação de cada sistema de iluminação, seguindo a malha de pontos no momento da instalação.

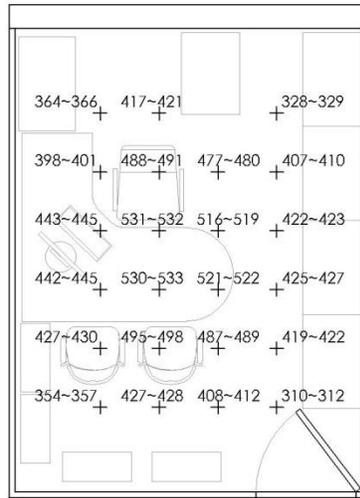
Figura 7: Resultados de medição da iluminância na célula teste no início do experimento

LUMINÁRIA TIPO 1  
 DATA DA MEDIÇÃO: 18.11.2016  
 HORÁRIO: 19:10h  
 REFERÊNCIA: 0h  
 Em = 442 lux



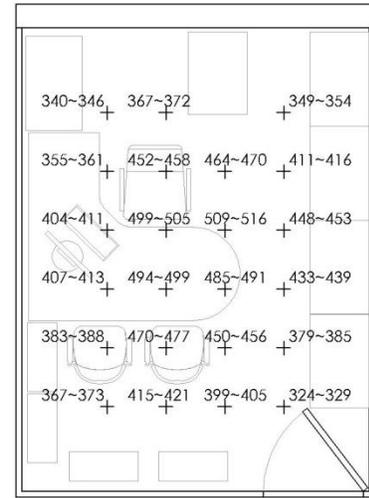
Tipo 1

LUMINÁRIA TIPO 2  
 DATA DA MEDIÇÃO: 17.11.2016  
 HORÁRIO: 19:10h  
 REFERÊNCIA: 0h  
 Em = 438 lux



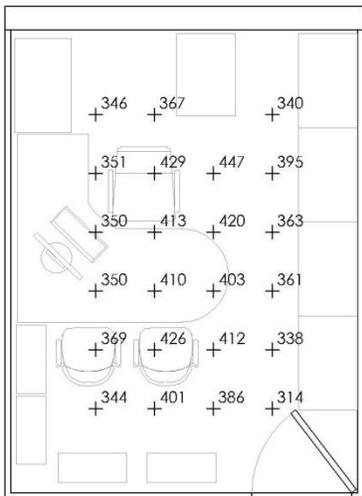
Tipo 2

LUMINÁRIA TIPO 3  
 DATA DA MEDIÇÃO: 16.11.2016  
 HORÁRIO: 19:10h  
 REFERÊNCIA: 0h  
 Em = 421 lux



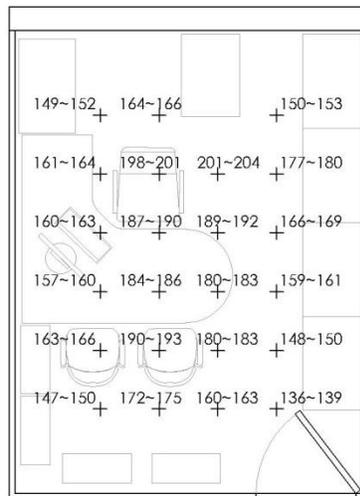
Tipo 3

LUMINÁRIA TIPO 4  
 DATA DA MEDIÇÃO: 21.11.2016  
 HORÁRIO: 19:20h  
 REFERÊNCIA: 0h  
 Em = 380 lux



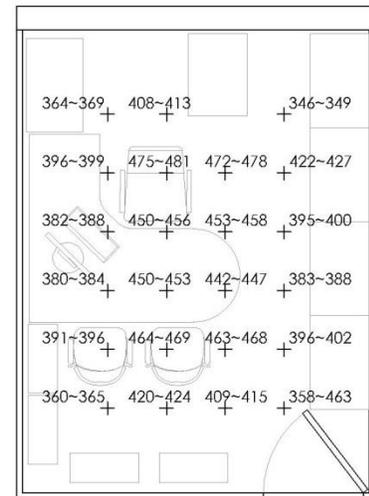
Tipo 4

LUMINÁRIA TIPO 5  
 DATA DA MEDIÇÃO: 22.11.2016  
 HORÁRIO: 18:55h  
 REFERÊNCIA: 0h  
 Em = 170 lux



Tipo 5

LUMINÁRIA TIPO 6  
 DATA DA MEDIÇÃO: 23.11.2016  
 HORÁRIO: 19:30h  
 REFERÊNCIA: 0h  
 Em = 415 lux

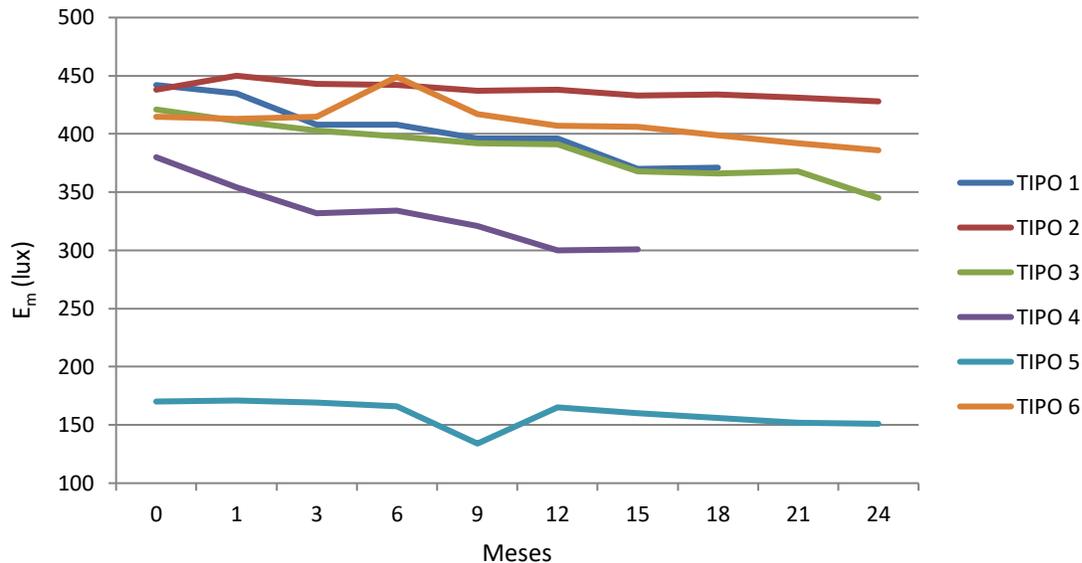


Tipo 6

Fonte: Os autores

Todas as medições realizadas foram fichadas, conforme Figura 7. Ao final de cada medição, obteve-se o  $E_m$  (nível médio de iluminância) medido. Os resultados são apresentados no gráfico da Figura 8 e na Tabela 5.

Figura 8: Gráfico da iluminância média das medições realizadas



Fonte: Os autores

Um mês após a instalação dos sistemas de iluminação, foram realizadas medições ponto a ponto para verificar a perda do fluxo luminoso. Os sistemas permaneceram acesos 24h por dia, durante todo o período, totalizando aproximadamente 720h. Ao observar os valores do nível de iluminância média da Tabela 4, em relação aos sistemas de iluminação com lâmpada fluorescente tubular T5, verifica-se que houve perda de 2% no tipo 1, luminária com aletas; e de 7% no tipo 4, com difusor. Nos sistemas de iluminação com lâmpada tubo LED, em ambos os casos, houve aumento no nível de iluminância média medida, sendo que, no sistema tipo 2, verificou-se aumento de 3% e, no do tipo 5, de 1%. Os sistemas de iluminação com o LED integrado na luminária mostram depreciação de 2%, no sistema tipo 3, e manutenção do nível de iluminância, no sistema tipo 6.

Após 3 meses permanecendo acesos, os sistemas de iluminação foram medidos novamente. Passaram-se aproximadamente 2.154h, já descontando o tempo em que os sistemas de iluminação ficaram apagados (tempo de medição, troca de posição dos sistemas de iluminação pelo electricista

e eventual falta de energia no edifício). As medições desse período mostram que a depreciação, em relação ao início do experimento, foi de 8%, no tipo 1, e de 13%, no tipo 4 – ambos os sistemas utilizam a lâmpada fluorescente tubular T5. Nos sistemas que utilizam a lâmpada tubo LED, houve aumento de 1%, no tipo 2, e o início da depreciação do tipo 5, em 1%. Já, nos sistemas com o LED acoplado na própria luminária, houve, no sistema do tipo 3, a depreciação de 4%, enquanto, no tipo 6, o nível médio se manteve.

Após 6 meses de instalação, cerca de 4.310h, foram realizadas novas medições. Nesse período, não houve depreciações significativas em todos os sistemas de iluminação instalados.

Na análise após 9 meses com os sistemas de iluminação acesos, cerca de 6.400 horas, a depreciação foi de 10%, para a luminária com aletas, e de 16%, para a luminária com difusor – no caso dos sistemas utilizando as lâmpadas fluorescentes tubulares. Para os sistemas que utilizam lâmpada tubo LED, no caso do modelo com aletas, não houve depreciação e, no caso do modelo com difusor, a depreciação chegou a 21%. Para os sistemas de iluminação utilizando a tecnologia LED diretamente na luminária, os resultados da iluminância média das medições mostram que o modelo com aletas depreciou-se 7% e o modelo com difusor não apresentou depreciação neste período. A porcentagem da depreciação é sempre em relação à medição inicial realizada.

Seguindo as medições, com mais três meses do experimento, chegou-se a um ano de depreciação dos sistemas de iluminação – o que corresponde a aproximadamente 8.600h. A medição dos sistemas de iluminação utilizando lâmpada fluorescente tubular não indicou depreciação no intervalo de 9 meses para 1 ano, no modelo com aletas, porém, no modelo com difusor, houve depreciação de mais 6% nesse intervalo. Ao observar a Tabela 4, verifica-se que as medições dos sistemas de iluminação utilizando lâmpada tubo LED mostram que não houve depreciação do modelo com aletas e que o modelo com difusor depreciou-se em 6%. Comparando a depreciação ocorrida nas medições de 9 meses e de 1 ano, do sistema de iluminação tipo 5, percebe-se que a depreciação mudou de 21% para 6% nesses 3 meses. Uma provável causa dessa brusca mudança pode ser por erro humano, no momento da medição, ou por flutuação pontual de tensão na rede elétrica.

As medições dos sistemas de iluminação com o LED integrado na luminária apresentaram 7% de depreciação, no modelo com aletas (tipo 3), e apenas 2%, no modelo com difusor (tipo 6). Em ambas as medições, percebe-se que não houve depreciações no intervalo de 9 meses para 12 meses (1 ano).

Sobre os resultados das medições realizadas após 1 ano e 3 meses (15 meses) dos sistemas de iluminação acesos, que correspondem a, aproximadamente, 10.770h, dos modelos que utilizam a lâmpada fluorescente tubular, a depreciação medida, no modelo tipo 1, foi de 16% e, no modelo do tipo 4, foi de 21%. A depreciação dos modelos que utilizaram lâmpada tubo LED foi de apenas 1%, nos modelo do tipo 2, luminária com aletas, e se mantiveram os 6%, nos modelo tipo 5, luminária com difusor. Para os modelos que utilizam a tecnologia LED diretamente sobre a luminária, a depreciação foi de 13%, no modelo com aletas, e de 2%, no modelo com difusor.

As medições de 1 ano e meio, aproximadamente 12.930h, ocorreram na metade do mês de maio. Antes da medição, entre o final do mês de abril e o início de maio, houve a queima de um dos componentes de um dos sistemas de iluminação do tipo 4. Desse modo, foi realizada somente a medição correspondente ao sistema de iluminação tipo 1, o qual apresentou depreciação de 16% após quase 13.000h, mantendo o nível médio de iluminância medido no intervalo de 1 ano e 3 meses. Se o sistema de iluminação tipo 4, onde houve a queima de componente, fosse medido, é possível que a depreciação ficasse por volta de 25%.

Como houve queima de um componente, em relação aos sistemas de iluminação que utilizavam a tecnologia fluorescente tubular, optou-se por retirar todas as luminárias que utilizavam essa tecnologia.

Os sistemas de iluminação utilizando lâmpada tubo LED depreciaram-se conforme medições realizadas: 1%, na luminária modelo com aletas, e 7%, nas luminárias modelo com difusor. Já, nos sistemas de iluminação com o LED integrado na luminária, como observado na Tabela 4, a depreciação se manteve em 13%, no modelo com aletas, e 4%, no modelo com difusor.

Ao observar as medições dos sistemas de iluminação que utilizam a tecnologia LED, após 1 ano e 9 meses, verifica-se que a depreciação do modelo tipo 2 foi de 2% e do modelo tipo 5 foi de 11%. Para os sistemas de iluminação com as luminárias em LED, o modelo tipo 3 manteve a depreciação em 13%, medida nos 15 meses, enquanto o modelo tipo 6 depreciou-se 6% no total desde a medição inicial.

Por fim, apresentam-se os resultados das últimas medições realizadas na célula teste, no total de 17.000h com os sistemas de iluminação ligados. Nos sistemas de iluminação que utilizavam lâmpada tubo LED, a depreciação, em ambas as tipologias, permaneceu constante desde a medição realizada 21 meses antes. Nos sistemas com o LED integrado na luminária, houve depreciação total de 18%, no tipo 3, com aletas, e de 7%, no tipo 6, com difusor.

A partir dos resultados descritos anteriormente, conclui-se que, no caso no qual as luminárias recebem as lâmpadas, a depreciação é maior nos sistemas de iluminação com difusor, onde as mesmas ficam confinadas, e é menor nos sistemas de iluminação com aletas, onde a dissipação de calor é maior.

Os componentes dos sistemas de iluminação utilizados nesta pesquisa são os mais conhecidos e renomados no mercado nacional.

### **3.3. Resultados e discussões**

A importância de verificar a real depreciação dos sistemas que utilizam a tecnologia LED decorre do fato de que esses sistemas são muito recentes e, desta forma, o fator de manutenção ou de perdas luminosas apresenta-se como uma variável em aberto – quando deveria ser uma constante conhecida.

Segundo os manuais de iluminação da Osram e da Philips, a vida útil de uma lâmpada é o número de horas decorridas até que ela deprecie 30% do fluxo luminoso inicial.

A vida útil de uma lâmpada fluorescente tubular é, segundo os fabricantes, de aproximadamente 20.000h. No caso de uma lâmpada tubo LED, a vida útil deve atender, de acordo com o INMETRO (Portaria número 389), o mínimo de 25.000h; no entanto, o valor informado pelo fornecedor varia de 25.000h a 50.000h.

Sabe-se, também, conforme norma internacional CIE-97:2005 (CIE, 2005), que o fator de manutenção ou de perdas luminosas do sistema de iluminação depende não somente do tipo de lâmpada e suas características particulares, mas também do modelo de luminária que acomoda as lâmpadas e da manutenção das superfícies de um ambiente; ou seja, o fator de perdas é bastante relevante para evitar a iluminância deficiente na área de tarefa, que pode acarretar problemas como erros ou atraso na conclusão de tarefas e danos à visão dos usuários.

A grande maioria dos projetistas utiliza somente o valor padrão sugerido nos manuais de iluminação. Para uma sala limpa, considera-se 0,80; para uma sala de média limpeza 0,70; e para uma sala suja o valor de 0,60 (PHILIPS,1981). Alguns fabricantes não incluem o fator de manutenção em seus cálculos ou simulações computacionais. Em outros casos, como em projetos luminotécnicos realizados pelos projetistas de fábricas de luminária, amplia-se esse valor para aumentar a venda de peças.

Os valores de 0,80, 0,70 e 0,60 são recomendados pelo manual da Philips, quando não há dados suficientes sobre depreciação da lâmpada e luminária, o que atualmente é improvável, pois essas informações são facilmente encontradas em catálogos impressos e na internet.

#### Comparação medições *versus* norma

Um dos resultados mais importantes foi a determinação dos valores de depreciação ou perdas luminosas dos sistemas de iluminação por meio das medições realizadas ao longo de dois anos, período em que se observou o quanto a tecnologia fluorescente e a tecnologia LED depreciam-se ao longo do tempo, sob as mesmas condições.

A Tabela 5 foi criada para comparar os valores dos fatores de manutenção (FM) preconizados pela norma CIE-97:2005 (CIE, 2005), utilizando a Equação 1, e os valores encontrados nas medições.

Tabela 5: Tabela comparativa de fatores de manutenção

	Tempo (meses)	Horas	FM CIE:97	Iluminância Esperada (lux)	Iluminância Medida (lux)	FM encontrado	Depreciação Total (%)
Luminária Tipo 1	Início	0h	1.00	442	442	1.00	16%
	1 mês	720h	0.99	438	435	0.98	
	3 meses	2.154h	0.97	429	408	0.92	
	6 meses	4.310h	0.84	371	408	0.92	
	9 meses	6.465h	0.80	355	396	0.90	
	12 meses	8.620h	0.75	333	396	0.90	
	15 meses	10.776h	0.74	326	370	0.84	
	18 meses	12.931h	0.69	305	371	0.84	
Luminária Tipo 2	Início	0h	1.00	438	438	1.00	2%
	1 mês	720h	1.00	438	443	1.01	
	3 meses	2.154h	1.00	438	442	1.01	
	6 meses	4.310h	0.90	395	442	1.01	
	9 meses	6.465h	0.88	387	437	1.00	
	12 meses	8.620h	0.84	367	438	1.00	
	15 meses	1.077h	0.82	359	433	0.99	
	18 meses	12.931h	0.77	336	434	0.99	
	21 meses	15.087h	0.75	328	431	0.98	
24 meses	17.027h	0.72	313	428	0.98		
Luminária Tipo 3	Início	0h	1.00	421	421	1.00	18%
	1 mês	720h	1.00	421	411	0.98	
	3 meses	2.154h	1.00	421	403	0.96	
	6 meses	4.310h	0.90	380	398	0.95	
	9 meses	6.465h	0.88	372	392	0.93	
	12 meses	8.620h	0.84	353	391	0.93	
	15 meses	10.776h	0.82	345	368	0.87	
	18 meses	12.931h	0.77	323	366	0.87	
	21 meses	15.087h	0.75	315	368	0.87	
24 meses	17.027h	0.72	301	345	0.82		

Luminária Tipo 4	Início	0h	1.00	380	380	1.00	21%
	1 mês	720h	0.99	376	354	0.93	
	3 meses	2.154h	0.97	369	332	0.97	
	6 meses	4.310h	0.83	315	334	0.88	
	9 meses	6.465h	0.80	302	321	0.84	
	12 meses	8.620h	0.75	283	300	0.79	
	15 meses	10.776h	0.74	280	301	0.79	
	18 meses	12.931h	0.70	265	-	-	
Luminária Tipo 5	Início	0h	1.00	170	170	1.00	11%
	1 mês	720h	1.00	170	171	1.01	
	3 meses	2.154h	1.00	17	169	0.99	
	6 meses	4.310h	0.89	152	166	0.98	
	9 meses	6.465h	0.87	148	134	0.79	
	12 meses	8.620h	0.83	141	165	0.94	
	15 meses	10.776h	0.82	139	160	0.94	
	18 meses	12.931h	0.78	132	156	0.92	
	21 meses	15.087h	0.76	129	152	0.89	
	24 meses	17.027h	0.74	126	151	0.89	
Luminária Tipo 6	Início	0h	1.00	415	415	1.00	7%
	1 mês	720h	1.00	415	413	1.00	
	3 meses	2.154h	1.00	415	415	1.00	
	6 meses	4.310h	0.89	370	449	1.08	
	9 meses	6.465h	0.87	362	417	0.98	
	12 meses	8.620h	0.83	344	407	0.98	
	15 meses	10.776h	0.82	340	406	0.98	
	18 meses	12.931h	0.78	322	399	0.96	
	21 meses	15.087h	0.76	314	392	0.94	
	24 meses	17.027h	0.74	308	386	0.93	

Fonte: Os autores.

Ao analisar as depreciações ocorridas durante o período do experimento, verificou-se que houve depreciação em todos os sistemas de iluminação instalados.

Observa-se que, após três meses da instalação dos sistemas de iluminação, as luminárias dos tipos 1 e 4, com tecnologia fluorescente tubular, depreciaram mais do que o calculado de acordo com a norma. Assim como ocorreu com o sistema de iluminação do tipo 3, com o LED acoplado na luminária, modelo com aletas e difusor.

O sistema de iluminação do tipo 2, utilizando uma lâmpada tubo LED, apresentou aumento no nível médio esperado com base no cálculo da norma. Scopacasa (2016) apresenta, em um relatório de uma amostra de lâmpada LED, que, após 6.000h, o fluxo do LED aumenta. Logo, pode-se dizer que a medição realizada condiz com testes laboratoriais.

Os sistemas de iluminação dos tipos 5 e 6 apresentaram resultados de acordo com o preconizado pela CIE-97:2005 (CIE, 2005).

Em 6 meses, observa-se que, nos sistemas de iluminação com lâmpada fluorescente, a depreciação medida começa a ser menor do que a depreciação calculada de acordo com a norma. De 3 a 6 meses, praticamente não houve depreciação em nenhum dos sistemas e, além disso, o valor medido na iluminância média do sistema de iluminação tipo 6 apresentou aumento. Em relação aos sistemas de iluminação com a tecnologia LED, era esperado que os modelos com lâmpadas tubo LED e com o LED integrado se depreciassem do mesmo modo; no entanto, foram encontradas diferenças nos resultados.

Continuando a análise da Tabela 5, observa-se que, em um ano e meio de experimento, os valores de depreciação medidos permanecem menores do que os esperados.

Se o componente do sistema de iluminação do tipo 4 estivesse em funcionamento ao final de 18 meses (um ano e meio), pode-se inferir que a depreciação ficaria menor do que o esperado baseado nas medições anteriores. Se não houvesse ocorrido a queima do reator, poder-se-ia manter os conjuntos acesos por mais tempo, além das 13.000h, uma vez que os fabricantes de lâmpadas garantem que a vida útil da lâmpada pode chegar a 20.000h.

Após 2 anos de pesquisa, comparando os fatores de manutenção e depreciação obtidos com a norma CIE-97:2005 (CIE, 2005), percebe-se que, no final, a depreciação ocorrida no experimento foi menor do que a norma prevê em todas as situações.

A partir dos resultados do experimento, propõe-se a utilização dos valores reais do fator de manutenção ou perdas luminosas, os quais são inferiores aos propostos na norma europeia CIE-97:2005 (CIE, 2005). A utilização dos valores estimados nesta pesquisa pode reduzir o número de luminárias utilizadas nos projetos e, assim, reduzir o consumo energético de um edifício.

Quando os sistemas de iluminação são instalados, o nível de iluminância pode ficar cerca de 30% maior do que o recomendado pela norma NBR/ISO CIE8995-1 (ABNT, 2013), para que, ao longo do tempo, esse nível permaneça dentro desse valor e para que, com isso, esses sistemas tragam conforto visual aos usuários. Portanto, deve-se estabelecer o tempo de troca dos sistemas de iluminação e seus componentes, assim como programar sua limpeza.

#### **4. Conclusões**

Por meio desta experimentação, observou-se que houve depreciação em todos os sistemas de iluminação. A depreciação foi menor nos sistemas que utilizavam tecnologia LED, comparada

à tecnologia fluorescente, e maior nos modelos com difusor do que nos modelos de aletas, com exceção dos sistemas de iluminação com LED integrado na luminária.

Um dos possíveis motivos dessa inversão de resultados seria a presença de um difusor entre o LED e as aletas, que causaria o aquecimento maior neste modelo de luminária e, portanto, o aceleração da depreciação da tecnologia LED. O desenho do próprio projeto da luminária também pode ter causado essa maior depreciação.

A baixa depreciação da luminária tipo 2, que utiliza lâmpada tubo LED, pode ser resultado da maior eficiência desse tipo de lâmpada em luminárias abertas, nas quais o calor pode se dissipar mais facilmente.

Por fim, ao comparar a depreciação do nível de iluminância média das medições realizadas, com a depreciação esperada conforme norma CIE-97:2005 (CIE, 2005), foi possível concluir que, para o período de até 3 meses, a depreciação da primeira é maior do que da segunda, tanto em relação à tecnologia fluorescente, como no caso da tecnologia LED.

Após 6 meses, observou-se que a depreciação real medida foi menor do que a norma CIE-97:2005 prediz. Esse comportamento continuou até o final do experimento. Especificamente no caso do tipo 3, a proporção da depreciação seguiu o calculado por meio da norma; no entanto, em valores absolutos, ela continuou menor do que a norma.

Por meio das medições, foi possível verificar que os sistemas de iluminação que utilizam lâmpadas, sejam elas fluorescentes tubulares ou de tubo LED, têm maior perda do fluxo luminoso, nos modelos com difusor do que nos modelos que possuem aletas e são semiabertos. Embora haja essa perda maior nos sistemas fechados com difusor, eles trazem mais conforto visual aos usuários.

A pesquisa mostrou que os valores do fator de manutenção ou depreciação, que podem ser considerados no projeto luminotécnico, poderiam ser reavaliados. A própria norma CIE-97:2005 (CIE, 2005) não apresenta os dados relacionados à depreciação do fluxo luminoso da lâmpada (FMFL) e os dados relacionados ao efeito de falha por envelhecimento da lâmpada (LFL) dos LED, usando como justificativa o fato de que os dados sobre o LED mudam constantemente devido à evolução tecnológica.

Apesar de os resultados serem válidos para as marcas utilizadas nesta pesquisa, os valores de depreciação encontrados (FM) na Tabela 5 podem ser considerados nos cálculos luminotécnicos para a mesma tipologia dos sistemas de iluminação (com refletor e com aletas) e em ambientes com refletância semelhante.

O uso desses valores de depreciação pode reduzir em 5% a 25%, aproximadamente, o quantitativo de luminárias nos projetos luminotécnicos que utilizam sistemas de iluminação semelhantes aos utilizados na pesquisa. Conseqüentemente, haverá economia de energia desta ordem.

## **Agradecimentos**

Agradecimentos às empresas Lumicenter e Philips e aos laboratórios LABAUT/FAU-USP e IEE/USP.

## **Referências**

AMAN, M.M., JASMON, G.B.; MOKHLIS, H., BAKAR A.H.A. Analysis of the performance of domestic lighting lamps. *Energy Policy*, volume 52, p.482-500, January 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421512008506>. Acesso em fevereiro/2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR ISO/CIE 8995-1:2013: Iluminação de ambientes de trabalho. Parte 1: Interior*. Rio de Janeiro, 2013. 46p.

BECK, Elisa de Oliveira. *Desempenho luminoso e energético de LEDs para reformas de sistemas de iluminação de ambientes de escritório*. 2016. 191p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

Commission Internationale de l'éclairage. *CIE-097:2005: Guide on the maintenance of indoor electric lighting systems*. 2<sup>nd</sup> Edition, Austria, 2005. 28p.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. *Consumo anual de energia elétrica por classe (nacional)*. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Consumo-Anual-de-Energia-Eletrica-por-classe-nacional>. Acesso em janeiro/2020

GARCIA, Leandro Henrique Cascaldi. *A reestruturação do setor elétrico brasileiro e a crise do racionamento (1981-2002)*. Trabalho final de graduação – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2011. 72p.

GU, Y., NARENDRAN, N., FREYSSINIER, J.P.. White LED performance. *Fourth International Conference on Solid State Lighting, Proceedings of SPIE 5530*, Eds. I.T. Ferguson, N. Narendran, S.P. DenBaars, J.C. Carrano, Bellingham, WA: International Society of Optical Engineers, 2004, P. 119-124.

JAADANE, I., BOULENGUEZ, P., CHAHORY, S., CARRÉ, S.; SAVOLDELLI, M., JONET L., BEHAR-COHEN, F., MARTINSONS, C., TORRIGLIA, A. Retinal damage induced by commercial light emitting diodes (LEDs). *Free Radical Biology and Medicine*. Elsevier, 2015. P. 373-384.

IESNA Illuminating Engineering Society of North America. Disponível em: [www.ies.org](http://www.ies.org). Acesso em novembro/2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TEGNOLOGIA (INMETRO). *Portaria número 389*. Agosto de 2020.

KYBA, C., KÜSTER, T. SÁNCHEZ de Miguel, A., BAUGH, K., JECHOW, A., HÖLKER, F. BENNIE, J., ELVIDGE, C. D., GASTON, K.J., GUANTER, L.. Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent. *Science Advances*, Vol 3, N° 11, 22.nov.2017. Disponível em: <http://advances.sciencemag.org/content/3/11/e1701528>. Acesso em dezembro/2018.

PHILIPS. *Manual de Iluminação*, 3ª edição, 1981

ROSER, Max. “Light” em OurWorldInData.org., 2019. Disponível em: <https://ourworldindata.org/light>. Acesso em fevereiro/2019.

SCOPACASA, Vicente A. Entendendo a IESNA LM80-08 e TM-21-11. *Revista O Setor Elétrico*, capítulo XII - LED – Evolução e inovação, São Paulo, Edição 131, dezembro 2016. P. 30-33.

SOARES, Ruy Barbosa. *Resposta humana à luz: alterações não visuais e o projeto luminotécnico residencial com LEDs*. Dissertação de mestrado – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2018. 152 p.