



XX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica
SENDI 2012 - 22 a 26 de outubro
Rio de Janeiro - RJ - Brasil

LEONARDO BRIAN FAVATO	SYLVIO G. DE ALMEIDA JR	EDUARDO KANASHIRO
Universidade de São Paulo	AES Eletropaulo Metropolitana - Eletr. de São Paulo S.A.	Universidade de São Paulo
lbfavato@usp.br	sylvio.almeida@aes.com	eduardo.kanashiro@usp.br

MARCO ANTONIO SAIDEL	JOSE LUIZ PIMENTA
Universidade de São Paulo	ARCADIS LOGOS ENERGIA S.A.
saidel@usp.br	jpimenta@enerconsult.com.br

Utilização de LEDs em Iluminação Pública: Análise de Tecnologias, de Desempenho e Implantação.

Palavras-chave

Eficiência Energética
Iluminação Pública
Sustentabilidade
Tecnologia LED

Resumo

Este trabalho tem por objetivo relatar e discutir os resultados decorrentes do projeto de pesquisa e desenvolvimento realizado para avaliar o estágio de maturidade de luminárias para Iluminação Pública utilizando tecnologia LED (Light Emitting Diode), disponíveis para comercialização no Brasil e compatíveis com o padrão utilizado pela AES Eletropaulo. A pesquisa compreende também um projeto piloto para permitir as análises complementares de desempenho dos equipamentos. Como resultado, ter-se-á a avaliação das características técnicas das luminárias a LED, seu desempenho em condições reais de instalação e subsídios para a avaliação da extensão da implantação dessa tecnologia em grande escala.

1. Introdução

A Iluminação Pública (IP) é responsável por aproximadamente 4,5% da demanda nacional e 3% do consumo

de energia elétrica no Brasil [1]. Isso corresponde a uma demanda de 2,2 GW e um consumo de 9,7 bilhões de kWh por ano. Segundo o levantamento cadastral realizado pela Eletrobrás através do PROCEL em 2008 junto às distribuidoras de energia elétrica, havia aproximadamente 15 milhões de pontos de iluminação instalados no país.

Os custos do provimento da IP não se limitam à remuneração pela energia necessária ao seu funcionamento, mas contemplam também, os custos de manutenção e operação do sistema, que exige a mobilização de equipes treinadas e equipamentos específicos.

A IP é um serviço de responsabilidade das Prefeituras Municipais, que apresenta participação crescente nos orçamentos dos municípios, seja pela necessidade de extensão dos serviços, seja pela elevação dos custos de manutenção e operação. A maioria das Prefeituras recolhe uma contribuição para custear o sistema de IP, mas a situação usual é da insuficiência desses recursos para o custeio dos serviços, principalmente quando comparado com outras necessidades da municipalidade.

Neste contexto, todas as iniciativas que procuram reduzir os gastos com o sistema de IP sempre foram observadas com grande interesse e, a usual substituição de lâmpadas de vapor de mercúrio por vapor de sódio, constitui um exemplo de sucesso com ganhos de eficiência e significativa economia de recursos.

Atualmente, uma nova oportunidade se apresenta promissora, com o desenvolvimento nos últimos anos dos LEDs (Light Emitting Diode) de alta potência. Os diodos emissores de luz (LEDs) são componentes eletrônicos de estado sólido compostos por materiais semicondutores que convertem energia elétrica em radiação luminosa.

Tais LEDs começam a ser empregados largamente em iluminação com a preocupação na redução de gastos com energia elétrica, a menor necessidade de intervenções de manutenção dos sistemas, que também representa economia, além da preservação ambiental de recursos. O mercado nacional, entretanto, desconhece, de uma maneira geral, a aplicação de LEDs em IP, por ser ainda uma tecnologia nova, sem período de comprovação suficiente. O que se encontra atualmente é um mercado aberto a produtos importados, preços elevados, qualidade muitas vezes duvidosa e a quase inexistência de análise criteriosa da aplicação desses produtos.

No Brasil, com escassos recursos para pesquisa e desenvolvimento internos, essa área não possui um conjunto de experiências que permita uma análise mais profunda do assunto, tanto do ponto de vista técnico como do ponto de vista do desempenho dos mesmos ao longo de sua vida útil. Ainda não estão disponíveis normas específicas para luminária de IP a LED, e inexistem aplicações de grande peso para análise dos resultados.

Desta forma, este trabalho visa contribuir com a análise dos produtos a LEDs para aplicação em IP, e auxiliar no desenvolvimento de produtos que permitam atender as necessidades nacionais no segmento, com a redução de investimentos e análise das características dos projetos que adotam essa tecnologia.

2. Desenvolvimento

1. ILUMINAÇÃO PÚBLICA A LED

A IP é essencial à qualidade de vida nos centros urbanos, atuando como instrumento de cidadania, permitindo aos habitantes desfrutar plenamente do espaço público no período noturno. Além de estar diretamente ligada à segurança pública no tráfego, a iluminação pública contribui para a redução dos índices de criminalidade, embeleza as áreas urbanas, destaca e valoriza monumentos, prédios e paisagens, facilita a hierarquia viária, orienta percursos e aproveita melhor as áreas de lazer. A melhoria da qualidade dos

sistemas de iluminação pública traduz-se em melhor imagem da cidade, favorecendo o turismo, o comércio e o lazer noturno, ampliando a cultura do uso eficiente e racional da energia elétrica, contribuindo, assim, para o desenvolvimento social e econômico da população [1].

Diante deste cenário, o desafio da Iluminação Pública é aliar o uso das novas tecnologias em benefício da sociedade, ou seja, preservar ou melhorar todas as suas condicionantes, consumindo menos energia e reduzindo os custos operacionais e de manutenção que a IP exige atualmente.

As lâmpadas a LED se apresentam como um potencial substituto para as lâmpadas convencionais, uma vez que apresentam menor potência, vida útil muito superior, maior flexibilidade de focar as áreas de interesse e menor impacto ambiental pela não utilização do mercúrio. Portanto despertam grande interesse em pesquisas básicas e aplicadas.

2.METODOLOGIA

A metodologia utilizada contemplou em sua primeira etapa, a pesquisa de equipamentos de iluminação pública a LED disponíveis no mercado. Em princípio foram identificados 41 potenciais fornecedores de luminárias para IP com tecnologia LED, que foram convidados a apresentar os seus produtos e participar do projeto. Destes, oito se apresentaram para participar e cederam amostras de luminária, com características adequadas para substituírem luminárias equipadas com lâmpadas a vapor de sódio de 250W.

Na segunda etapa foram avaliadas as características elétricas e fotométricas das luminárias através de ensaio laboratorial em entidade acreditada pelo INMETRO, com o objetivo de comparar com os valores nominais previamente indicados pelos fabricantes. Assim, as luminárias foram ensaiadas pelo Laboratório de Fotometria do Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE) da USP, que atenderam a recomendações das seguintes normas:

- NBR 5101/1992 [2]
- CIE 121/1996 [3]
- IESNA-LM-31/1995 [4]
- IEE/USP 2004NF00PRO284_1/0:2004 [5]

Das oito luminárias ensaiadas em laboratório, seis apresentaram resultados satisfatórios e mostraram-se aptas para a fase seguinte do projeto.

A terceira etapa consistiu na implantação de um projeto piloto para a realização das análises de desempenho em campo, com o objetivo de avaliar as características técnicas das luminárias, bem como o seu comportamento em condições reais de uso ao longo do tempo.

Na quarta etapa, as simulações realizadas através de software foram confrontadas com as medições de campo para avaliar possíveis inconsistências inerentes ao processo de medição dos parâmetros fotométricos em laboratório, e em seguida foram realizadas análises com aspectos relativos à percepção do usuário, ao longo da via.

Na quinta etapa, foram apresentadas as conclusões de todo o levantamento realizado e sugestões de aprimoramento e prosseguimento da pesquisa.

3.ANÁLISES DOS DADOS LABORATORIAIS

3.1GRANDEZAS ELÉTRICAS

Na ocasião da solicitação das amostras aos fornecedores, definiu-se que alguns requisitos mínimos deveriam ser atendidos pelas luminárias LED, tais como:

- serem adequadas às dimensões da via que abriga o projeto piloto;
- possuírem fluxo luminoso equivalente ao das lâmpadas Vapor de Sódio de 250W, pois este tipo é o mais usual na área de concessão da AES Eletropaulo, e, também, da Universidade.

A Tabela 1 apresenta os resultados dos ensaios das grandezas elétricas.

Tabela 1 - Comparação das grandezas elétricas

Amostra	Potencia nominal (W)	Potência medida (W)	FP nominal	FP medida	Corrente nominal (A)	Corrente medida (A)	THD medida (corrente)
1a*	110	103,7	0,95	0,9748	não declarada	0,484	4,14
1b*	110	104,1	0,95	0,9920	não declarada	0,825**	---
2	80	42,8	>=0,95	0,5236	não declarada	0,372	47,33
3	130	117,9	não declarada	0,9742	não declarada	0,55	6,63
4	160	80,2	0,92	0,8697	0,320 (127V); 0,190 (220V)	0,419	40,89
5	150	156,3	>0,90	0,9720	não declarada	0,731	10,21
6	155	164,6	não declarada	0,9857	não declarada	1,315**	14,58
7	252	268,8	não declarada	0,9498	2,26 (127V); 1,21(220V)	1,283	10,93
8	130	145,3	>0,90	0,9731	não declarado	0,679	10,46

* As amostras do fabricante 1 foram recebidas em momentos distintos sendo que a primeira amostra, que foi enviada para teste em laboratório, era diferente das demais amostras recebidas, causando resultados divergentes em campo. Assim, um novo ensaio (b) foi realizado e o anterior (a) foi descartado.

** Correntes medidas com tensão de ensaio de 127V, sendo que as demais foram com 220V, que é a tensão de alimentação utilizada na Cidade Universitária e nas áreas de concessão da AES Eletropaulo.

Conforme se observa na Tabela 1, as amostras 2 e 4 apresentaram:

- Potências medidas com desvios de até 50% em relação às potências nominais.
- Alguns valores de fator de potência muito inferiores aos nominais, inclusive abaixo do valor exigido em norma, ou seja, 0,92.
- Distorções Harmônicas Totais (THD) muito elevadas não sendo, portanto, indicadas para aplicações em larga escala.
- Em uma das amostras (4), a corrente apresentou variação superior a 100%.

Assim, as luminárias que apresentaram desvios elevados em relação às medições realizadas comparadas com os valores nominais e aos requisitos das normas técnicas foram consideradas não aptas para prosseguir a etapa seguinte, que consistiu na instalação do projeto piloto e suas amostras foram devolvidas aos respectivos fabricantes após serem informados dos resultados.

As demais luminárias apresentaram valores próximos aos nominais e em sua grande maioria com valores de potência muito abaixo dos 250W da lâmpada de vapor de Sódio prevista no início do projeto, sendo assim consideradas aptas para a instalação no projeto piloto. Deve-se considerar também que a potência total

absorvida por uma lâmpada a vapor de sódio de 250W deve ser em torno de 280W, para levar em conta as perdas do reator associado à mesma.

3.2GRANDEZAS fotométricas

Verificou-se que para parte das amostras não foram fornecidas curvas de distribuição luminosa ou dados fotométricos para permitir a análise comparativa dos resultados.

Outra questão interessante, é que as amostras recebidas possuem temperatura de cor entre 4279K a 7535K, ou seja, a maior parte das luminárias possui tom de cor para o branco frio, o que deverá ter impacto direto na percepção visual dos usuários, uma vez que as lâmpadas a Vapor de Sódio que foram substituídas possuem tom de cor alaranjado, com temperatura de cor em torno de 2000K.

Na Tabela 2 são apresentados os parâmetros fotométricos medidos

Tabela 2 - Análises dos dados fotométricos

Amostra	I_0 (cd)	I_{max} (cd)	Angulo de I_{max}	Temperatura de cor medida (°K)
1a	613,6 / 611,3	613,6	0	7535
1b	2377,4 / 2504,9	3503,3	50-0	---
2	891,3 / 859,4	891,3	0	6649
3	3171	3453,7	15 e 20 -90	5637
4	1198,8 / 1178,3	1697,2	45 - 180	4961
5	1853,5 / 1602,6	3301,8	30-90	6489
6	1783,7	8888,2	65-180	6684
7	5478,5 / 5263,6	10090,7	30-180	5226
8	1423,6 / 1378,9	3945,3	65-180	4279

OBS: I_0 = Intensidade luminosa a 0° correspondente à direção nadir

Ao analisar a Tabela 2, pode-se observar que:

A amostra 2 mostrou-se pouco eficiente, com baixa intensidade luminosa e curva de distribuição concentrada, conforme Figura 1 abaixo.

A amostra 3 apresentou curva de distribuição não adequada para via pública, com pouca diferença entre o plano transversal e longitudinal, conforme exemplo apresentado na Figura 2.

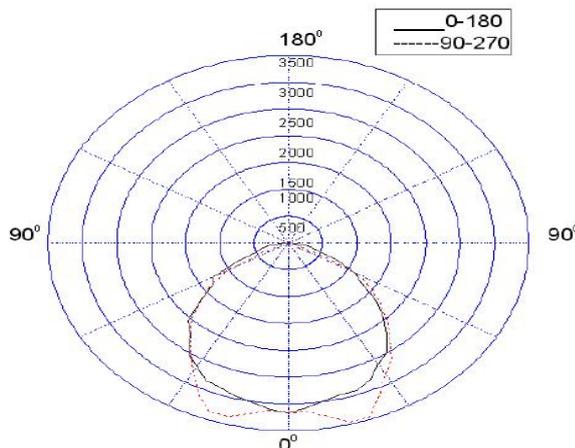
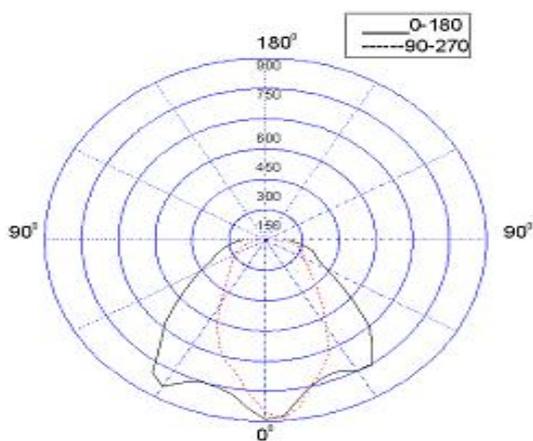


Figura 1: Exemplo de curva pouco eficiente. Figura 2: Exemplo de curva não adequada para IP.

A amostra 7 apresentou curva com maior intensidade luminosa, conforme exemplo apresentado na Figura 3, porém a curva será melhor analisada com simulação em software e aplicação no projeto piloto.

As amostras 1, 5, 6 e 8 apresentaram curva de distribuição adequada para via pública, conforme exemplo apresentado na Figura 4.

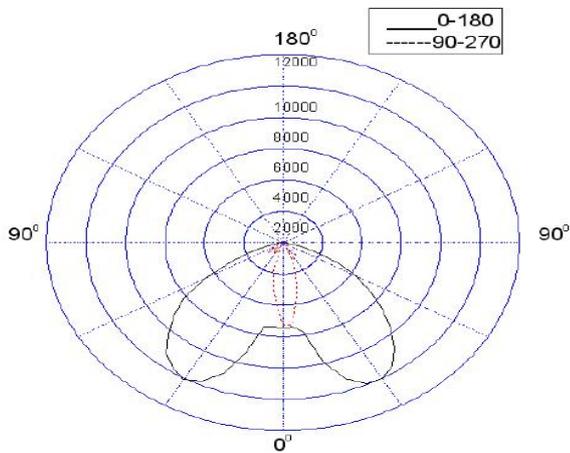


Figura 3: Exemplo de curva com boa intensidade luminosa e que deverá receber análise da curva após a simulação em software.

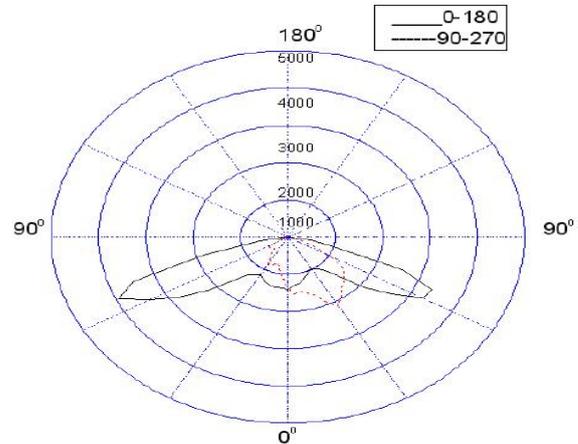


Figura 4: Exemplo de curva adequada para IP.

4.PROJETO PILOTO

O projeto piloto foi instalado e constituído das seguintes etapas:

- Marcação da via: a marcação da via foi efetuada seguindo o capítulo 7 da NBR 5101 “Iluminação Pública Procedimento”, através do método da malha de verificação detalhada, definido pela ABNT, conforme apresenta a Figura 5.

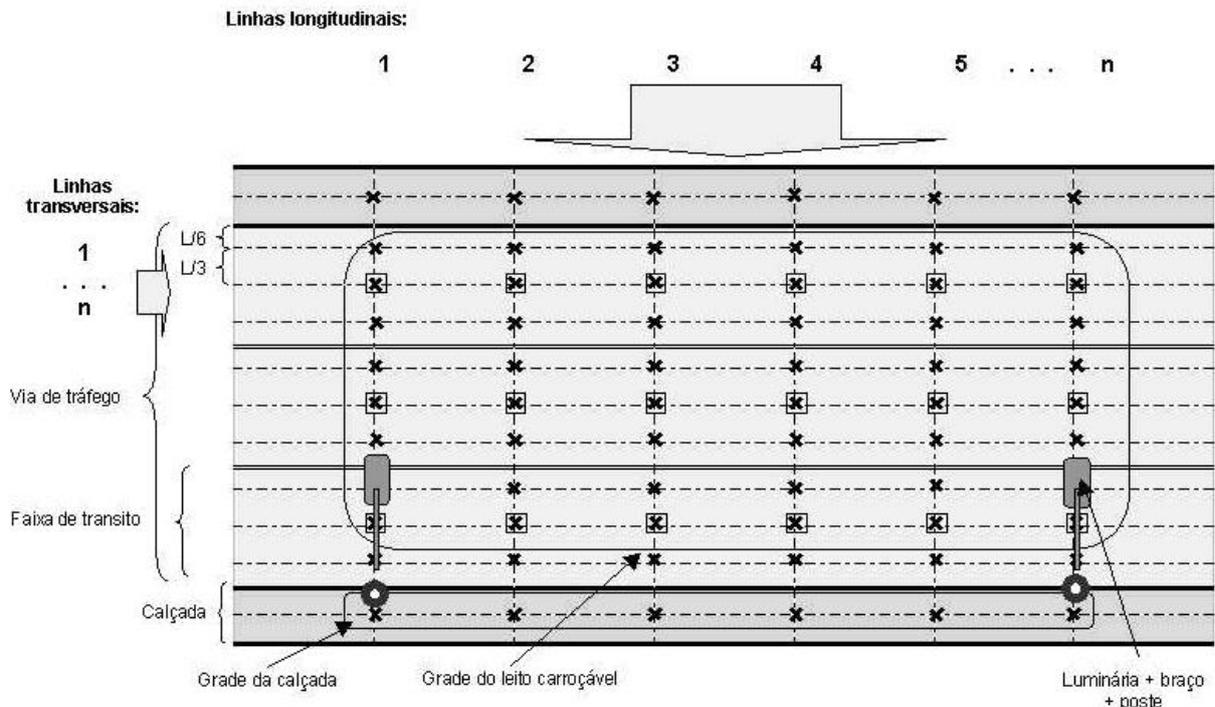


Figura 5: Malha para verificação detalhada.

- Identificação dos postes: os postes foram identificados com tinta branca e de acordo com os códigos das amostras atribuídos nos ensaios de fotometria.
- Instalação do sistema de monitoramento de grandezas elétricas: foram instalados equipamentos de medição de grandezas elétricas com memória de massa em cada uma das 12 luminárias.
- Instalação das luminárias LED: foram instaladas duas amostras de luminárias de cada um dos seis fornecedores consideradas aptas para esta etapa da pesquisa, totalizando 12. Elas estão instaladas a cerca de nove metros de altura, com avanço de 2 metros sobre a pista, com 15° de inclinação na direção transversal à pista (ângulo vertical compreendido entre a direção do braço do poste existente e o plano horizontal) e a aproximadamente 30 metros de distância entre luminárias. As luminárias e seus respectivos medidores de grandezas elétricas continuam instalados para verificação do comportamento a médio e longo prazo desse novo sistema de iluminação.
- Periodicidade das medições fotométricas: as medições foram realizadas da seguinte forma: três medições durante o primeiro mês; e sete medições mensais a partir do segundo mês. Estuda-se a possibilidade de estender essas medições, porém com intervalos maiores, entre três e seis meses, para verificar se realmente existe a manutenção do fluxo luminoso, visando comprovar a vida útil esperada pelos pesquisadores.

5. Análises dos equipamentos EM CAMPO

1. GRANDEZAS ELÉTRICAS

As potências medidas em campo foram próximas aos valores obtidos em laboratório, comprovando a premissa de que as luminárias com tecnologia LED oferecem uma elevada economia de energia se comparadas com as tecnologias convencionais (Vapor de Sódio ou Metálico). Desta maneira, o retorno financeiro do investimento inicial, através do menor consumo de energia, prometido pelos fabricantes pode ser inicialmente comprovado.

1. GRANDEZAS FOTOMÉTRICAS

A análise das grandezas fotométricas foi realizada mediante a avaliação dos valores da Iluminância, Luminância e da Uniformidade medidos e calculados, em conformidade com a proposta de revisão da Norma ABNT 5101 [6]. Os valores medidos foram comparados com os calculados por meio do software AGi32 (*Advanced Graphical Interface for Lighting*). Para tanto, foi efetuada a modelagem da configuração do campo de provas no software com as dimensões reais da via e a construção da grade de cálculo de acordo com as prescrições da NBR 5101 [2].

As vias são classificadas conforme o tipo de uso e a intensidade do fluxo de automóveis, descritas na tabela 3.

Tabela 3 - Classes de iluminação para cada tipo de via

Descrição da via	Classe de Iluminação
Vias de trânsito rápido; Vias de alta velocidade de tráfego, com separação de pistas, sem cruzamentos em nível e com controle de acesso; Vias de trânsito rápido em geral; Auto-estradas.	
Volume de tráfego intenso	V1
Volume de tráfego médio	V2
Vias arteriais; Vias de alta velocidade de tráfego com separação de pistas; Vias de mão dupla, com cruzamentos e travessias de pedestres eventuais em pontos bem definidos; Vias rurais de mão dupla com separação por canteiro ou obstáculo.	
Volume de tráfego intenso	V1
Volume de tráfego médio	V2
Vias coletoras; Vias de tráfego importante; Vias radiais e urbanas de interligação entre bairros, com tráfego de pedestres elevado	
Volume de tráfego intenso	V2
Volume de tráfego médio	V3
Volume de tráfego leve	V4
Vias locais; Vias de conexão menos importante; Vias de acesso residencial	
Volume de tráfego médio	V4
Volume de tráfego leve	V5

Para cada classificação existe um nível de iluminância média mínima e uniformidade global mínima desejadas, apresentadas na tabela 4. A Iluminância (E) expressa em lux (lx), representa a relação entre o fluxo luminoso de uma fonte de luz que incide sobre uma superfície (lumens), e a área desta superfície (m²).

Tabela 4 – Iluminância média mínima e uniformidade para cada classe de iluminação – Vias de tráfego

Classe de iluminação	Iluminância média mínima $E_{med,min}$ Lux	Fator de uniformidade mínimo $U = E_{min}/E_{med}$
V1	30	0,4
V2	20	0,3
V3	15	0,2
V4	10	0,2
V5	5	0,2

Com base nas medições em campo e nas simulações realizadas no software AGi32 a partir dos dados fotométricos determinados em laboratório, foi elaborada a tabela 5 que indica os valores das Iluminâncias Médias e Mínimas, medidas e calculadas por meio de simulação para as seis luminárias testadas.

Tabela 5 – Quadro resumo das grandezas fotométricas medidas e calculadas em lux

	Luminária 1			Luminária 3			Luminária 5		
	Média	Mínima	FU	Média	Mínima	FU	Média	Mínima	FU
Medidas*	17,1	8,0	0,47	15,1	3,0	0,20	15,0	6,0	0,40
Simuladas	14,9	7,3	0,49	16,1	3,6	0,22	11,2	4,7	0,42

	Luminária 6			Luminária 7			Luminária 8		
	Média	Mínima	FU	Média	Mínima	FU	Média	Mínima	FU
Medidas*	16,0	3,0	0,19	26,6	1,0	0,04	11,3	6,0	0,53
Simuladas	16,7	7,7	0,46	29,6	2,8	0,09	9,6	5,9	0,62

FU – Fator de Uniformidade (E_{min} / E_{med})

*Medidas realizadas em 18/12/2012, seis meses após a instalação com aproximadamente 2300h de funcionamento

Nas condições da instalação do Projeto Piloto, as luminárias não atendem o nível de iluminância média necessário para as vias rápidas de tráfego médio ou intenso (V1 e V2). Porém, algumas das luminárias (1, 3, 5 e 6) apresentaram valores compatíveis com as vias coletoras, radiais e locais, que apresentam tráfego moderado (V3), a luminária 8, atende aos critérios das vias com tráfego leve de veículos (V4), já a luminária 7, apesar de ter uma iluminância elevada (consumindo cerca de 70% mais energia do que as demais), não distribui uniformemente seu fluxo luminoso ao longo da via, assim não atende nenhuma das classes de iluminação.

Uma simulação realizada com luminária pública utilizando lâmpada de vapor de Sódio de alta pressão de 250W (que emite luz com temperatura de cor baixa, ou seja, tons amarelados/alaranjados) mostrou que nas condições do Projeto Piloto, o nível de iluminância média na via é de 32,8 lx, com fator de uniformidade de 0,34. Esse valor médio obtido é numericamente muito superior ao obtido com as luminárias LED.

Sob este aspecto existem estudos que comprovam benefícios a serem obtidos com a introdução das luminárias a LEDs na iluminação pública, que estão relacionados com o melhor desempenho da visão humana sob baixos níveis de iluminação, mediante o emprego de fontes de luz branca, cujo espectro possui uma parcela maior de radiação nas regiões do violeta, azul e verde. Pesquisadores estão debatendo a questão dos “lumens efetivos”, baseado no fato de que as características fotométricas das fontes de luz são tradicionalmente baseadas na chamada visão fotópica, que ocorre para níveis elevados de iluminação, em que a resposta do olho humano é mais sensível às radiações da luz nas regiões amarelo e laranja. Entretanto, durante a noite, sob baixos níveis de iluminação, predomina a chamada visão escotópica para a qual a maior sensibilidade do olho humano se dá para radiações com menores comprimentos de onda (azul e verde). A chamada visão mesópica, para níveis de iluminação intermediários (0.001 a 5 cd/m²) é típica para vias públicas iluminadas durante a noite. Muitas propostas de revisão dos conceitos e características fotométricas das fontes de luz estão sendo atualmente discutidas com base no argumento de que os lumens efetivos das fontes de luz devem ser compatíveis com o nível de iluminação existente no ambiente considerado. Desta forma, os lumens efetivos das fontes de luz branca (Vapor de Mercúrio, Vapor Metálico, LEDs) e das fontes de luz amarelada (Vapor de Sódio) deveriam ser devidamente corrigidos utilizando-se multiplicadores adequados. Os resultados de algumas experiências realizadas com observadores em ambientes típicos com níveis de visão escotópica e mesópica sugerem que, nessas condições, cada lúmen emitido por uma fonte de luz branca (Vapor Metálico ou LED) equivale a pelo menos 2 lumens emitidos por uma lâmpada a Vapor de Sódio em Alta Pressão. [7]

Outro quesito a ser considerado seria quanto à vida útil desse novo sistema de iluminação. Uma recente implantação de um projeto piloto na cidade de Los Angeles, EUA [8], detectou uma depreciação do fluxo luminoso das luminárias LED da ordem de 6% no primeiro ano de implantação. A expectativa é a de que esta depreciação seja inferior a 30% ao longo da vida útil esperada de 70 mil horas.

A última medição fotométrica do Projeto Piloto foi realizada em 29 de janeiro de 2012, pouco mais de sete meses após sua instalação, em 15 de junho de 2011, compreendendo aproximadamente 2.700h de funcionamento das luminárias. Nesse período foi possível notar uma redução das iluminâncias médias para toda a instalação.

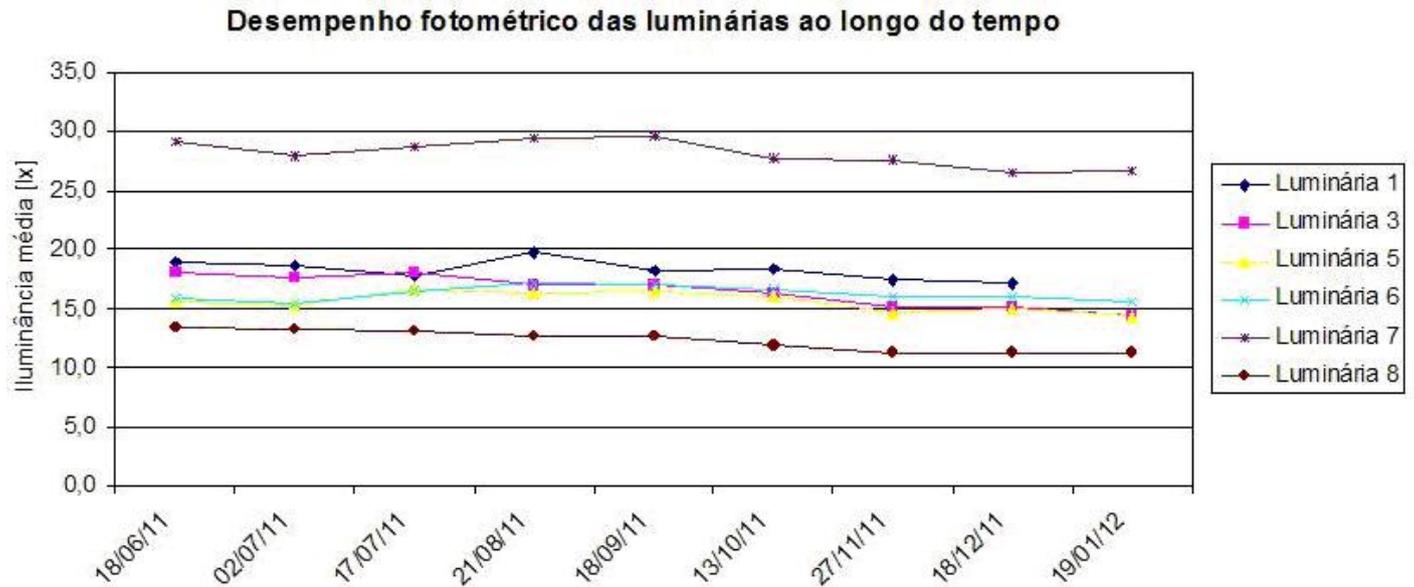


Figura 6: Média das iluminâncias (lx) medidas. (Eixo das abscissas fora de escala)

Comparando as médias atuais com as respectivas máximas de cada fabricante analisado, podemos notar que praticamente todas as luminárias já perderam mais que os 6% observados em projeto semelhante tal como o implantado em Los Angeles, e na metade do tempo.

Tabela 6 – Cálculo estimado da perda de fluxo luminoso das luminárias

	Luminária 1	Luminária 3	Luminária 5	Luminária 6	Luminária 7	Luminária 8
Perda de fluxo	-9,2%	-16,9%	-9,2%	-4,5%	-6,0%	-12,5%

Sabe-se que a tecnologia LED é muito sensível à temperatura e que a eficiência do dissipador de calor depende da diferença entre a temperatura da junção do elemento e a temperatura ambiente. Logo, quanto maior a temperatura ambiente, menor será o desempenho das luminárias com tecnologia LED. Um estudo posterior poderá avaliar o impacto da temperatura ambiente de operação dos LEDs com o fluxo luminoso correspondente.

Um conceito que tem sido mais utilizado recentemente é o da Luminância, que expressa a quantidade de luz emitida, transmitida ou refletida por um elemento numa dada direção, cuja unidade SI é a candela por metro quadrado (cd/m²).

Embora a nova revisão da Norma Brasileira ABNT NBR 5101 estabeleça os requisitos de iluminação

pública de acordo com o critério da Iluminância, ela contém a definição dos parâmetros utilizados para os cálculos luminotécnicos segundo o critério da Luminância, em conformidade com a Publicação CIE No. 140 [9]

As simulações realizadas no AGi32 apresentaram resultados indicados na Tabela 7 abaixo.

Tabela 7 – Resumo das simulações de luminância e uniformidade do campo de provas

Inclinação 15°	Luminária 1	Luminária 3	Luminária 5	Luminária 6	Luminária 7	Luminária 8
Luminância - Pista 1 – Lado da luminária						
Média - Lmed	0,80	0,62	0,68	1,46	1,65	0,81
Unif. Global - Uo	0,43	0,31	0,41	0,31	0,26	0,41
Unif. Longitudinal – UL	0,65	0,40	0,61	0,38	0,43	0,51
Luminância - Pista 2						
Média - Lmed	0,83	0,64	0,70	1,52	1,69	0,85
Unif. Global - Uo	0,42	0,31	0,37	0,31	0,25	0,40
Unif. Longitudinal – UL	0,65	0,40	0,61	0,43	0,45	0,57
Luminância - Pista 3						
Média - Lmed	0,85	0,65	0,72	1,56	1,72	0,87
Unif. Global - Uo	0,42	0,32	0,35	0,31	0,26	0,40
Unif. Longitudinal – UL	0,75	0,38	0,66	0,55	0,52	0,72
Luminância - Pista 4 – lado oposto ao da luminária						
Média - Lmed	0,86	0,65	0,73	1,60	1,75	0,89
Unif. Global - Uo	0,43	0,32	0,33	0,33	0,26	0,42
Unif. Longitudinal – UL	0,85	0,38	0,50	0,60	0,54	0,75

Para a avaliação segundo a luminância, a maioria das luminárias atendem, no máximo, à classe V4.

Existem, ainda, outros fatores que podem ser utilizados na avaliação das luminárias públicas. Um deles é o indicador BUG que estabelece 3 índices distintos:

B (Back): Quantidade de luz emitida para trás (invadindo as residências);

U (Up): Quantidade de luz emitida para cima (ou seja, desperdiçada para a atmosfera);

G (Glare): Quantidade de luz emitida nas zonas ofuscantes (prejudicando a visibilidade).

O Incremento de Limiar, do inglês *Threshold Increment* (TI) quantifica o percentual necessário de incremento da luminância do pavimento da via para minimizar o efeito do ofuscamento desabilitador provocado pelas luminárias.

3. Conclusões

Com base nos valores obtidos a partir dos ensaios fotométricos das luminárias, das medições em campo e das análises realizadas, conclui-se que a substituição das luminárias para Iluminação Pública convencionais equipadas com lâmpadas a vapor de sódio em alta pressão por luminárias a LED pode proporcionar uma economia de energia elétrica superior a 40%.

Todavia, durante um período inferior a um ano de operação, observou-se uma considerável depreciação do

fluxo luminoso das luminárias. É necessária análise do comportamento das mesmas durante um período maior de tempo para verificar o nível de depreciação que será atingido. Cabe ressaltar que esta é uma tecnologia em franco desenvolvimento e que está sendo aprimorada a cada dia. Essas características são inerentes à iluminação artificial, devendo ser analisadas no âmbito de pesquisa em instalações de pequena escala, a fim de evitar maiores surpresas em uma instalação de grande escala.

A pesquisa revelou que as luminárias 1, 5 e 8 apresentaram o melhor desempenho sob os aspectos de avaliação subjetiva dos observadores, o que foi confirmado pelos resultados medidos e calculados dos parâmetros luminotécnicos.

O desenvolvimento da pesquisa sugere que as avaliações de desempenho de luminárias para iluminação pública com a tecnologia LED devem ter um prosseguimento, considerando-se não só o aprofundamento das análises do projeto luminotécnico acima mencionadas, como também a inclusão de uma análise sob o aspecto da Percepção Visual, da Termodinâmica (temperaturas, dissipação de calor, e outras) e da Eletrônica de Potência, para medir e analisar as grandezas relacionadas com o desempenho dos elementos semicondutores.

Assim, o prosseguimento da pesquisa proposto, inclui os seguintes itens:

- a. Ensaios fotométricos das luminárias em nível mais detalhado;
 - b. Análise aprofundada do desempenho fotométrico das luminárias selecionadas com o emprego de software, visando à determinação de outros parâmetros fotométricos definidos da Norma Brasileira ABNT NBR 5101:2012 (Luminância, Uniformidade Global e Longitudinal da Luminância, Razão das Áreas Adjacentes, Incremento de Limiar, e outras) relacionadas com o comportamento dessas luminárias para o usuário da via, quanto ao ofuscamento e à visibilidade;
 - c. Realização de ensaios termomecânicos para levantamento e análise da imagem térmica dos elementos semicondutores e dissipação do calor gerado nas junções dos mesmos, para diversas condições operacionais; e
- a. Continuidade na análise da depreciação do fluxo luminoso das luminárias.

4. Referências bibliográficas

1. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL. Disponível em <<http://www.eletrobras.com/elb/procel/main.asp?TeamID={EB94AEA0-B206-43DE-8FBE-6D70F3C44E57}>>, Acesso em: 24/03/2011.
2. NBR 5101. Iluminação Pública. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro: 1992. 19p.
3. CIE 121. The photometry and goniophotometry of luminaires. Commission Internationale de L'Eclairage. 1996. 53p.
4. IESNA-LM-31. Photometric Testing of Roadway Luminaires Using Incandescent Filament and High In. 1995.
5. IEE/USP 2004NF00PRO284_1/. Procedimento. 2004.
6. NBR 5101:2012 (ainda a ser publicada oficialmente)
7. PIMENTA, José Luiz. Sistemas de iluminação pública com luminárias a LEDs. In: Revista Eletricidade Moderna. São Paulo, Ed. Aranda, setembro de 2010, p. 60-69.
8. City of Los Angeles, Bureau of Street Lighting: LED equipment evaluation – Pilot Project – Phase I, Jun./2009.
9. Publicação CIE No. 140-2000: Road lighting calculations.