

HÉCTOR CHIACCHIARINI
> coordinador

ENERGÍA

> Investigaciones en América del Sur



Serie Extensión
Colección Ciencias y Tecnología

ÍNDICE

Prefacio	11
Os dez anos do Comitê Acadêmico de energia da Associação das Universidades Grupo Montevideu (CAE/AUGM)	13
Introducción	17
Parte I: Biocombustibles	
Biocombustibles líquidos en la Argentina <i>Silvia D. Romano</i>	21
Experiencias con cultivos energéticos en Mendoza <i>Cecilia Reborá, Leandra Ibarguren, Alejandra Bertona</i>	35
Biorrefinería microalgal: Una tecnología en desarrollo para la producción de biodiesel y co-productos de valor agregado <i>Cecilia A. Popovich, Patricia I. Leonardi</i>	49
La producción del carbón vegetal <i>Paulo C. da Costa Pinheiro</i>	69
Parte II: Eficiencia energética	
La eficiencia energética como factor clave en las construcciones sustentables. Estudio de caso del edificio Sustenta, Rosario, Argentina <i>Marcelo Vega, Natalia Feldman, Ruben D. Piacentini</i>	91

Dimensionamiento de sistemas híbridos de generación de energía <i>Justo J. Roberts, Agnelo M. Cassula, Jose L. Silveira, Pedro O. Prado</i>	109
Energía e equipamentos WLEDi para iluminação viária <i>Elvo C. Burini Junior</i>	137
Conversión electrónica de potencia para la gestión eficiente de la energía eléctrica <i>Héctor G. Chiacchiarini, Jorge A. Solsona, Alejandro R. Oliva, Claudio A. Busada</i>	165
Parte III: Energía solar	
Centrales solares fotovoltaicas en áreas con pasivos ambientales <i>Jorge L. Schnarwiler, Justo J. Roberts, Pedro O. Prado, Silvia L. Bocero, Agnelo M. Cassula</i>	183
Aplicaciones de energía solar en el nordeste argentino <i>Arturo J. Busso, Luis H. Vera, Manuel Caceres, Andrés D. Firman</i>	209
Parte IV: Políticas energéticas	
Planificación energética y condiciones de borde: Propuestas para el caso argentino <i>Carina Guzowski, Mariana Zilio, Marina Recalde, Ana L. Guerrero, Florencia Zabaloy</i>	243
Matriz energética y sistema eléctrico: Estrategia e integración <i>Patricia L. Arnera, M. Beatriz Barbieri, Mario Beroqui, Santiago Barbero</i>	263
Sistemas de innovación en energías renovables y eficiencia energética: Un análisis de políticas en la Argentina <i>Carolina Pasciaroni, Carina Guzowski, Florencia Zabaloy</i>	287

ENERGIA E EQUIPAMENTOS WLEDi PARA ILUMINAÇÃO VIÁRIA

Elvo Calixto Burini Junior¹

RESUMO

Aspectos e considerações sobre a transição tecnológica da iluminação pública/viária entre fonte convencional tipo HID para WLEDi é o foco principal do presente trabalho. São apresentados dados sobre equipamentos para IP obtidos em laboratório do IEE/USP e em campo na CUASO. A expansão da utilização da tecnologia SSL (WLEDi) está introduzida, dados coligidos sobre projeto na cidade de São Paulo estão apresentados e discutidos

Palavras-chave: Educação, Métodos laboratoriais de medição, Dados fotométricos sobre WLEDi.

LISTA DE ABREVIATURAS

CUASO - Campus da Universidade de São Paulo, Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira;

¹ Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo - IEE/USP, correo electrónico: elvo@iee.usp.br.

Elvo C. Burini Junior

- D_{uv} – Dimensão sobre isotérmica em espaço colorimétrico u'v' CIE 1976;
- FP – Fator de Potência;
- GAC - Goniômetro Auxiliado por Computador (braço de robô);
- HID – Lâmpada elétrica a descarga de alta intensidade (do inglês, High Intensity Discharge);
- IEE – Instituto de Energia e Ambiente;
- IP – Iluminação Pública/Viária;
- IRC – Índice de Reprodução de Cor;
- LVSAP – Lâmpada a Vapor de Sódio a Alta Pressão;
- MVM – Multivapores Metálicos (Halogenetos, tecnologia de Lâmpada a Alta Pressão);
- PPP - Parceria entre o setor Público e o setor Privado;
- SICADEE – Serviço Técnico de Sistemas de Iluminação, Condicionamento Ambiental e Desempenho Energético de Edificações;
- SPD – Radiação em região do espectro electromagnético (do inglês, Spectral Power Distribution);
- SSL – Dispositivo a estado sólido (do inglês, Solid State Lighting);
- T_{cp} – Temperatura de Cor Correlata;
- THDi - Distorção Harmônica total da corrente elétrica;
- USP – Universidade de São Paulo;
- WLEDi - Diodo emissor de luz branca inorgânico (Inorganic White Light Emitting Diode).

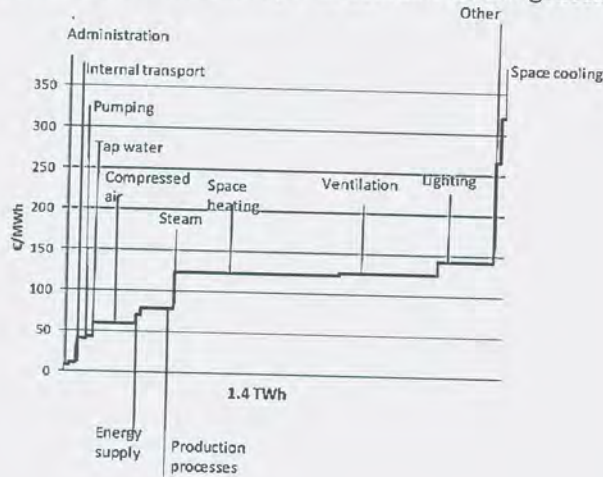
INTRODUÇÃO

A utilização de dispositivos SSL, em substituição a tecnologia da LVSAP, como o WLEDi tem avançado na IP durante a segunda década do século 21. Um objetivo do presente trabalho está em abordar o assunto e disponibilizar dados coligidos tanto em laboratório quanto de projetos implementados em campo. As inovações em ilu-

minação pela difusão da tecnologia emergente (WLEDi), a possibilidade de novos serviços para as denominadas cidades inteligentes, a possibilidade da IP eficiente poder colaborar com o incremento do índice de desenvolvimento humano (IDH) no meio urbano brasileiro poderão acelerar a mudança da tecnologia atual (LVSAP) dominante no setor de iluminação. Uma situação presente, o acervo e também o serviço da IP no Brasil não são mais realizados pelas concessionárias de energia elétrica. As normas técnicas e o conhecimento local foram estabelecidos a partir das fontes puntiformes e tecnologias tradicionais como da incandescência e descarga elétrica em gases (baixa e alta pressão), cuja fabricação no país está sendo des-continuada. Discutir necessidades com base em situações acessadas da IP brasileira também norteia o presente trabalho. Uma instalação que contém certa quantidade de pontos de luz como < 10 mil talvez possa ser classificada como experimental, dada a relativa facilidade de intervenção e que uma quantidade maior de pontos de luz possa ser denominada de instalação extensa, basicamente, devido o maior período necessário para realizar correção ou regularização do serviço. Os custos por unidade de energia (\$/MWh) para ações que objetivam redução de consumo a partir de melhoria da eficiência energética no uso final podem ser determinados, arranjados na ordem crescente, plotados para comparação, e revelar potencial para a energia economizada. A figura n.º 1 apresenta um cenário elaborado e que ilustra esse tema, a partir de auditoria energética, conforme Programa da Agencia de Energia da Suécia (SEAP) [1].

Em termos de custos médios para investimentos em melhorias da eficiência energética, conforme apresentado pela figura n.º 1, o custo mais elevado é para o arrefecimento de ambientes (cerca de 320 Euros/MWh), em segundo “outros”, ainda que ambos representem abrangência bastante reduzida em relação a meta total prevista (no caso 1,4 TWh). Em terceiro lugar encontra-se a iluminação com custo acima de 140 Euros/MWh. Ainda que a iluminação represente fração significativa da energia a ser economizada em interiores, na Suécia, o custo é o mais elevado quando comparado as outras demais dez ações que foram consideradas pelo Programa da Agencia de Energia sueca (SEAP) [1].

Figura n.º 1. Custo de ação relativa a redução no consumo de energéticos na Suécia [1]



A cidade de Manaus, estado do Amazonas - AM (Brasil), recebeu destaque na imprensa local como a segunda cidade brasileira que mais investiu na IP tipo WLEDi (ref. ano 2016). Foram relatados 36.675 pontos de luz (entre Maio a Novembro) que propiciaram redução de R\$ 327 mil [2]. Tais dados possibilitam estimativa de redução do dispêndio com energia na ordem de R\$ 8,92/ponto (durante o mês de Maio) ou R\$ 107,04/ponto-ano. Também foi divulgada meta para atingir 60 mil pontos do tipo WLEDi no ano 2017 e que e propiciarão redução de mais de R\$ 15 milhões no período de 4 anos [2] ou seja, mais de R\$ 102,25/ponto-ano. Neste caso não foi feita a divulgação sobre o investimento realizado pela prefeitura de Manaus, necessário para a troca preconizada (VSAP por WLEDi). Quanto de recurso público foi empenhado, e/ou quanto tempo seria admissível para retornar o investimento. Estas são questões que já deveriam estar respondidas. Ao investir em luminárias com maior eficiência luminosa o município poderá reduzir a conta de energia elétrica, e quando o investimento estiver justificado/amortizado quem irá se apropriar do benefício? Atendida a demanda da expansão demográfica/vegetativa, outra questão: haverá redução na Contribuição (ou taxa) de IP - CIP? Num empreendimento com recurso público, em particular sobre a utilização de energia há que se avaliar e quantificar os benefícios ao setor público, setor produtivo e também ao usuário final. O custo para produzir radiação visível por uma fonte de luz artificial possui ligação estreita com a eficiência luminosa da fonte utilizada. Na próxima seção este trabalho aborda dentro do tema produção de

luz a eficiência luminosa de diferentes tecnologias para iluminação artificial, com adaptações feitas pelo autor no que tange à tecnologia WLEDi.

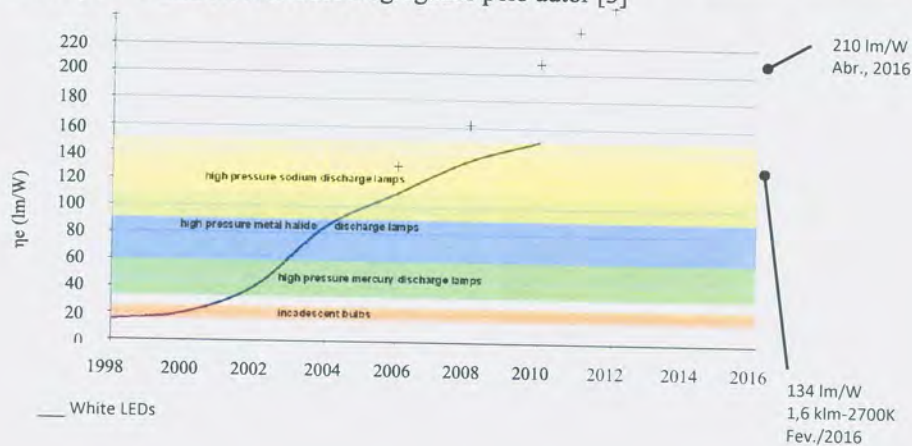
PRODUÇÃO DE LUZ

Em IP o processo da produção de luz envolve uma tecnologia da fonte de luz primária, que foi selecionada, luminária, equipamentos auxiliares (*driver*, proteção) e a utilização de energia elétrica. Uma característica importante da fonte primária é a capacidade de conversão energética da lâmpada ou a eficiência luminosa. Este tema está considerado abaixo, conjuntamente, com a depreciação luminosa. A seção é finalizada pela consideração do tema externalidades, o qual está pontuado com poluição luminosa e dados experimentais sobre atratividade a inseto por fonte de luz artificial.

EFICIÊNCIA LUMINOSA DE FONTE ARTIFICIAL

A eficiência luminosa ao longo do tempo (até o ano 2010), para as principais tecnologias foi reunida, ordenada e está apresentada pela figura n.º 2 (outros dados foram incluídos pelo autor).

Figura n.º 2. Eficiência Luminosa, ao longo do tempo, para cinco diferentes tecnologias, inclui dados para WLEDi atualizados e agregados pelo autor [3]



Segundo dados divulgados por fabricante de WLEDi a eficiência luminosa do dispositivo (chip) já havia vencido a barreira dos 220 $\ell\text{m}/\text{W}$ antes do ano 2011 (ver pontos “+”, figura n.º 2), ainda que no ano 2016 dois produtos do mercado apresentavam 134 $\ell\text{m}/\text{W}$ (2700 K) e 210 $\ell\text{m}/\text{W}$ (ver figura n.º 2). Para o período de 2011 – 2015 a figura n.º 3 apresenta dados típicos para a eficiência luminosa inicial de luminária LVSAP (HPS) 70 – 400 W e dados para 3.441 amostras do mercado norte-americano que estão agrupadas segundo o ano correspondente [4].

Figura n.º 3. Eficiência luminosa: equipamentos (WLEDi) no mercado dos EUA [4]

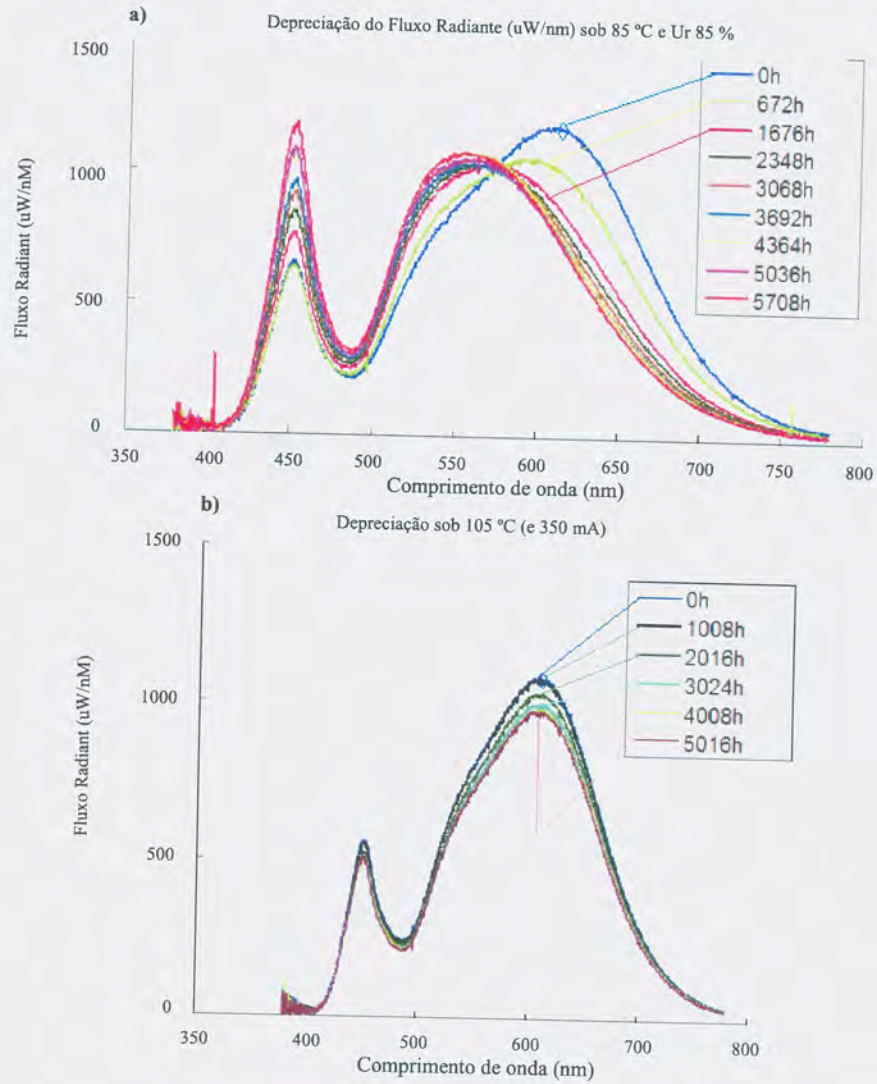


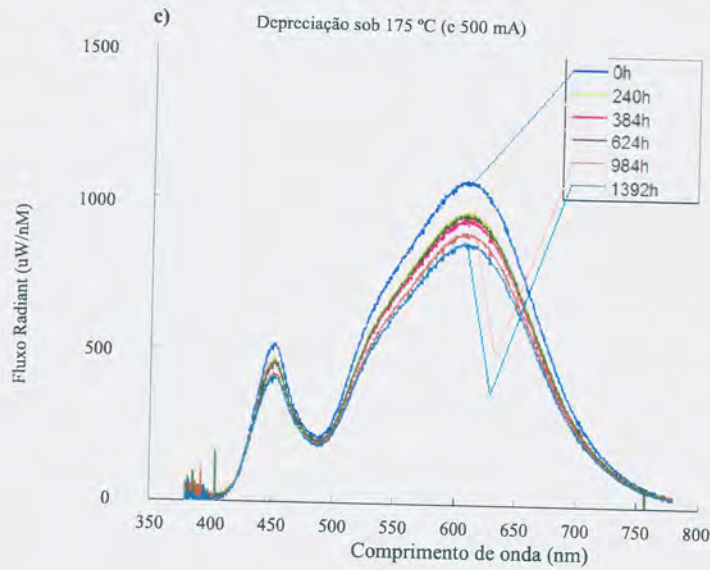
Para o mercado dos EUA é possível verificar que o valor médio das amostras de luminária WLEDi, relativo ao ano 2015, ultrapassou o limite superior da faixa estabelecida para a tecnologia VSAP, indicando a possibilidade de competitividade para o produto WLEDi.

DEPRECIAÇÃO LUMINOSA DO WLEDi

O resultado de experimentos (degradação acelerada) sobre efeito da temperatura e umidade para WLEDi está apresentado pela Figura 4(a), (b), (c) [5].

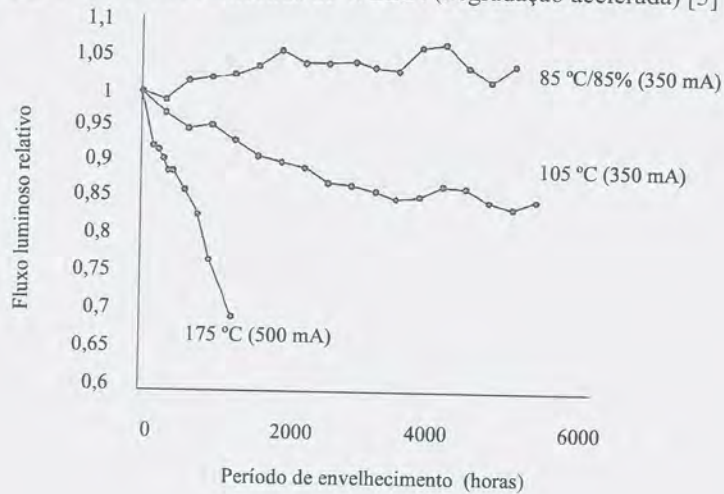
Figura n.º 4 (a), (b), (c). Efeito da temperatura e umidade no SPD da saída de luz (fluxo radiante) para três tipos de WLEDi em diferentes experimentos (degradação acelerada) [5]





A figura n.º 4 apresenta alterações ocorridas ao longo do tempo (durante ensaio de degradação acelerada) no espectro da saída de luz para WLEDi e sob diferentes condições de temperatura, dois níveis de corrente elétrica (figura n.º 4a, b sob 350 mA) e umidade. O parâmetro de interesse é o comportamento do fluxo luminoso ao longo do período de funcionamento, ele está apresentado pela figura n.º 4(d).

Figura n.º 4(d). Comportamento do fluxo luminoso ao longo do tempo devido efeito da temperatura e umidade em tres amostras de WLEDi (degradação acelerada) [5]

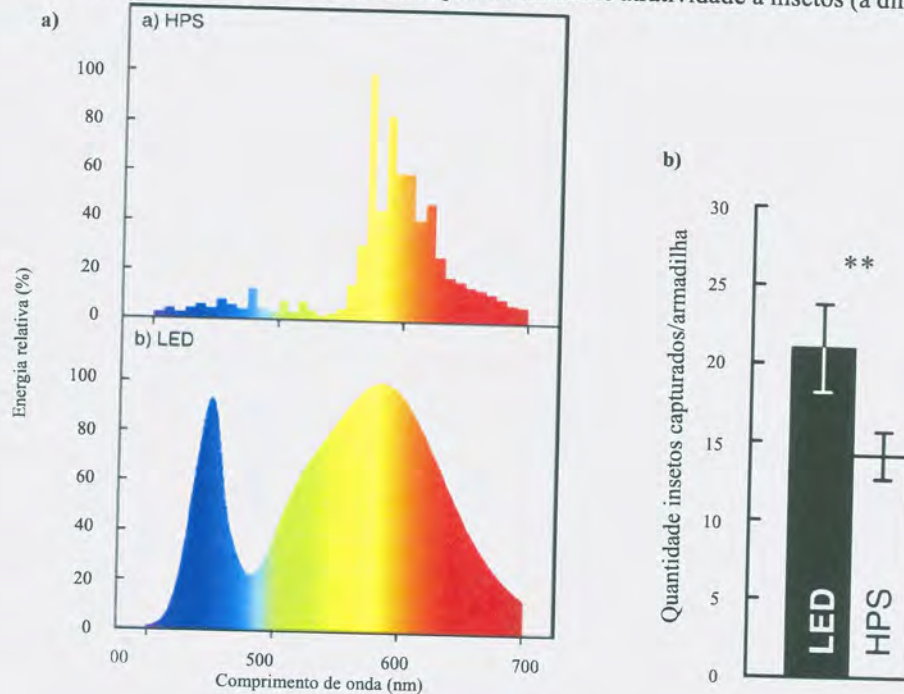


A degradação mais severa do fluxo luminoso no experimento relatado [5] ocorreu para a condição de temperatura mais elevada e corrente elétrica de 500 mA. Isto enfatiza a necessidade de ser estabelecido um compromisso entre a temperatura de funcionamento do dispositivo e a depreciação luminosa admissível durante a etapa de projeto da luminária.

EXTERNALIDADES DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA/VIÁRIA

Os dados obtidos de imagens de satélite e que foram avaliados por agente do Banco Mundial permitiram rejeitar a hipótese de que o aumento temporal dos pontos de luz noturna de determinada área esteja correlacionado com o crescimento da população ou da população urbana [6]. A poluição luminosa, os possíveis efeitos aos ecossistemas devido à presença da iluminação noturna [7], seja devido à intensidade luminosa elevada (em direções indesejáveis), seja devido à composição espectral da radiação, atualmente são considerados externalidades. A atratividade a insetos é outra externalidade relevante e que em alguns casos deverá ser considerada, pois em processo de substituição de fonte de luz primária é prudente verificar a ocorrência da atratividade diferencial da nova fonte à insetos, em particular aqueles que são nocivos ao ser humano. Numa comparação experimental realizada sobre a atratividade por fontes de luz artificial no setor residencial foi revelada atratividade reduzida para a fonte tipo WLEDi testada em relação a fontes convencionais [7]. Em outro experimento sobre a atratividade de insetos pela utilização de dois tipos de fonte de luz primária: LVSAP (HPS) e WLEDi, revelou resultado que está apresentado pela figura n.º 5.

Figura n.º 5. (a), (b). Espectro de duas fontes de luz primária consideradas: LVSAP (HPS) e WLEDi (à esquerda) e resultado de um experimento sobre atratividade a insetos (à direita) [8]



Fonte: Pawson *et al.*, 2014.

Para um tipo de LVSAP e WLEDi o experimento relatado indicou maior quantidade de captura para armadilha com WLEDi, em relação a outra fonte utilizada em experimento pareado, LVSAP (HPS), e sem preferência em relação a T_{cp} [8].

AMOSTRAGENS DA TECNOLOGIA WLEDi EM LABORATÓRIO

Nesta seção estão considerados dois importantes tipos de equipamentos do laboratório SICADEE/IEE/USP e apresentado resultado de experimentos conduzidos a partir de ambos (esfera de Ulbricht e goniômetro). Diferentemente de fontes de luz cuja distribuição espacial é isotrópica, denominada tipo 4π , como da LVSAP e MVM, em geral, o dispositivo WLEDi irradia em 2π . Outro diferencial entre as fontes primárias é

quanto ao espectro (SPD), geralmente, em relação à fonte incandescente (referência), a distribuição espectral da energia visível emitida. Conforme for a resposta espectral do fotoelemento utilizado para amostrar a radiação luminosa poderá ser necessário a utilização de fator para a correção em relação ao espectro. O dispositivo tipo WLEDi que possui distribuição de intensidade luminosa geralmente restrita ao ângulo sólido de 2π , ou meio hemisfério, conforme o equipamento (e montagem) a ser utilizado pode haver necessidade de correção adicional.

ESFERA INTEGRADORA (ULBRICHT)

Em geral a esfera integradora (ver figura n.º 6) é equipamento provido de superfície interna na cor branca e acabamento difuso, isto destina-se a auxiliar em relação à distribuição do fluxo (uniformidade).

Figura n.º 6. Duas esferas integradoras (Ulbricht) do SICADEE/IEE/USP [9]



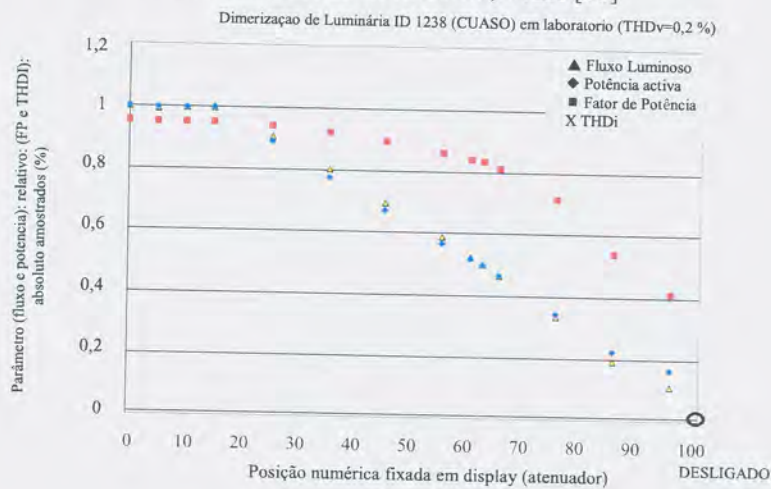
A presença de anteparo no interior da esfera (entre a fonte de luz e o sensor) deve-se a impedir luz direta sobre o sensor. A teoria sobre o funcionamento fixa ser a iluminância na superfície interna da esfera proporcional ao fluxo luminoso da fonte montada na região central. Uma necessidade que deve ser apontada, em relação as esferas integradoras, é quanto à manutenção ou repintura da parede interna. No caso do IEE/USP utiliza-se tinta a base em Sulfato de Bário tanto para aplicação na esfera maior cujo diâmetro nominal está na ordem de 2 m quanto na outra (diâmetro 1 m).

A necessidade de utilização de fator de correção devido à degradação da uni-formidade espacial de luz representa dificuldade adicional a ser superada na determinação do fluxo luminoso de dispositivo LED e com incerteza de determinação reduzida, a partir de esfera de Ulbricht.

“DIMERIZAÇÃO” DE WLEDi EM ESFERA DE ULBRICHT

Na esfera com maior diâmetro (2 m) foi montada uma luminária provida de WLEDi, a qual foi caracterizada sob o regime de “dimerização” utilizando-se equipamento próprio e comunicação sem fio para comutação de estado. A luminária foi energizada a partir de fonte regulada com baixa distorção harmônica total de tensão elétrica (0,2 %) e sob valor nominal. Após a saída de luz (e potência) ter sido considerada estável (são os primeiros quatro registros, à esquerda, figura n.º 7) a saída de luz passou a ser reduzida em passos de 10 %, tendo sido amostrado o fluxo luminoso, a potência elétrica ativa, o fator de potência e a distorção harmônica total da corrente elétrica. Os dados amostrados estão apresentados pela figura n.º 7.

Figura n.º 7. Resultado de experimento sobre a “dimerização” de equipamento WLEDi instalado em esfera de Ulbricht (SICADEE/IEE/USP) Fonte [10]



A “dimerização” ou alteração da saída de luz passou a ocorrer para valor, na escala de ajuste (atenuador, abscissa), acima de 15 % e deixou de atuar abaixo do valor de 10 % do fluxo luminoso. Enquanto o fluxo luminoso ficava reduzido, o fator de potência também experimentou redução e o THDi aumentou. A condição na qual o fluxo luminoso fica reduzido a metade do valor inicial está relacionada ao valor de “62 %” (escala do equipamento de ajuste).

BRAÇO DE ROBÔ (GONIÔMETRO AUXILIADO POR COMPUTADOR)

O equipamento (goniômetro manual) que foi agregado ao patrimônio e utilizado pelo IEE/USP, Seção Técnica de Fotometria (período: 1991-2014), inicialmente, para realizar amostragens com luminárias tipo tubular fluorescente 1,2 m, T8, está apresentado pela figura n.º 8 [11].

Figura n.º 8. Luminária WLEDi montada em goniômetro manual utilizado nas instalações do IEE/USP, na CUASO, até o ano 2014 [11]



O gônio-fotômetro manual (com dois graus de liberdade) apresentado recebeu várias melhorias, entre elas destaca-se fotoelemento em Silício e classe de exatidão definida pelo fabricante. Ainda que com limitação para a posição de montagem e peso da luminária, passos nos planos de amostragem, período de ensaio demasiado longo, o equipamento manual foi extensivamente utilizado. A partir do ano 2015 os trabalhos de levantamentos em fotometria, radiometria e colorimetria passaram a contar com o auxílio de goniômetro computadorizado/informatizado (LGS 1000) e software proprietário (Instrument Systems, SpecWin Pro). Duas imagens de luminária WLEDi

Elvo C. Burini Junior

montada no goniômetro auxiliado por computador (informatizado) estão apresentadas pela figura n.º 9.

Figura n.º 9. Luminária montada no goniômetro informatizado ora utilizado nas instalações do SICADEE/IEE/USP, na CUASO, à esquerda é visível a marca de centro (plano vertical)



Em relação ao goniômetro manual e luminárias convencionais (LVSAP/MVM), o levantamento fotométrico auxiliado por computador de equipamento/luminária tipo WLEDi, geralmente, necessita período relativamente elevado apenas para a luminária ser considerado estabilizada (saída de luz e potência elétrica). Um levantamento típico foi realizado com WLEDi, a partir de 75 minutos desde a energização inicial, tendo sido obtido: 195,0 W; THDi 11,87; FP 0,9713; fluxo de 19,42 klm (para ângulo gama com passos de um grau), eficiência luminosa calculada de 99,6 lm/W; e fluxo de 19,49 klm (para ângulo gama com passos de cinco graus) e eficiência luminosa calculada 99,9 lm/W. O ângulo (C), sistema (C- γ), neste caso foi fixado para passos de dez graus [11]. A diferença relativa entre os dois valores de fluxo luminoso obtido não foi superior a 0,4 %. O resultado obtido entre diferentes laboratórios e mesmo corpo de prova, a partir da tecnologia SSL (WLEDi) e goniômetro auxiliado por computador (GAC) está apresentado na próxima seção.

FLUXO E EFICIÊNCIA LUMINOSA

Para uma luminária WLEDi produzida em Israel foi obtida informação sobre a determinação da potência elétrica e eficiência luminosa, amostrados por outro

laboratório, valor 155,40 W e 140,55 $\ell\text{m/W}$ [11], tendo sido o fluxo calculado em 21,84 $\text{k}\ell\text{m}$. A luminária foi amostrada no IEE/USP, repetidamente, pelo auxílio do GAC, tendo sido obtido: a) potência elétrica na faixa de (156,5 a 157,3) W, devendo ser considerado o valor de 157 W como sendo o valor mais provável; e b) para a eficiência luminosa foi calculada a faixa de (137 a 140) $\ell\text{m/W}$, similarmente, considerar o valor mais provável como 138 $\ell\text{m/W}$. A partir dos valores mais prováveis o fluxo foi calculado em 21,67 $\text{k}\ell\text{m}$. A diferença relativa entre os valores para a saída de luz (fluxo luminoso com correção) está estimada em 0,8 %. A luminária utilizada montada no goniômetro (posição inicial) está apresentada pela figura n.º 10.

Figura n.º 10. Luminária WLEDi montada no GAC, posição inicial (plano C = 0° - 180°) vertical de simetria, data da realização: 22/Ago./2016 [11]



Outra facilidade é que a amostragem da irradiância espectral pode ser realizada sem a luminária ser removida do goniômetro LGS 1000, apenas pela substituição do sensor fotométrico pelo difusor acoplado a fibra óptica do espectrorradiômetro. Este outro arranjo denomina-se gônio-radiômetro devido o levantamento poder ser rea-lizado na direção de interesse e em base de comprimento de onda (na banda de 297nm a 1105nm). O espectro da luminária da figura n.º 10 foi obtido na direção do eixo óptico e está apresentado pela figura n.º 11 [11].

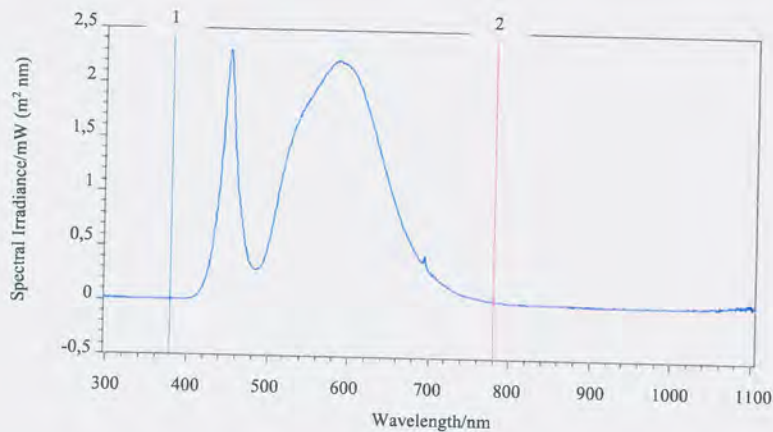
Elvo C. Burini Junior

A T_{cp} da luminária WLEDi cuja emissão espectral foi amostrada conforme o conteúdo da Figura 11 está avaliado em 3762 K, a D_{UV} igual a $1,16 \times 10^{-3}$ e o IRC 74,1 [11].

DADOS DO WLEDi EM CAMPO

Nesta parte estão considerados resultados amostrados a partir da instalação WLEDi da CUASO após período de funcionamento, desde o início, estimado em 12 kh e informações coligidas sobre o projeto “LED nos bairros” da cidade de São Paulo (período 2015-2016).

Figura n.º 11. A irradiância espectral amostrada a partir da luminária WLEDi da Figura 10 [11]



A LUZ BRANCA NA CUASO

Na Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira (CUASO-USP), desde o ano 2013 a luz amarelada (LVSAP) foi removida das vias e da maioria de logradouros, houve retorno para a “luz branca”. A tecnologia emergente SSL (WLEDi) foi implantada na CUASO, em lugar dos sistemas existentes, nas vias, com lâmpada a vapor de sódio a alta pressão – LVSAP, multivapores metálicos – MVM e energizada, inicialmente, em Set./2013. A tecnologia a vapor de Sódio a alta pressão (250 W) era dominante na iluminação de exteriores na CUASO, com estimativa de aproximadamente 3500

unidades (altura de montagem típica: 9 m). A luz branca (WLEDi) e a luz amarela (LVSAP), no pátio do IEE/USP, foram capturadas no ano 2012 conforme a figura n.º 11(a).

Figura n.º 11(a). A luz branca na CUASO (eletroposto no IEE/USP, ano 2012) [12]



A nova instalação na CUASO tinha previsto, inicialmente, a tecnologia MVM para a iluminação de destaque (monumentos e prédios) e para a parte viária três tipos principais de equipamentos SSL (WLEDi). Para os três tipos principais, aproximadamente 5500 unidades, foram estabelecidos requisitos para aceitação lastreados em norma técnica brasileira e dos EUA, dentre eles estão a potência elétrica nominal nas faixas de: (55 ± 5) W; (105 ± 5) W e (195 ± 5) W e o limite mínimo de 85 lm/W [13]. A luz branca (WLEDi) foi utilizada também na iluminação de destaque na CUASO (ver figura n.º 11(b)).

Figura n.º 11 (b). A luz branca na CUASO: praça Ramos de Azevedo



Fonte: Elvo C. Burini Junior, 2015.

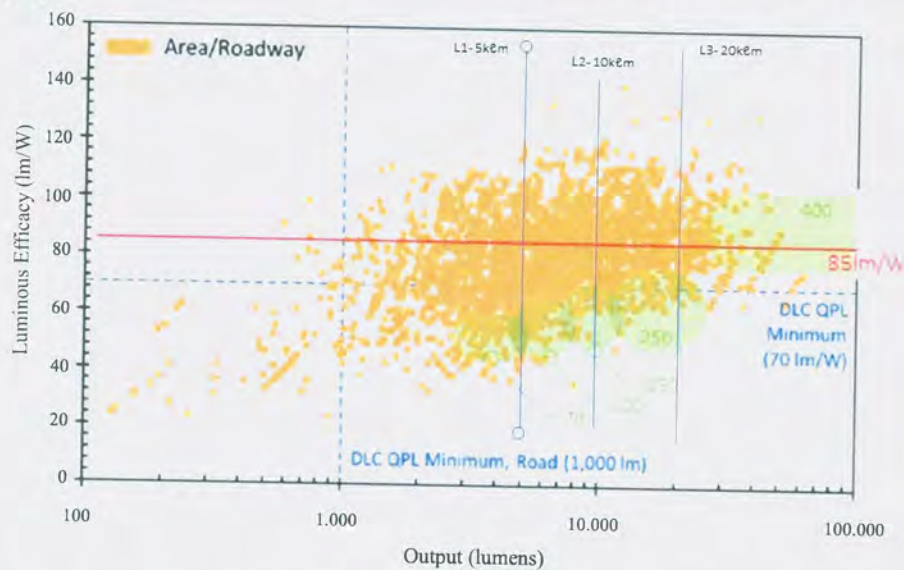
A eficiência luminosa limite (85 lm/W) e as faixas de potência elétrica nominais definiram três patamares para o fluxo luminoso mínimo de $L1= 5 (4,7) \text{ klm}$; $L2= 10$

Elvo C. Burini Junior

(8,9) klm e L3= 20 (16,6) klm. Nota: Os valores entre parêntesis foram obtidos para o centro da faixa definida pela potência elétrica.

Os valores de referência para os equipamentos WLEDi instalados na CUASO, 85 lm/W e os fluxos luminosos (L₁ a L₃) estão marcados sobre dados amostrados no mercado dos EUA, e estão apresentados pela figura n.º 12.

Figura n.º 12. Equipamentos WLEDi instalados na CUASO e amostras do mercado dos EUA [14]



Fonte: McCullough, J., feb. 2015.

Durante a implantação dos novos equipamentos para iluminação WLEDi na CUASO, pouca informação estava disponível sobre o desempenho desse tipo de instalação, ao longo do tempo, e entre as qualidades de interesse, naquela oportunidade destaque foi dado à manutenção do fluxo luminoso (saída de luz). Trata-se de parâmetro importante quando fontes de luz elétrica artificial são cotejadas. Uma redução precoce da saída de luz poderá impactar a visibilidade (segurança) do usuário e elevar custos. A qualidade do WLEDi não deve ficar centrada exclusivamente numa manutenção de fluxo luminoso com taxa reduzida. A alteração na cor da luz emitida, ao longo do tempo, poderá representar causa de falha, sendo importante a consideração deste parâmetro em

aplicações onde a aparência visual é relevante ou crítica. A figura n.º 13 apresenta situação na qual não é possível apreciar diferença cromática da luz capturada.

Figura n.º 13. CUASO-USP, Av. Prof. Luciano Gualberto, lado par (EPUSP)



Fonte: Elvio C. Burini Junior, 18/Abr./2015.

Na auditoria realizada em campo na CUASO, (08/Set./2016; 12,1 kh) uma maior quantidade de registros foi obtida por medições ao nível do pavimento, sendo os resultados apresentados a partir de cada malha de iluminâncias, cujos valores estão estratificados pelas linhas longitudinais a direção da via. Durante o procedimento das amostragens realizadas, em campo, está apontando a necessidade de ser observada a influência indesejável de sombra (ver figura n.º 14).

Figura n.º 14. Imagens realizadas na Rua do Lago, CUASO, em 08/Set./2016, à esquerda o sensor está sob sombra, à direita a sombra foi afastada (situação correta) [12]

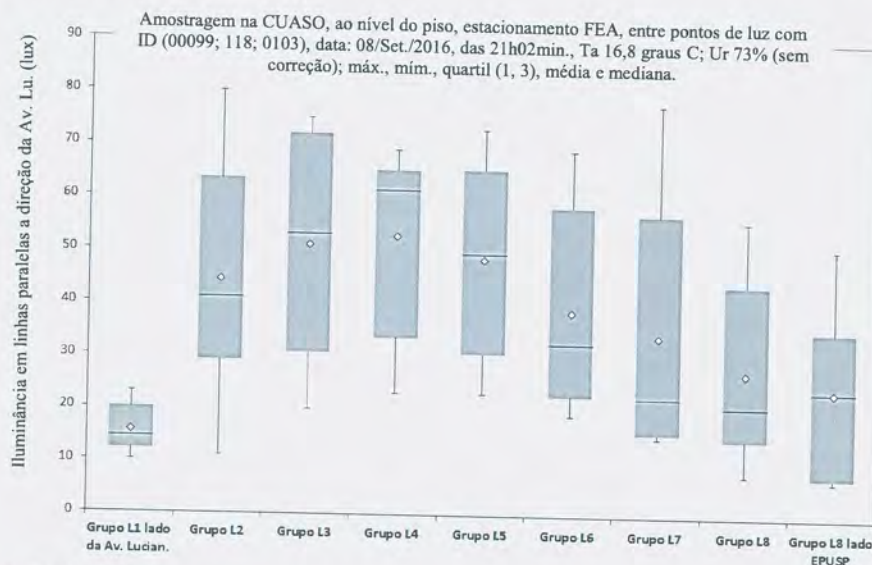


Na campanha, em campo (a 12,1 kh), a iluminância foi amostrada em malha de pontos, cujo local poderá ser acessado, em campo, a partir do número de identificação (ID) dos pontos de luz/luminárias. Os valores de iluminância coletados na CUASO, estacionamento da Faculdade de Economia e Administração - FEA, na noite de

Elvo C. Burini Junior

08/Set./2016 foram processados, estatisticamente, segundo conjunto definido por linhas longitudinais a direção da via, conforme cada local e estão apresentados pela figura n.º 15 [12, 15].

Figura n.º 15. Iluminância amostrada, em campo, no estacionamento da FEA/CUASO-USP, em 08/Set./2016



Fonte: [12], [15].

Na Rua do Matão, CUASO, existe um declive topográfico acentuado, tendo sido naquela amostra que ocorreu o menor valor médio (e para a mediana), as demais localidades apresentaram valor médio e a mediana acima de 30 lux [12,15].

PROJETO PAULISTANO “LED NOS BAIRROS”

A prefeitura da cidade de São Paulo (PMSP), no período de 2015-2016, realizou licitação (PPP), oferecendo a concessão (por período de 24 anos) dos serviços de IP e a troca/substituição de todos os pontos de luz pela tecnologia LED [16]. Segundo o anuário estadual, ano 2014 [17], a cidade de São Paulo possuía um total de cerca de 4,72 milhões de consumidores de energia elétrica, sendo que o setor residencial é

tarifado atualmente no valor de R\$ 9,32/ligação-mês (valor alterado para R\$ 6,72/ligação-mês conforme [18]). A fração entre o total de consumidores e 560 mil pontos de luz conduz ao valor médio de 8,4 consumidor/ponto de luz. O valor da cobrança da tarifa de IP, setor residencial difere bastante entre municípios, a falta de uniformidade não possui justificativa conhecida. No litoral paulista o valor tarifado, setor residencial, em uma localidade ele é dimensionado por uma fração do consumo de energia e pode ser tão elevado quanto R\$ 34,93/ligação-mês [19]. No período de Dez./2015 a Mai./2016 ocorreu divulgação de informações e dados sobre a implantação de luminárias a WLEDi (projeto “LED nos bairros”) pela prefeitura da cidade de São Paulo. A Figura 16 apresenta tanto uma luminária para LVSAP (acima) quanto uma luminária que foi instalada durante o projeto “LED nos bairros” (abaixo, próxima a rede elétrica de baixa tensão (ver no detalhe).

Figura n.º 16. Luminária para LVSAP (acima) e um tipo de luminária instalada durante o projeto “LED nos bairros” (abaixo e no detalhe), em Maio/2016, cidade de São Paulo [12]



A metodologia adotada para a substituição (do inglês, retrofit) constituiu da retirada de luminária, geralmente, LVSAP juntamente com equipamento auxiliar e braço. A luminária tipo WLEDi que já se encontrava montada em novo braço foi fixada e a ligação elétrica realizada, numa ação relativamente expedita. Alguns números divulgados sobre o projeto “LED nos bairros”, cidade de São Paulo, estão apresentados pela tabela n.º 1.

Tabela n.º 1. Projeto paulistano “LED nos bairros”: custo médio por ponto de luz LED instalado

Bairro (data ref.)	valor (R\$ x10 ⁶)	pontos	R\$/pto. (x10 ³)
Heliópolis (Dez./15)	3,0	1,277	2349,26
Jd. Monte Azul (Jan./16)	2,478	0,546	4538,46
Sapopemba (Abr./16)	40,1	11,3	3548,67
Pq. E. rad. (Mar./16)	0,9	0,134	6716,42
Beco Bat. (Mai./16)	0,065	0,013	4615,38
R. Tavares (Mai./16)	18,6	5,100	3647,06
Jd. Angela (Abr./16)	38,9	5,9	6593,22
fase um (Mai./16)	200	55	3636,36
Cid. Tirad. (Mai./16)	29,5	7,719	3821,74
<i>Notas: - altura de montagem diferente em relação aos bairros,</i>			
M. Pinheiros (Dez./15)	24,7	3,409	7245,53
em Jan./2016, o parque de pontos de luz da cidade de São Paulo continha 618 mil lâmpadas, sendo 20 mil a LED, (9.074 lâmp. Foram instaladas nos 2 últimos anos).			

Fonte: <http://www.capital.sp.gov.br/portal/noticia/10932#ad-image-0>.

Na tabela n.º 1, quando não são considerados os dois valores mais elevados por tratar-se de aplicação na marginal Pinheiros (altura de montagem elevada) e num parque, cujas características podem divergir das instalações no setor residencial, é possível identificar para o custo médio por ponto a faixa de R\$ (2,35 a 6,59) mil. Uma análise aprofundada, caso a caso, não foi realizada, porém, tomando o caso de Sapopemba (até Abr./16) cujo valor empenhado foi 40,1 milhões (investimento WLEDi), a energia elétrica (gasto mensal anterior) era cerca de R\$ 225 mil e o valor previsto após a troca por WLEDi seria R\$ 162 mil, indicando uma diferença de R\$ 63 mil (“...economia de 28 %”). Ao realizar cálculo simples sobre o período para o retorno do investimento (investimento/economia anual) verifica-se que para ocorrer o retorno do investimento, mantidas as condições atuais serão necessários 53 anos! “Algo pode estar errado”? Outro caso tomado ao acaso, para o Jd. Ângela foi divulgado aporte de 38,9 milhões (investimento WLEDi), sendo “a potência instalada (tradicional) 2.424.548 W e que deveria passar com WLEDi para 927.475 W” (cerca de 157 W/ponto), o dispêndio com a energia elétrica (gasto mensal) cerca de R\$ 323 mil, gasto de energia previsto após implantação do WLEDi de R\$ 123,5 mil (diferença de R\$ 199,5 mil), “...uma economia anual R\$ 2394 mil”. Neste caso é possível constatar redução significativa no período do retorno simples, para ocorrer o retorno do investimento, mantidos os parâmetros utilizados estima-se necessidade de 16,2 anos. Caso o equipamento WLEDi instalado

possa ser mantido durante 50 mil horas (11,4 anos), haverá necessidade de ao menos uma substituição antes que o investimento possa estar amortizado. Não é usual a aceitação de períodos de retorno mais elevados que 2 a 4 anos, conforme o setor/finalidade do projeto. Considerando a potência nominal de 150 W para um ponto de IP típico/médio, utilização diária média de 12 horas e a tarifa “bruta” de R\$ 0,59/kWh [18] foi possível estimar custo de energia no valor de R\$ 32,47/ponto-mês e que a contribuição de cada 3,5 (4,83 no caso da tarifa ser menor) consumidores responderão por custear a energia da IP (um ponto). A diferença entre o valor de 8,4 consumidor/ponto de luz (ver dado apresentado acima) e aqueles que respondem pela fração de energia conduz a estimativa de que 4,9 consumidores (3,6 no caso da tarifa ser menor) estariam custeando outros encargos como manutenção no valor (antigo) de R\$ 45,89/ponto-mês. Assim é possível estimar o valor de R\$ 78,36/pto-mês (considerada média ou valor típico de potência nominal: 150 W/ponto).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conteúdo do presente texto constitui a primeira versão revisada a partir do conteúdo da apresentação realizada durante o XXI Seminario internacional de energía CAE/AUGM[12]. Aspectos teóricos sobre a produção de luz por fonte artificial foram considerados, como depreciação luminosa, e também externalidades ambien-tais: poluição luminosa e resultado de experimentos sobre atratividade de insetos pela utilização de diferentes tipos de fonte de luz primária, assim como as principais facilidades laboratoriais disponíveis no IEE/USP (esferas de Ulbricht e goniômetro auxiliado por computador). Foram apresentados resultados de medições e determinações sobre a tecnologia WLEDi. A diferença entre os valores para a saída de luz (fluxo luminoso, corrigido) foi cotejado com resultado obtido em outro laboratório paulista, ambos acreditado junto ao INMETRO, sendo que a diferença foi avaliada em 0,8 %.

A instalação WLEDi da CUASO está considerada, a partir de resultados de medições de iluminância, em campo, após transcorridos 12,1 kh de início de funcionamento (em Set./2013). Dados coligidos sobre o projeto “LED nos bairros” foram apre-sentados e discutidos. A PPP para a IP paulistana está paralisada a partir de argumentos bastante

simples (Tribunal de Contas do Município), a não consideração/subtração dos pontos WLEDi já instalados, 55 mil pontos foram instalados por R\$ 200 milhões (fase I, ver tab. N.º 1). Outro argumento é a possibilidade, inevitável, do avanço tecnológico ocorrer e o parque tornar-se obsoleto. Existe previsão para existir no mercado já no ano 2020 luminárias com mais de 180 lm/W . Caso a PPP houvesse sido implantada e conforme estimativas, poderia ter representado a necessidade de desembolso da ordem de R\$ 544,64 por ponto-ano pelo vencedor do certame enquanto que o mesmo poderia arrecadar com base na tarifa residencial, cerca de 1,7 vezes o valor investido (8,4 consumidor/ponto de luz). O custo médio de R\$ 3636/ponto, projeto “LED nos bairros”, fase I se for estendido para 598 mil pontos de luz conduzirá a dispêndio para implantação da ordem de 30,2 %, em relação aos 7,2 bilhões da PPP paulistana [20], valor percentual que difere da estimativa feita para a condição atual de dispêndios com manutenção, gestão e outros (sem a energia) de 58,6 % (a diferença: 28,4 %). O montante avaliado para a energia/por ponto foi estimado em 41,4 %. Sem considerar a provável redução no valor da conta de energia elétrica devido a troca pela tecnologia WLEDi, considerada na troca a substituição por potência inferior e troca ponto por ponto (retrofit) a diferença ou sobre preço estimado da PPP [20] teria sido superior a 2 bilhões, valor este equivalente ao custo estimado para a substituição do parque como um todo (598 mil pontos).

Focar apenas na economia do dispêndio do município por ponto, ou seja, uma possível redução da conta de energia é uma visão bastante simplista e equivocada.

O custo total do empreendimento deve ser explicitado e estar transparente para a sociedade, ela é que está sendo onerada.

Recomenda-se maior disseminação e ampliação do número de experimentos que estão sendo realizados a partir do WLEDi, com atenção ao desempenho em relação às condições do ambiente; aos parâmetros elétricos, tanto do equipamento quanto da rede elétrica durante as avaliações e também a saúde.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Backlund, S. y Thollander P. (2015). «Impact after three years of the Swedish energy audit program», *Energy*, v.82(C), pp. 54–60,
Disponível em <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544214014480>.
- [2] Manaus é destaque nacional como cidade que mais investe em iluminação a LED, AM, Brasil, 28/Nov./2016.
Disponível em: <http://www.emtempo.com.br/manaus-e-destaque-nacional-como-cidade-que-mais-investe-em-iluminacao-a-led/>.
- [3] Burini Junior, E. C. *et al.* (2016). *Equipamentos para iluminação pública: novas tecnologias e tendências*. 15ª edição da Expolux - Simpolux, Expo-center Norte, SP, Capital.
- [4] Kinzey, B. (2015). Remaining Barriers to LED. Street Lighting DOE Technology Development Workshop, USA, November 17.
- [5] Lall, P. *et al.* (2016). *A comparison of temperature and humidity effects on phosphor converted LED package and the prediction of remaining useful life with state estimation*. 15th IEEE Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (ITherm), pp. 207-217, Las Vegas, NV, USA, 2016.
- [6] Addison, D. *et al.* (2015). «Nighttime Lights Revisited: The Use of Nighttime Lights Data as a Proxy for Economic Variables». *Policy Research Working Paper 7496*. Macroeconomics and Fiscal Management Global Practice Group, World Bank, Washington, DC, November,
Disponível em <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/23460>.
- [7] Wakefield, A. *et al.* (2016). «Experimentally comparing the attractiveness of domestic lights to insects: Do LEDs attract fewer insects than conventional light types?», *Ecology and Evolution*, 00:1-9 v. 6, n. 22, pp. 8028–8036.
- [8] Pawson, S. M. *et al.* (2014). «LED lighting increases the ecological impact of light pollution irrespective of color temperature». *Ecological Applications*, v. 24, n. 7, pp. 1561-1568.

- [9] Burini Junior, E. C. *et al.* (2015). «Tecnología SSL (WLEDi) em campi da Universidade de São Paulo». *Anais do Congresso Latino-Americano de Geração e Transmissão de Energia Elétrica - CLAGTEE 2015*, 7 pp., 08 - 11 November, São José dos Campos, Brazil.
- [10] Burini Junior, E. C. *et al.* (2016). Apresentação oral realizada na 2ª Reunião do projeto Sistemas para iluminação viária WLEDi na USP, PUSP-C, PUERHESEF, IEE-USP, Prédio E, CUASO, SP, Capital, Brasil, 40 pp.
- [11] Burini Junior, E. C. *et al.* (2016). *Novos Referenciais e Procedimentos para Avaliação de Luz no IEE/USP: Radiação Visível*. Anais da XIII Conferência Panamericana de Iluminação - LUX AMÉRICA 2016, pp. 371-378, La Serena, Chile, 8 pp.
- [12] Burini Junior, E. C. (2016). *Iluminação SSL (LEDi) em São Paulo, Brasil*. Apresentação oral realizada no XXI Seminário Internacional de Energia CAE/AUGM – São Pedro (São Paulo - Brasil), 25/Outubro.
- [13] Burini Junior, E. C. *et al.* (2014). *Avaliação em sistemas para iluminação viária na cidade universitária Armando de Salles Oliveira*. Anais da XII Conferência Panamericana de Iluminação - LUX AMÉRICA 2014, Juiz de Fora, Brasil, 07 a 10/Dez./2014, pp. 44-48,
- [14] Burini Junior, E. C. (2016). *Determinações de fluxo luminoso em esfera integradora e goniofotômetro: a lâmpada a vapor de sódio a alta pressão e o LEDi*. Apresentação oral realizada no Ilumexpo, São Paulo, Brasil, 13 a 15 de Junho.
- [15] Burini Junior, E. C. *et al.* (2016). *A Iluminação WLEDi na CUASO - USP*. Anais da XIII Conferência Panamericana de Iluminação - LUX AMÉRICA 2016, pp. 365-370, La Serena, Chile, 20 a 25/Nov.
- [16] Consulta Pública do Edital da PPP da Iluminação – Aviso de consulta pública - 2013-0.270.788-0.
Disponível em http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/inovacao/participacao_social/consultas_publicas/index.php?p=182594.
- [17] Anuário Estatístico de Energéticos por Município no estado de São Paulo - ano base 2014.
Disponível em <http://www.energia.sp.gov.br/a2sitebox/arquivos/documentos/722.pdf>.

- [18] AES Eletropaulo, conta de energia elétrica (NF, Capital, SP, Brasil), Maio/2017.
- [19] ELEKTRO, conta de energia elétrica (NF, SP, Brasil), Out./2016.
- [20] Bergamin Junior, G. (2016). *Licitação de PPP da iluminação pública opõe Doria e Haddad em SP*. 03/Dez.
Disponível em <http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2016/12/1838084-licitacao-de-ppp-da-iluminacao-publica-opoe-doria-e-haddad-em-sp.shtml>.

Elvo C. Burini Junior

Elvo Calixto Burini Junior

É graduado pela Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo - USP (1984), local onde concluiu o curso de especialização em Mecânica Fina (1985). Recebeu o grau de Mestre (1993) e Doutor em Energia pela USP (2002). A experiência profissional inclui atividades de engenharia no setor privado e público, setor de normalização técnica nacional e internacional; ensino e formação de pessoal. Iluminação contemporânea está incluída entre os principais campos de seu interesse. Atualmente é coordenador das atividades de ensino e pesquisa no SICADEE/ IEE/USP.