

# O ambiente visual noturno: eficiência energética, comodidade e acuidade visual na iluminação das cidades

## The nocturnal visual environment: energy efficiency, comfort and visual acuity in urban illumination

Aloísio Leoni SCHMID\*  
Helena Conelian GENTILI\*\*  
Gabriel Gallarza ROSSI\*\*\*  
Alexandre VALLES\*\*\*  
Renato DOMBROWSKI\*\*\*

### RESUMO

Aspecto notável de diferenciação do ambiente urbano em relação aos ecossistemas naturais é a densidade das transformações energéticas, que tem na iluminação no período noturno uma forte expressão. Para permitir a identificação e avaliação de alguns dos valores envolvidos, apresenta-se um estudo de caso da iluminação externa decorativa na cidade de Curitiba, especificamente na zona exclusiva de pedestres da Rua XV de Novembro. Levantamentos mostram prejuízo visível da eficiência energética e indícios de comprometimento da comodidade visual e da funcionalidade. Diante da necessidade de se considerarem múltiplos critérios de escolha quando de uma intervenção ambiental urbana, são feitos comentários críticos ao conceito de iluminação externa decorativa em voga desde o ano de 2000 na cidade, representando uma tendência disseminada em diversos municípios brasileiros.

*Palavras-chave:* ambiente urbano; eficiência energética; iluminação pública.

### ABSTRACT

The urban environment differs from natural ecosystems in a notable way by the criterion of density of energy consumption. A strong expression of this artificial environment is lighting during nighttime. In order to allow the identification and evaluation of some involved values, a case study is presented on so-called decorative external lighting in the city of Curitiba, more specifically in its pedestrian zone along

\* Professor do Curso de Arquitetura e Urbanismo e do Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da UFPR, atuando na linha de pesquisa *Urbanização, cidade e ambiente urbano* do programa de Doutorado. [made@ufpr.br](mailto:made@ufpr.br)

\*\* Arquiteta e urbanista egressa

\*\*\* Acadêmicos do Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Paraná, Caixa postal 19011/DAU, 81.531-990, Curitiba, PR, tel. (41) 3361 3069, endereço para contato: [iso@ufpr.br](mailto:iso@ufpr.br)

the XV de Novembro street. An assessment of energy efficient shows a poor performance. Impairment of comfort and functionality are not evident, but can be suggested. The need for an intervention to be analyzed according to multiple criteria, as observed in several issues in the urban environment, is shown to apply to the lighting problem as well. As a result, recently observed trends of an historicism in street lighting design in Curitiba and in several other Brazilian cities is critically commented.

*Key-words:* urban environment; energy efficiency; street lighting.

## Introdução

O ambiente urbano tem na densidade das transformações de energia – medida, por exemplo, em  $W/m^2$  – um dos parâmetros mais convincentes na sua diferenciação com respeito aos ecossistemas naturais. A formulação é apresentada em Odum (1995). A iluminação noturna responde por este efeito com parcela não negligenciável do consumo energético.<sup>1</sup> Entretanto, o impacto é indiscutível do ponto de vista da qualidade do ambiente: se a lua, quando aparente, chega a promover iluminância de 0,1 lux sobre a superfície terrestre, as luzes das ruas das cidades superam tal valor em até quinhentas vezes. Além disto, há uma parcela de energia projetada para cima, para o espaço, como forma peculiar de poluição.

Um resultado imediato sobre o ambiente visual é a perda da visibilidade do céu estrelado na cidade e imediações, maior ou menor, a depender da concentração de partículas dispersoras de luz na atmosfera. A respeito da descaracterização do céu noturno, Santos (2005) lembra alterações no fotoperíodo das plantas, atraindo espécies, alterando o balanço de predador e presa com diferentes sensibilidades à luz, diminuindo populações de insetos, afetando o plâncton marinho, criando barreiras visuais à circulação de pequenos mamíferos, desnortando as aves migratórias, enviando sinais falsos às tartarugas marinhas.

Aqui será abordado o ambiente urbano e em especial o espaço externo, de caráter público; por ser sua iluminação organizada por agentes públicos, é chamada iluminação pública. Mais especificamente, será tratada a ilumina-

ção decorativa, para cuja definição têm tido peso predominante alguns critérios estéticos, senão alegóricos.

Não somente os aspectos ambientais, mas também os econômicos e sociais, têm razoável importância. Stiglitz (1988), em sua *Economia do setor público*, define a iluminação pública como um bem público por excelência. O par de critérios necessários e suficientes para tal enquadramento é, com folga, atendido. Primeiramente, não se trata de algum bem ou serviço do qual um beneficiário adicional cause incremento de custos. Depois, é impossível o bloqueio físico aos usuários não-pagadores. O primeiro critério se aplica porque um visitante estrangeiro, que não paga seus impostos na cidade, transita livremente por suas ruas à noite. Desfruta dos serviços da iluminação pública, e nem por isto onera a prestação deste serviço. O segundo critério é observado uma vez que os cidadãos são livres para transitar no espaço público ou, no mínimo, para contemplá-lo de uma posição fixa, tenham ou não quitado sua conta de energia elétrica que contém tarifa de iluminação pública.<sup>2</sup> Daí decorre a notória importância social da pesquisa que tiver como objeto o refinamento da iluminação pública.

Um valor indissociável da iluminação é sua funcionalidade. Diversas funções são atribuídas à iluminação dos espaços abertos no período noturno:

- fornecer referência urbana aos cidadãos;
- exibir fachadas e monumentos;
- promover a extensão das condições de visibilidade diurna; porém,
- criar uma ambiência diferenciada do dia.

A penúltima função é a mais abrangente. Permite às pessoas melhor capacidade de reconhecimento de ameaças

1 Lopes (2002) aponta que a iluminação pública respondeu, de 1994 a 1998, por 3,5% do consumo de energia elétrica do país. Menciona que a cidade de São Paulo tem iluminação pública com uma potência instalada de 142 MW que, divididos por 10 milhões de habitantes, resultam em cerca de 14 W por habitante. Um número mais conservador se observa em Curitiba, com 130 mil pontos de iluminação de potência média estimada em 70W e 12h de utilização, que resultam na demanda de energia de 9,1 MW e, em termos energéticos, 100 MWh por dia (SMOP, 2005).

2 Depois de haver perdido o cargo de economista-chefe do Banco Mundial, o autor Joseph Stiglitz tornou-se importante crítico da instituição, assim como do Fundo Monetário Internacional. A obra citada, integrada no conjunto dos escritos, rendeu ao autor, Joseph Stiglitz, o Prêmio Nobel de Economia de 2001.

à sua integridade, sejam obstáculos ou imperfeições do piso, ou ainda pessoas desconhecidas. O incremento da iluminação de ruas e praças tem sido objeto de políticas públicas voltadas à segurança dos cidadãos contra a criminalidade, em especial desde final dos anos 1990. No entanto, as soluções adotadas nem sempre mostram o detalhamento luminotécnico necessário. Por exemplo, não respeitam inteiramente a fisiologia humana, origem de todas as considerações de projeto, já que faz parte da própria definição de luz como radiação eletromagnética capaz de sensibilizar os olhos humanos. É, pois, estreitíssima a faixa do espectro eletromagnético em que isto ocorre: entre os comprimentos de onda de 380 a 780 nm (IESNA, 2000).

Moreira (1987) menciona dois diferentes princípios para garantir o discernimento dos objetos na iluminação exterior: pela percepção de silhueta ou pela percepção dos detalhes. O discernimento por silhueta ocorre quando o fundo sobre o qual se acha o objeto reflete maior quantidade de luz que o objeto; em caso contrário, teremos o discernimento por detalhe. O discernimento por silhueta é normalmente possível com menores níveis de iluminação que o discernimento por detalhe, sendo, pois, preferido em muitas instalações de iluminação exterior e na iluminação pública de ruas secundárias. O autor ainda ressalta:

Essa percepção por silhueta exige, para segurança e conforto visual, que o pavimento tenha uma luminância uniforme, pois, caso contrário, teremos no pavimento uma

desagradável sucessão de faixas claras e escuras. Essa condição de continuidade de luminância é mais importante que a obtenção de um iluminamento<sup>3</sup> uniforme, pois só assim o efeito de contraste, necessário à percepção, será constante ao longo do pavimento iluminado.

A norma brasileira NB-429, citada por Moreira (1987), classifica como B as vias de ligação entre centros urbanos e suburbanos e como C as vias urbanas com existência de construções ao longo da via e tráfego motorizado ou de pedestres. Recomenda os níveis de iluminação mínimos no plano horizontal rente ao chão de acordo com a tabela 1.

Logo, para regiões de circulação exclusiva de pedestres (exceto carros de transportadoras de valores, bombeiros ou outras eventualidades) recomenda-se o valor mínimo de 3 lux.

Procurando implementar um sistema de discernimento por detalhe, o manual de iluminação de um fabricante de lâmpadas menciona como requisitos da iluminação pública de áreas residenciais e pedestres (PHILIPS, 1986):

- movimentação segura (revelando obstáculos potencialmente perigosos no seu caminho e cada irregularidade que se apresentar), critério que exige, em qualquer ponto, a observância de um nível mínimo de iluminação de 0,2 lux, sendo de preferência um mínimo de 1 lux;

TABELA 1 - NÍVEIS MÍNIMOS DE ILUMINAÇÃO MÉDIO HORIZONTAIS (LUX) PARA VIAS DE CLASSE B E C

trânsito de pedestres	tráfego motorizado		
	leve	médio	intenso
leve	3	7,5	17
médio	7,5	15	20
intenso	15	20	25

3 Nota dos autores: termos hoje usuais são iluminância ou nível de iluminação.

- reconhecimento facial: é importante para os pedestres se reconhecerem mutuamente quando se encontrarem; isto requer uma iluminância semicilíndrica de 0,8 lux, permitindo reconhecimento facial a uma distância de 4 m; isto remete a uma iluminância horizontal de aproximadamente 5 lux;
- orientação;
- segurança.

Ao desempenho de funções associa-se outro valor da iluminação: o da eficiência. Ou seja, a consecução dos objetivos luminotécnicos com mínimo consumo de energia. Critérios gerais para que a iluminação pública se mostre eficiente, com adequado desempenho não somente de lâmpadas, mas de luminárias, foram apresentados por um dos autores (SCHMID, 1999). Também foi sugerido o vínculo entre iluminação adequada e segurança, apresentando imagens produzidas em computador a partir de métodos numéricos (SCHMID, 2001). Diferentes luminárias podem, pois, promover efeitos completamente distintos de acordo com a maior ou menor causalidade no direcionamento dos raios de luz. É o que revela a observação, no mobiliário urbano destinado à iluminação de ruas, dos equívocos também mais freqüentes nas luminárias dos interiores, provável resultado de projeto inadequado ou insuficiente manutenção:

- projeção de luz para acima do plano horizontal;
- projeção de luz para dentro do cone de visão das pessoas;
- retenção de luz dentro de um corpo difusor translúcido de baixa transmissividade;
- má qualidade dos corpos difusores;

Aqui, introduz-se um outro valor fundamental da iluminação: o conforto ou, mais precisamente, a comodidade; a preocupação de não incomodar, não ofender as pessoas.

Pilotto Neto (1980) apresentou como importante critério de conforto da iluminação a ausência de agentes de ofuscamento dentro do cone de visão do observador – aquele cone de vértice no seu olho e definido por uma geratriz inclinada em 30° em relação ao eixo de visão. Esta é, para pessoas em pé e caminhando, uma linha horizontal na altura dos olhos. Ora, este mesmo critério é comumente usurpado, ao menos no estágio de ofuscamento debilitador, pelas

luminárias em que a lâmpada é envolvida por corpo translúcido difusor, à guisa de um abajur. Outro critério apresentado pelo mesmo autor define o estágio de ofuscamento doloroso como a presença de superfície com luminância superior a 7 mil cd/m<sup>2</sup>. Ora, tal critério foi examinado numa luminária idêntica àquelas utilizadas em situações em que ocorre suposto ofuscamento na cidade de Curitiba, abaixo descritas. Em medições preliminares que embasaram a hipótese central deste trabalho, verificou-se o atingimento de 7 mil cd/m<sup>2</sup> no centro do corpo difusor. Este se encontrava perfeitamente limpo, em condições de laboratório; na rua, a sujeira deve provocar menos ofuscamento e simultaneamente prejuízo da eficiência. A potência da lâmpada utilizada era de 250W. Entretanto, a mesma luminária já fora utilizada com lâmpada de 400W; neste caso, chega a ofuscar, causando dor.

Com relação ao ofuscamento, Moreira (1987) propõe que tal sensação seja provavelmente *mais causada pelo efeito de uma luminária na linha direta da visão do que pelo efeito combinado de todas as luminárias na área*. Recomenda, portanto, limitar-se a luminância das luminárias individuais para ângulos críticos de emissão. O autor sugere as seguintes medidas preventivas:

- a) utilizar fontes de luz de baixa luminância, isto é, de grande superfície aparente;
- b) utilizar aparelhos que não emitam luz segundo grandes ângulos formados com a vertical inferior, passando pelo seu centro. O ângulo máximo é de 80° aproximadamente;
- c) utilizar aparelhos montados em altura conveniente (de 6 a 12 m). Em casos especiais, podemos atingir alturas de montagem de até 40m.

Hopkinson et al. (1966) apresentaram curvas da sensibilidade humana ao contraste em função do nível de iluminação. Se este for mais baixo, as menores nuances entre claro e escuro (expressas em porcentual) não serão mais perceptíveis.<sup>4</sup> No entanto, ao falar do ofuscamento, o autor menciona ser desejável para o cone de visão uma luminância (brilho) média de 1/3 daquela verificada no plano de trabalho e, para o restante do ambiente, 1/10 dela. Este mesmo princípio pode ser utilizado para avaliação de condições práticas de iluminação em que o objeto a ser visualizado tenha importância predominante no plano vertical. Na verdade, trata-se de iluminar objetos tridimensionais, que são,

4 A mesma curva foi testada por um dos autores em 30 testes realizados durante uma aula de Conforto Ambiental I, na UFPR, e demonstrou-se válida.

porém, melhor representáveis no plano vertical do que no horizontal.

A iluminação é percebida visualmente, e isto abre espaço à intencionalidade noutros aspectos: estético, alegórico, político. Estes últimos incluem o uso deliberado, no desenho urbano, de ícones associados a grupos políticos. Tal questão não é objeto do presente estudo. Entretanto, número suficiente de critérios – funcionalidade, conforto e eficiência – sugere a possibilidade de análise mediante critérios visuais. A observação, no mínimo, destes três aspectos pelo grupo de autores os fez sensíveis à hipótese de que, na iluminação pública de várias cidades brasileiras, valores como eficiência, comodidade e funcionalidade têm sido preteridos. Como resultado, pouco se justifica tamanha alteração que tais cidades promovem no ambiente natural noturno ao lhe privarem do escuro da noite e da visão do céu.

## ***Materiais e métodos***

Esta pesquisa se propõe à verificação prática e quantificação de três hipóteses da inadequação do sistema de iluminação pública decorativa em pauta. Inicialmente, da ineficiência da iluminação quando não há cuidado no direcionamento dos raios de luz, mesmo que integrada num contexto urbano em que fachadas e vegetação promovam reflexões. Depois, do desconforto – mediante ocorrência de ofuscamento. Finalmente, da acuidade visual – mais especificamente, do prejuízo da percepção de detalhes, pelas pessoas – quando a iluminação das ruas é tal que ocorrem fontes projetando a luz para baixo com inclinação inferior a 30° – logo, para dentro do cone de visão dos transeuntes. A pesquisa tem, portanto, caráter explanatório, uma vez que constrói hipóteses sobre um fenômeno já mais ou menos conhecido. No entanto, tendo em vista o aparente abandono de princípios luminotécnicos nas políticas públicas de segurança, é mantido aqui um certo caráter exploratório: algumas verdades precisam ser redescobertas para vigorar. Logo, a própria existência dos fenômenos é, aqui, demonstrada.

### ***a) Eficiência energética***

Para determinar com que eficiência energética o uso final “iluminação de rua” é efetivado, foi inicialmente realizada uma medição do nível de iluminação sobre a horizontal, a 1 m de altura, em diversos pontos dentro de um módulo da rua, compreendido entre quatro postes. Foi uti-

lizado um luxímetro de marca Minipa, de adequada precisão. De posse da potência elétrica consumida, foi determinado o índice de lm/W.

Entende-se aqui a eficiência energética numa medida relativa: quantos lúmenes de fluxo luminoso sobre o referido plano são produzidos por unidade de potência consumida. Trata-se de uma medida de eficiência em lm/W, tal qual utilizado para caracterizar as lâmpadas. No entanto, não se trata da eficiência das lâmpadas, mas do conjunto lâmpada + luminária e considerada sua implantação. Somente não pôde ser isolada completamente a iluminação útil no plano horizontal, já que aquela proveniente de raios muito pouco inclinados (menos que 30°) é, por definição, a causadora de ofuscamento e esses raios deveriam ser, portanto, bloqueados.

A interpretação do valor medido contou com um experimento em laboratório. Na verdade, dois fatores contribuem para produzir a eficiência da luminária: 1) as perdas de luz que ocorrem por causa de reflexões no interior do corpo difusor, e 2) a fração de luz corretamente direcionada.

Numa câmara escura no Laboratório do Ambiente Construído (Lambi/UFPR), foi instalada uma luminária contendo um único lampião, do mesmo tipo utilizado na rua. O nível de iluminação projetado pelo lampião sobre cinco pontos definidos na sala, em diferentes direções em relação a ele, foi comparado com o nível de iluminação projetado pela lâmpada nua, sem o corpo difusor.

### ***b) Comodidade***

A ocorrência de ofuscamento doloroso é investigada mediante medição, em laboratório e nas condições de uso em campo, da luminância observada nos corpos difusores das luminárias.

### ***c) Funcionalidade: acuidade visual***

O método utilizado é o levantamento, em amostra da população, da capacidade de identificação de caracteres do alfabeto dispostos em linhas com letras de diferentes tamanhos, até atingir-se o menor detalhe supostamente perceptível pela visão humana normal – aquele abrangido por um ângulo de 1" (um minuto, logo 1/60 de grau). Unidade de análise é a capacidade dos transeuntes de discernir detalhes diante de uma iluminação com e sem fontes de luz no fundo, a que se atribui o ofuscamento desabilitador. Como limitação, são considerados casos de iluminação mediante lâmpadas de sódio de baixa pressão e, no caso de suposto

ofuscamento, luminárias que são réplicas de lâmpões republicanos do início do século XX. As réplicas entraram em uso em Curitiba desde o final da década de 1990.

O tamanho da amostra foi arbitrado em 100 indivíduos.

Exemplos do diagrama de Snellen foram preparados em dimensões de cerca de 1,20 m x 0,90 m, em material de pouco brilho (obtido, na verdade, após esfregar a superfície da flâmula com esponja áspera de plástico).

O local escolhido para representar uma situação supostamente afetada pelo ofuscamento e livre dele foi o calçadão da Rua XV de Novembro em Curitiba, nas imediações da chamada Boca Maldita. Precisamente, foram realizadas medições na altura da rua Ébano Pereira, ao lado do bondinho, longitudinalmente à referida rua, uma vez no sentido da Praça Osório, outra vez no sentido oposto. A escolha do local é relacionada à hipótese de ocorrer, em tal trecho da rua, ofuscamento desabilitador – tal como também se supõe em diversas outras ruas providas de semelhante mobiliário urbano, como a Comendador Araújo e Cândido de Abreu, sem falar de numerosas praças e parques.

Para representar uma situação livre de ofuscamento foram identificados dois locais, em direções e sentidos bas-

tante específicos: inicialmente, na Praça Santos Andrade, defronte do Edifício histórico da UFPR (recentemente eleito para símbolo de Curitiba), iniciando na calçada de prolongamento da Rua XV de Novembro e mirando diagonalmente, em cerca de 45°, em direção à colunata principal. Depois, na Praça Ruy Barbosa, na lateral da edificação conhecida como Rua da Cidadania, desde o lado norte da praça, e também em diagonal. O critério utilizado foi a manutenção de um nível de iluminação de cerca de 60 lux sobre o centro do painel, sendo o mesmo ponto mantido à altura aproximada de 1,60 m do chão. Assumiu-se, assim, a semelhança das condições imediatas de iluminação.

Foram realizadas quatro baterias de testes, sendo duas sob suposto ofuscamento desabilitador no fundo, e duas livres dele. Em cada bateria, cem indivíduos foram convidados para realizar os testes. Os indivíduos foram posicionados a 7,00 m da superfície do cartaz. Este critério foi estabelecido de modo que o menor detalhe visível (um quadrado com lado igual a 1/5 da altura das letras da décima linha, as menores letras do cartaz) formasse com o observador um ângulo de apenas 1" – limite de percepção de detalhe para uma visão supostamente normal.

FIGURA 1 - DIAGRAMAS DE SNELLEN UTILIZADOS

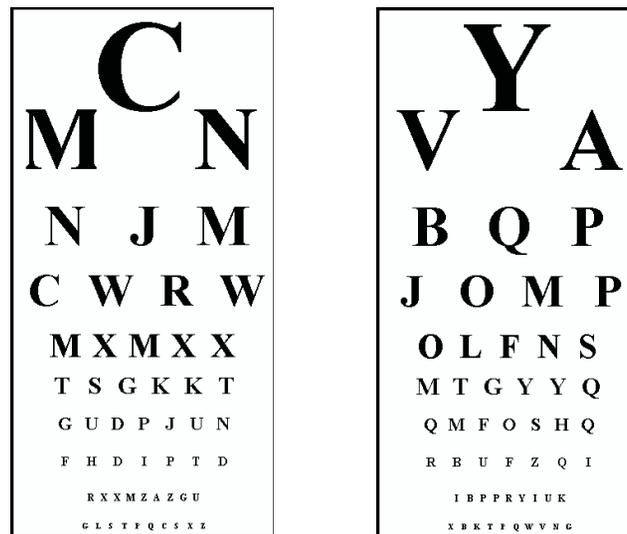


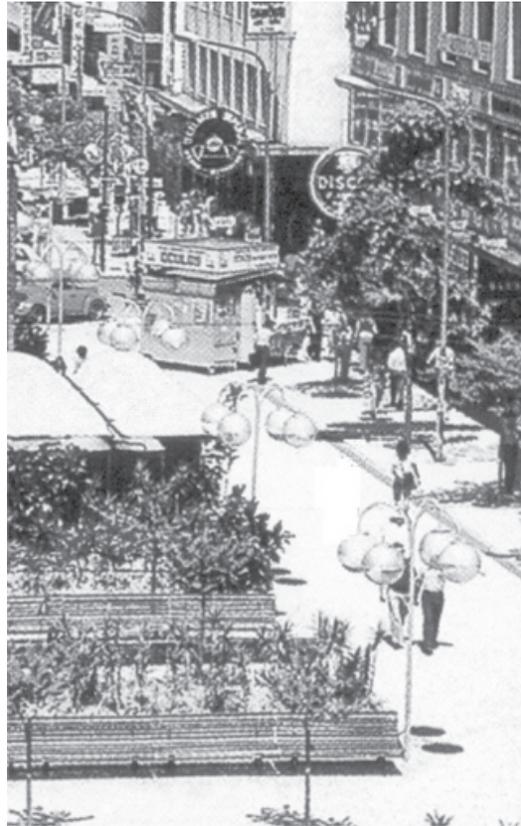
FIGURA 2- AVALIAÇÃO DA ACUIDADE VISUAL NA RUA XV DE NOVEMBRO, EM CURITIBA, MAIO DE 2005; AO FUNDO, LAMPIÕES PROVOCANDO SUPUESTO OFUSCAMENTO DESABILITADOR (FOTO: GABRIEL GALLARZA)



FIGURA 3 - PONTOS ONDE FORAM REALIZADAS BATERIAS DE TESTES



FIGURA 4- A RUA XV DE NOVENBRO, EM CURITIBA, NOS ANOS 1980



Com relação à Rua XV de Novembro, cabe esclarecer que esta rua era uma referência como centro comercial da cidade de Curitiba. Precisamente em 19 de maio de 1972, numa marcante intervenção do poder público, foi fechada para o trânsito, tornando-se área exclusiva de pedestres. A operação ocorreu estrategicamente encaixada num final de semana prolongado. Houve protestos iniciais dos comerciantes, mas estes logo perceberam vantagens em sua nova situação.

Nos anos 1980, o mesmo prefeito, agora em mandato conquistado por eleição direta, abre o caminho para a

construção de dois *shopping centers*, em região central da cidade, mediante relaxamento do limite de 10 mil m<sup>2</sup> para empreendimentos comerciais.<sup>5</sup> A Rua XV de Novembro, em Curitiba, e de modo geral o comércio do centro da cidade sofreram forte prejuízo, à medida que lojas de tradição abandonavam seus antigos locais. Se passou a ser vista como local menos cômodo e menos seguro para realização de compras, a rua nunca demonstrou perda de vitalidade como local de passagem e, mais ainda, de encontro dos curitibanos, com expressão maior na Boca Maldita, no curto trecho em que ganha o nome de Avenida Luís Xavier. A

<sup>5</sup> A exceção se aplicava à preservação de unidades de interesse do patrimônio histórico. Mediante tal mecanismo foram criados os dois primeiros grandes *shopping centers* no centro da cidade de Curitiba: Mueller e Curitiba.

figura 4 mostra como eram as luminárias da rua nesta época – ainda do desenho original, projetavam luz principalmente para baixo.

Em 2000, a rua foi remodelada, num projeto de revitalização do centro da cidade, com novos bancos, arborização, remanejamento das redes de luz, água pluvial e de esgotos, e novas luminárias. Perdeu os traços originais e modernistas dos anos 1970 para receber réplicas de lampiões chamados republicanos, em ferro fundido, inspirados no início do século XX. Entretanto, dado mais notável é a escolha de uma fonte luminosa dezenas de vezes mais forte que a de então: uma lâmpada de sódio de fluxo luminoso estimado em 30 mil lúmen. Com pouca adaptação do desenho do produto – a escolha de um espesso corpo difusor plástico –, um dispositivo centenário é combinado a uma lâmpada de vapor de sódio de baixa pressão – fonte de luz que ganhava destaque pelo Brasil, substituindo aquelas de vapor de mercúrio, dada a elevada eficiência, o custo acessível e a grande durabilidade, a despeito da cor amarelada e espectro descontínuo, com pobre reprodução de cores. No entanto, montada no lampião republicano, pode-se argumentar que a eficiência da luminária se mostra inferior a 20% (cerca de 50% iluminam

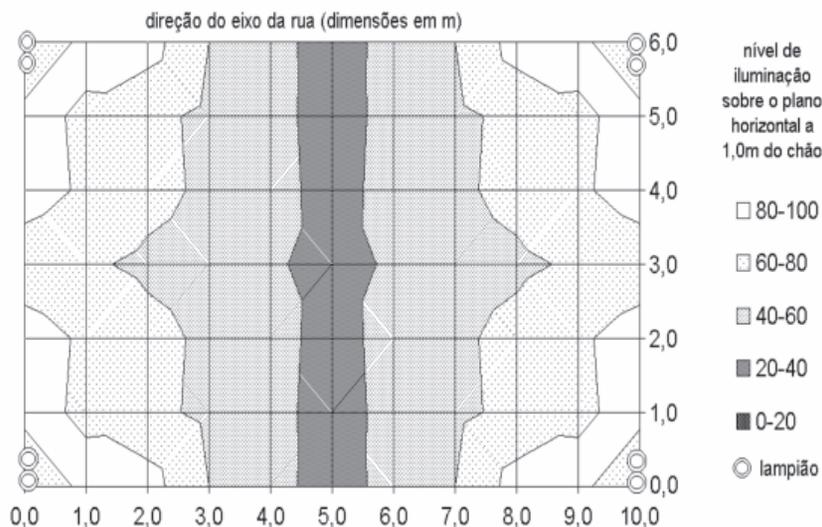
desordenadamente fachadas e a abóbada celeste; cerca de 20% são projetados sobre os olhos dos passantes e, do restante, cerca de 1/3 são retidos no interior do corpo translúcido). Percebe-se aqui marcadamente a inadequação no projeto de produto e inconsistência do próprio desenho urbano.

## Análise dos resultados

### a) Eficiência

Verifica-se que a iluminação é bastante desigual, sem um efetivo direcionamento dos raios de luz para que se obtenha um padrão mais uniforme. Considerando que a largura da rua é de aproximadamente 11,5 m, e que os lampiões se encontram em distribuição aproximadamente uniforme ao longo da rua, há dois postes por 115 m<sup>2</sup>, cada um com duas lâmpadas de 250 W,<sup>6</sup> resultando em 4,35 W/m<sup>2</sup>. Se for procurada uma medida de eficiência, considerando a iluminância média de 62 lux, ou seja, 62 lm/m<sup>2</sup>, resultam 14,25 lm/W. Tal valor é semelhante ao da eficiência luminosa que teria uma fonte de luz

FIGURA 5 - DISTRIBUIÇÃO DO NÍVEL DE ILUMINAÇÃO NA RUA XV DE NOVEMBRO, EM CURITIBA



6 Secretaria Municipal de Obras Públicas, Município de Curitiba. Curitiba: SMOP, comunicação pessoal em 2 de junho de 2005.

TABELA 2 - TRANSMISSIVIDADE DO DIFUSOR DE LUMINÁRIA IGUAL À DA RUA XV DE NOVEMBRO, EM CURITIBA

Direção em relação à horizontal	distância até o centro da lâmpada (m)	nível de iluminação, com o difusor (lux)	nível de iluminação, sem o difusor (lux)	transmissividade aparente do difusor (%)
60 °	1,27	284	350	80
45°	1,56	276	345	81
30°	2,2	94	116	81
0° (horizontal)	1,10	1590	2170	73
Média	-	-	-	78,7

incandescente projetada diretamente sobre a calçada.

Se considerarmos que a lâmpada de vapor de sódio de baixa pressão apresenta eficiência luminosa de no mínimo 130 lm/W, pode-se considerar da ordem de 11% o rendimento da iluminação pública. Esta ineficiência é atribuída à baixa transmissividade do corpo difusor, e também ao fato de que aproximadamente metade da potência que atravessa o corpo difusor é projetada para o céu. Para determinar a parcela de cada fator, foi feito um experimento para determinação da transmissividade, resultando nos valores da tabela 2:

O valor médio de transmissividade significa que somente 78,7% da luz atravessa o corpo difusor. Destes, ao supor-se que metade é projetada para o céu (este valor pode mudar de acordo com considerações geométricas), resultam 39,38% atingindo o plano horizontal. Entretanto, apenas 11% chegam ao destino final. Falta explicar a perda de cerca de 28% do fluxo luminoso. Consideram-se aqui três possibilidades:

- o fluxo da lâmpada não é realmente de 130 lm/W, mas de valor inferior;
- a transmissividade do corpo difusor, afetada pela poluição ambiental, é bastante inferior àquela verificada no laboratório;
- a luz projetada sobre os edifícios, não sendo adequadamente refletida, não retorna integralmente para o plano horizontal.

Deve ser feita a ressalva, no entanto, de que os valores de iluminância são exagerados, dez vezes mais altos que aqueles acima recomendados.

Há evidências suficientes para indicar o fraco desempenho das luminárias da Rua XV de Novembro. Já a iluminação existente nos lados da Praça Ruy Barbosa, onde foi realizada a última bateria de testes de visibilidade, mostrase bem mais eficiente: nela, luminárias altas projetam para baixo a luz de lâmpadas de sódio, sem a interveniência de um corpo difusor.

### b) Comodidade

Verificou-se na luminária em laboratório, com lâmpada de potência igual a 250 W, a ocorrência de valores de luminância próximos do limite de 7000 cd/m<sup>2</sup> somente numa região central do corpo difusor (OLIVEIRA FILHO, 2005). Em geral, os valores medidos são inferiores a 5000 cd/m<sup>2</sup>. Entretanto, nas ruas e praças onde o mesmo modelo de luminária é empregado, medições diversas apontaram para valores inferiores a 3500 cd/m<sup>2</sup>. Isto pode ser atribuído à dificuldade de focalização do luminâncímetro em condições de campo, mas provavelmente se deve antes de tudo à sujeira acumulada nos corpos difusores.

Deve-se observar que, na instalação inicial em 2000, as luminárias na forma de lampião receberam lâmpadas de sódio de 400 W de potência. O caráter ofuscante era bem mais evidente.

### c) Funcionalidade: acuidade visual

A primeira bateria de testes ocorreu na Rua XV de Novembro (bateria “Rua XV, 1”), sentido praça Osório, com suposto ofuscamento, e a segunda defronte do edifício histórico da UFPR (bateria “Praça Santos Andrade”). Os resultados, arranjados em frequência de número de acertos, estão representados no diagrama da figura 6.

A frequência de cada resultado de acertos (entre 0 e 10) mostra um padrão semelhante ao de uma distribuição normal – caso fosse possível medir valores de acuidade visual superiores a 10. Dois resultados chamam a atenção: primeiramente, a média de linhas corretamente lidas, de 8,55 na ausência de suposto ofuscamento, contra 8,14 na sua presença. Ocorre superioridade de mais de 5% no tocante à facilidade de percepção ao detalhe. Depois, note-se a forma

privilegiada da distribuição de número de linhas corretamente lidas, conforme retratado na figura.

As duas baterias de testes seguintes vêm a confirmar, de certo modo, os resultados acima obtidos. Na bateria “Rua XV, 2”, as medições se deram no sentido inverso em relação à bateria “Rua XV, 1”. Apesar da quantidade de lampiões ao fundo, aqui os resultados foram surpreendentemente altos – provavelmente por causa da obstrução de alguns dos lampiões mais próximos por uma banca de café vizinha. Foram resultados equivalentes aos da bateria “Praça Ruy Barbosa”, num local sem visibilidade de lâmpadas ao fundo. O nível de iluminação no centro do diagrama de Snellen, nos dois casos, foi mantido em torno de 60 lux.

A tabela 3 resume os dados obtidos de cada bateria de testes. Percebe-se que a bateria “Rua XV, 1” mostra resultados inferiores aos das outras três baterias.

FIGURA 6 - DISTRIBUIÇÃO DE TOTAIS DE ACERTOS NO DIAGRAMA DE SNELLEN LIDO SOB ILUMINÂNCIA NO PLANO VERTICAL (CENTRO DO DIAGRAMA) ENTRE 55 E 60 LUX, A 7m DE DISTÂNCIA, POR UM CONJUNTO DE 100 TRANSEUNTES ALEATORIAMENTE ESCOLHIDOS

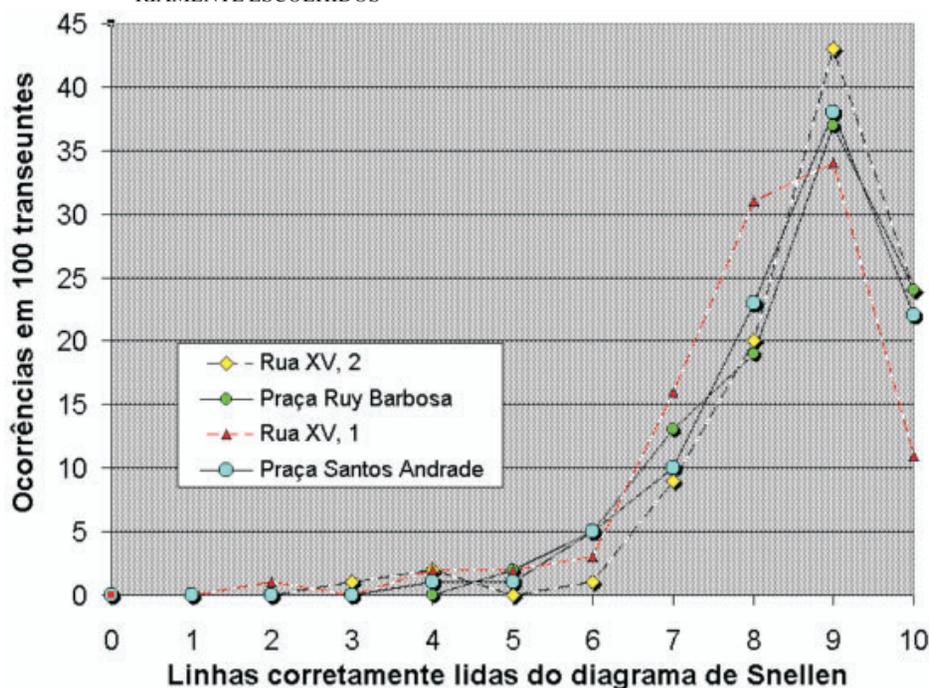


TABELA 3 - VALORES MÉDIOS DE ACERTOS POR GRUPOS DE 100 PESSOAS

Local	Média $\hat{X}$ de linhas corretamente lidas	Desvio-padrão $\hat{\sigma}$ da amostra
Rua XV, 1	8,12	1,29
Rua XV, 2	8,67	1,73
Praça Santos Andrade	8,55	1,39
Praça Ruy Barbosa	8,56	1,23

É importante determinar-se qual a precisão e qual a probabilidade de acerto das observações feitas. Supondo que a acuidade visual da população de pedestres no período noturno segue uma distribuição normal, se B for o valor do erro previsto, o tamanho da amostra válido para que a média estimada tenha probabilidade dada por z desvios-padrão para cima ou para baixo da média é (AGRESTI, FINLAY, 1999):

logo,

$$n = \sigma^2 \left( \frac{z}{B} \right)^2$$

$$B = \frac{z\sigma}{\sqrt{n}}$$

TABELA 4 - CÁLCULO DO ERRO MÁXIMO DA MÉDIA DE ACUIDADE VISUAL

Local	média $\hat{X}$	Desvio-padrão $\hat{\sigma}$	z mínimo *)	erro máximo B
Rua XV, 1	8,12	1,29	1,50	0,1935
Rua XV, 2	8,67	1,73	1,50	0,2595
Praça Santos Andrade	8,55	1,39	1,50	0,2085
Praça Ruy Barbosa	8,56	1,23	1,50	0,1845
erro médio				0,2115

\*) este valor, que corresponde a uma probabilidade de 86,7%, foi obtido por tentativa e erro, até que  $2B < (8,55 - 8,12) = 0,43$ , de modo a sustentar a hipótese de que a iluminação na bateria "Praça Santos Andrade" seja melhor do que em "Rua XV,1"

Portanto, existe 86,7% de probabilidade de ser verdadeira a observação de que as condições de iluminação na bateria “Praça Santos Andrade” superam, em qualidade, as da bateria “Rua XV,1”. Já as outras três baterias poderiam ser consideradas equivalentes – sua diferença mantida dentro da margem de erro. Esta observação é sugestiva, contudo não conclusiva. Seria necessária a pesquisa sobre amostra maior da população, procurando explorar as situações de maior ofuscamento na Rua XV de Novembro.

Uma observação deve ser feita aos valores médios em torno de 8,5, superiores em um ponto ao valor 7,5 proposto por Hopkinson et al. (1966) para o nível de iluminação de 60 lux. Provavelmente, subestimou-se a unidade considerada para cálculo do menor detalhe visual, tomada como de 1/5 da altura da menor letra, gerando o critério de uma distância de 7,0 m entre o observador e a flâmula contendo o diagrama de Snellen. Entretanto, o mesmo critério foi utilizado para as quatro baterias de teste, portanto não invalida sua comparação relativa.

### **Considerações finais**

Avaliou-se sob três diferentes critérios – da eficiência energética, da comodidade e da acuidade visual – uma instalação de iluminação pública de uso generalizado na cidade de Curitiba e disseminado em várias cidades brasileiras. Mostrou-se a suscetibilidade do ambiente urbano não às exigências da sociedade contemporânea, mas ao arbítrio das administrações públicas municipais, neste caso manifesto na decisão por uma alegoria ao passado, que sobre-

pujou outros critérios, ao menos de funcionalidade e de comodidade.

O presente estudo não abrangeu um questionamento dos valores estéticos considerados nos produtos estudados. No entanto, pode-se observar que o projeto se mostra inconsistente ao combinar um desenho do final do século XIX com uma fonte de luz cem anos mais recente, demasiadamente forte para a geometria de lâmpada. O resultado é a opção pelo envoltório difusor em plástico, que, além de filtrar a luz, a espalha indiscriminadamente pelo espaço. Aqui cabe a observação de quanto um modismo – como o modismo das réplicas de lâmpadas republicanas – pode ser inadequado, criando conflitos técnicos e estéticos.

Por fim, resta apontar um desdobramento deste trabalho. É necessário, em questões do ambiente urbano, o estabelecimento de um nível mínimo de observação de diversos valores do *design* – funcionalidade, economia e forma. Esta o resultado de uma fundamentação de fato voltada à promoção da cidadania, superando a busca das alegorias relacionadas a grupos de poder. Trata-se, pois, da escolha de um bem público, e não parece demais sublinhar a importância de uma contabilidade mais criteriosa dos valores em jogo.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao Departamento de Iluminação Pública, da Secretaria Municipal de Obras Públicas do Município de Curitiba, pela receptividade à pesquisa, e à empresa Simelcast a cessão de uma luminária para estudos em laboratório.

## **REFERÊNCIAS**

AGRESTI, A.; FINLAY, B. *Statistical methods for the social sciences*. 3. ed. Londres: Prentice Hall, 1999.

HOPKINSON; LONGMORE; PETERBRIDGE. *Iluminação natural*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1966.

IESNA. *Illuminating engineering society of North America lighting reference handbook*. Washington: IESNA, 2000.

LOPES, S. B. *Eficiência energética em sistemas de ilumina-*

*ção pública*. São Paulo, 2002. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, IEE, 2002.

MOREIRA, V. A. *Iluminação e fotometria – teoria e aplicação*. 3. ed. rev. e amp. São Paulo: Edgard Blücher, 1987.

ODUM, E. P. *Ecologia*. Rio de Janeiro: Guanabara, 1988.

OLIVEIRA FILHO, J. C. Dissertação de mestrado em andamento, PPGMNE – UFPR. Curitiba: comunicação pessoal, 2005.

PHILIPS LIGHTING DIVISION. *Manual de iluminação*. Eindhoven, Holanda, 1986.

PILOTTO NETO, E. *Cor e iluminação nos ambientes de trabalho*. São Paulo: Ciência e Tecnologia, 1980.

SANTOS, N. P. *O direito de ver estrelas: a poluição luminosa sob a égide jurídica, urbanística e ambiental*. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE DIREITO AMBIENTAL, 9., 2005, São Paulo. *Anais...* São Paulo: Instituto “O Direito por um Planeta Verde”, 2005. p. 679-688.

SCHMID, A. L. *Iluminação pública eficiente: considerações conceituais*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA,

8., 1999, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Planejamento Energético (SBPE), 1999. v. 3.

SCHMID, A. L. Iluminação para a segurança pública. *Revista EC*, Curitiba, n. 66, p.20-25, 2002.

SECRETARIA MUNICIPAL DE OBRAS PÚBLICAS (SMOP). Comunicação pessoal. Curitiba: Prefeitura Municipal de Curitiba, 2005.

STIGLITZ, J. *Economics of the public sector*. Nova York: W.W. Norton & Co, 1988.