



Hoje, a iluminação nas cidades tem sido direcionada no sentido da valorização de seu patrimônio histórico e da criação de ambientes urbanos voltados ao bem estar do cidadão.

Pesquisas sugerem que alterando o espectro da luz, os níveis de iluminação podem ser reduzidos sem comprometimento da performance visual.

Visão Humana

Por Paulo Candura

ATÉ POUCO TEMPO, PENSÁVAMOS EM ILUMINAÇÃO pública como um modo de criar, no período noturno, as condições necessárias para a visão do motorista. Aspectos importantes na iluminação das cidades não eram considerados e, assim, diversos detalhes e interações que compõem o cenário urbano eram ocultados.

A sua crescente associação com o sentimento de segurança vem obrigando a prover as ruas e logradouros públicos de mais iluminação. Hoje, embora em pequeno número, verificamos que a iluminação nas cidades também tem sido direcionada no sentido da valorização do seu patrimônio histórico e da criação de ambientes urbanos voltados ao bem estar dos cidadãos. Contudo, os projetos de iluminação, assim como os planos de eficiência em iluminação pública vêm sendo elaborados apenas sob a ótica dos índices luminotécnicos a serem respeitados, da eficiência energética e da eficiência luminosa (lúmen/watt). "Padronizou-se", ampla, geral e irrestritamente, a utilização da lâmpada de vapor de sódio alta pressão, fonte de luz monocromática de cor amarelada, que sem nenhuma dúvida é a que apresenta a melhor relação

Vapores metálicos x Vapor de sódio

eficiência luminosa (lm/W).

Mas, como se comporta a visão humana neste cenário monocromático?

Em termos de visibilidade, é a lâmpada de sódio a mais eficiente?

O olho humano e a curva $V(\lambda)$

O olho é um sistema de percepção de luz formado por um agente fotoreceptor (retina) e um obturador (pupila). A retina é composta de dois tipos de fotoreceptores: cones e bastonetes.

Os cones localizam-se na região central do campo visual, estão associados com a visão diurna, colorida, e com a percepção dos detalhes finos, enquanto os bastonetes localizam-se na periferia do campo de visual e estão associados à visão noturna. Podemos dizer que os cones são ativos em níveis de alta luminosidade e os bastonetes ativos em baixa luminosidade, ou seja, cones e bastonetes possuem respostas ou sensibilidades espectrais diferentes, definidas, respectivamente, como visão fotópica e visão escotópica. Os

cones são mais receptivos a luz verde no comprimento de onda de 508 nanômetros, enquanto os bastonetes são mais receptivos a luz azul-verde em 555 nanômetros. Podemos também definir, em função dos níveis de luminosidade intermediários, a visão mesópica.

O padrão de visão humano foi definido através de experiências realizadas na década de 20. Estas experiências determinaram a sensibilidade espectral à luz do sistema visual humano, definindo a curva $V(\lambda)$, que representa a resposta espectral de uma pessoa sob condições fotópicas. Na **figura 1** estão representadas as curvas de sensibilidade espectral relativa do olho humano.

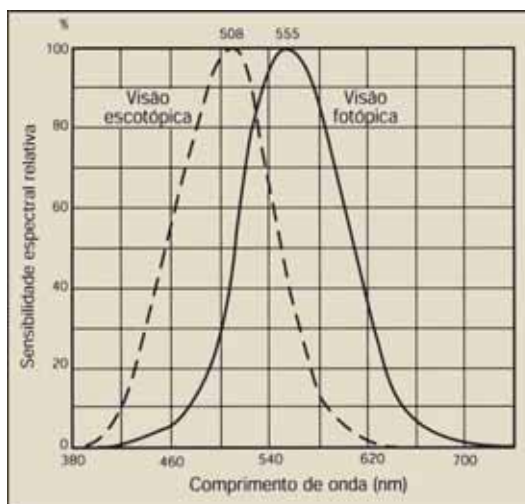


Figura 1: curvas de sensibilidade espectral relativa do olho humano.

Determinação dos lúmens das lâmpadas e lúmens eficientes

Os equipamentos fotométricos e os medidores de luz são geralmente calibrados conforme a sensibilidade espectral dos cones, ou seja, na visão fotópica. Assim, o fluxo luminoso das lâmpadas, os lúmens, são avaliados somente em termos da sua resposta fotópica.

A determinação dos lúmens das lâmpadas é realizada em função da potência espectral da lâmpada e da resposta visual do olho humano (curva $V(\lambda)$), ou seja, é a somatória, no espectro visível, das multiplicações das potências da luz em cada comprimento de onda λ pelo valor de $V(\lambda)$ ou sensibilidade do olho no comprimento de onda equivalente, dado pela fórmula abaixo:

$$\text{Lúmen da Lâmpada} = K \sum \text{Potência da luz } (\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot \Delta\lambda ,$$

na qual K é uma constante.

Portanto, a eficiência das fontes de luz está baseada sobre o lúmen fotópico.

Alteradas as condições de visão, a curva $V(\lambda)$ não é mais aplicável, e a figura do lúmen da lâmpada não dará uma indicação exata da soma de luz eficiente produzida.

Introduzimos, então, um novo termo - Lúmens Eficientes - para definir a saída modificada do lúmen de uma lâmpada. Este novo termo leva em consideração a mudança da sensibilidade visual em níveis mais baixos de luz. Assim, para acharmos os lúmens eficientes de uma fonte de luz

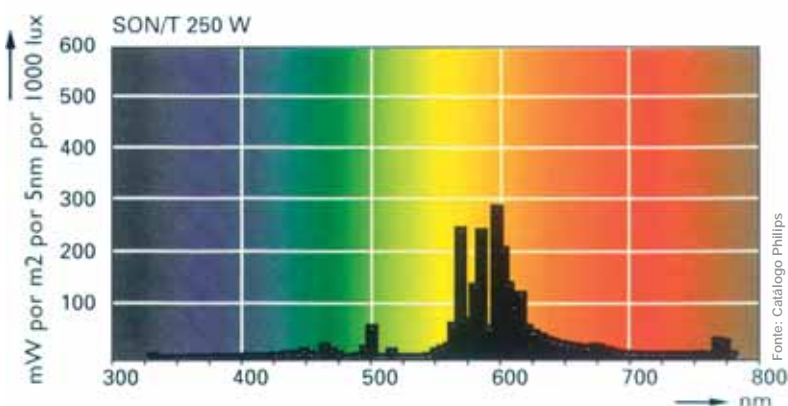
qualquer a níveis escotópicos, basta substituímos os valores de $V(\lambda)$ pelos valores da sensibilidade escotópica do olho (curva $V'(\lambda)$).

As fontes de luz

Como vimos anteriormente, o valor verdadeiro dos lúmens variam em função do espectro da fonte de luz e a resposta visual do olho. Descreveremos, a seguir, como se comportam duas das mais eficientes (lm/W) fontes de luz: a lâmpada de vapor de sódio a alta pressão - "luz amarela" - e a lâmpada de vapores metálicos - "luz branca".

A **figura 2** mostra uma distribuição espectral de uma lâmpada de sódio a alta pressão. A razão para a grande saída de lúmen da lâmpada é facilmente percebida. A máxima saída de energia se localiza na região amarelada, que tem muita influência sobre o olho. Como o lúmen é definido em função da quantidade de luz que o olho percebe sob condições fotópicas, as lâmpadas de sódio alta pressão têm mais lúmens. Isto não se

Figura 2: distribuição espectral de lâmpada de sódio a alta pressão.



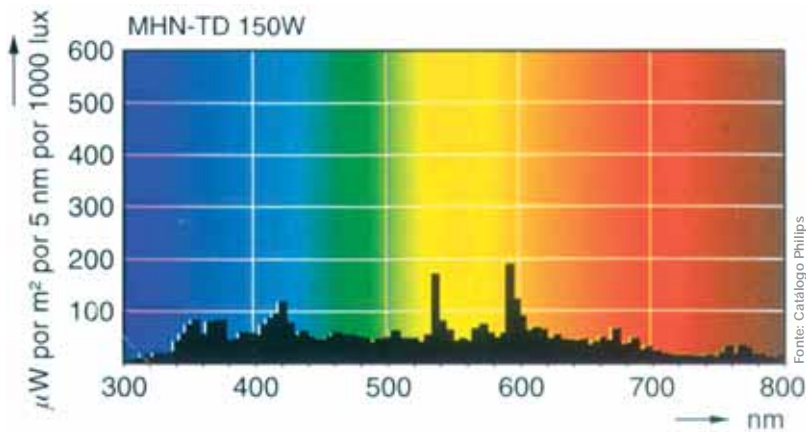


Figura 3: distribuição espectral de lâmpada de vapor metálico.

deve ao fato da lâmpada produzir grande quantidade de lúmens, mas porque o seu pico de energia está muito próximo da maior sensibilidade fotópica do olho.

Percebe-se também que nos comprimentos de onda menores que a do pico há pouca saída de energia. Então, os lúmens eficientes para condições escotópicas são razoavelmente reduzidos. A lâmpada de sódio produz pouca luz azul e verde e assim sua eficiência sob iluminação com baixos níveis é consideravelmente reduzida.

Para as lâmpadas vapor de sódio de baixa pressão estes efeitos são mais acentuados. Praticamente todas as saídas de energia localizam-se na região amarela, proporcionando uma grande saída de lúmens. Sob visão escotópica, não há quase energia saindo nos comprimentos de onda de sensibilidade do olho. A eficiência das lâmpadas de sódio de baixa pressão é reduzida drasticamente sob baixos níveis de luminosidade.

A **figura 3** mostra uma distribuição de uma lâmpada vapor metálico. Para esta lâmpada existe uma considerável saída de energia praticamente em todos os comprimentos de onda, com picos nas regiões azul, azul-verde e amarela.

Quando a saída de energia é multiplicada pela curva de sensibilidade fotópica, temos como resultado uma grande saída de lúmen. Para as condições escotópicas, os picos de energia da

lâmpada estão na região de alta sensibilidade do olho, principalmente, as regiões azul e azul-verde. O resultado é que os lúmens eficientes aumentam para a lâmpada de vapores metálicos a medida que o nível de luz é reduzido e quando o olho passa por um pico de sensibilidade na região do verde e do azul.

Em termos práticos, podemos dizer, sob condições de visão fotópica, que as lâmpadas de vapor metálico são aproximadamente 16% menos eficientes que as lâmpadas de vapor de sódio a alta pressão, ou que a lâmpada de vapores metálicos produz aproximadamente 16% menos lúmen/watt do que a vapor de sódio, ou ainda, que é necessário uma demanda de energia 19% maior de uma lâmpada de vapores metálicos do que uma lâmpada de sódio de alta pressão para produzir o mesmo efeito visual.

Já em termos de visão escotópica, a lâmpada de vapores metálicos é cerca de 125% mais eficiente que uma lâmpada vapor de sódio a alta pressão produzindo o mesmo efeito visual. A **tabela 1** compara algumas fontes de luz comuns em termos de suas eficiências fotópicas e escotópicas.

A iluminação noturna

Técnica ou economicamente é impossível a produção de uma iluminação noturna que se iguale à luz do dia. A iluminação noturna é considerada, em relação a iluminação durante o dia e a de interiores, como sendo de baixo nível de luminosidade.

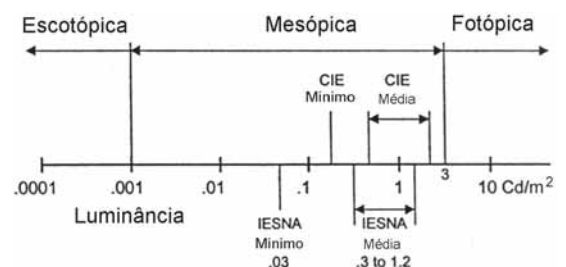
Em primeiro lugar, vamos estabelecer os níveis de luminosidade para as diferentes visões, situando a região em que está inserida a iluminação pública. A **figura 4** indica esses valores.

Tabela 1: eficiências luminosas fotópicas e escotópicas (lm/W) para várias fontes de luz.

FONTE DE LUZ	FOTÓPICA (lm/W)	ESCOTÓPICA (lm/W)
Incandescente	14,7 (1,00)*	20,3 (1,00)*
Vapor de Sódio Alta Pressão	127,0 (8,64)*	80,6 (3,97)*
Vapor Metálico	107,0 (7,28)*	181,0 (8,92)*
Fluorescente	54,5 (3,71)*	108,0 (5,34)*

* - eficiência em relação às lâmpadas incandescentes

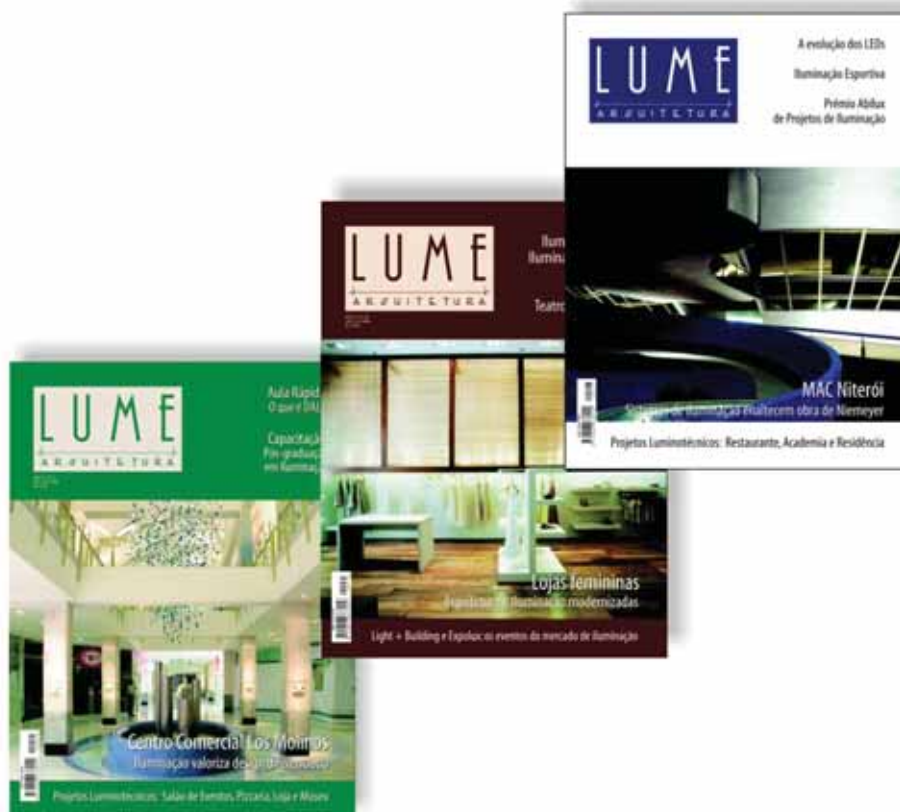
Figura 4: Faixa das visões fotópica, mesópica e escotópica.



Anuncie

Lume Arquitetura. Os melhores clientes são os que têm acesso à melhor informação.

Um profissional bem informado reconhece o que é tradição, sem ter medo do novo. Conhecimento é poder. Por isso, Lume Arquitetura é lida pelos melhores profissionais do mercado. São arquitetos, lighting designers, engenheiros, pessoas interessadas em conhecer o produto ou serviço que você tem a oferecer. Anuncie em Lume Arquitetura e ganhe visibilidade na melhor revista do segmento de iluminação.



Publicidade Lume Arquitetura

(11) 3801 3497

publicidade@lumearquitetura.com.br

ou no nosso site: www.lumearquitetura.com.br

LUME
ARQUITETURA

A melhor informação sobre iluminação

As normas de iluminação estabelecem, de acordo com o tipo de via, valores mínimos de luminância em patamares iguais a 0,5; 0,75; 1; 1,5; e 2 cd/m² (candela por metro quadrado). Portanto, na iluminação pública estamos em condição de visão mesópica.

Várias pesquisas têm sido realizadas nas condições de sensibilidade da visão mesópica. A mais significativa consistiu em medir o tempo de reação das pessoas na identificação das características de diferentes objetos, sob diferentes fontes de luz, e em diferentes níveis de luminosidade. Os resultados estão indicados na **figura 5**.

Para os níveis de luminosidade iguais a 3cd/m², não notamos diferença de reação com fontes de luz diferentes, mas em níveis iguais a 1cd/m² e 0,1cd/m², valores que retratam a maioria das vias

Tabela 2: utilização do índice multiplicador

FONTE DE LUZ	Multiplicador (1,0 cd/m²)	Multiplicador (0,1 cd/m²)
Vapor Metálico	1,0	1,0
Incandescente	1,5	2,9
Mercúrio	2,4	4,4
Vapor Sódio Alta Pressão	3,9	7,8
Vapor Sódio Baixa Pressão	4,8	14,6

e logradouros a serem iluminados, as diferenças de reação são significativas e favoráveis a lâmpada de vapor metálico em relação ao vapor de sódio.

Desta experiência também foi calculado um índice multiplicador que relaciona a proporção entre fluxos luminosos de diferentes fontes de luz, em função da luminosidade necessária para um mesmo tempo de reação das pessoas.

Assim, para um mesmo tempo de reação de uma pessoa, para cada lúmen de uma lâmpada de vapor metálico serão necessários 3,9 lúmens de uma lâmpada vapor de sódio alta pressão, numa luminosidade de 1,0cd/m².

Conclusão

As fontes de luz podem ser comparadas se usamos vários critérios como preço, vida, reprodução de cores, distribuição da luz e temperatura de cor. Um critério muito importante é a eficiência Lúmen/Watt, ou quanta luz é emitida por unidade de potência elétrica. E este critério tem balizado os planos de efficientização em iluminação pública.

Porém, as recentes pesquisas indicam que a distribuição espectral da fonte de luz tem efeito na visibilidade que ela produz e, em termos de visão mesópica, onde está situada a iluminação pública, estas pesquisas têm apontado resultados similares: as fontes de luz brancas são mais eficientes que as amareladas. Através da utilização do índice multiplicador, para uma mesma visibilidade, um sistema de iluminação com lâmpadas de vapores metálicos de 150 W será equivalente a um sistema de vapor de sódio de 400 W.

Assim, estas pesquisas sugerem que alterando o espectro da luz, os níveis de iluminação podem ser reduzidos sem comprometimento da performance visual. Caso num futuro próximo, com novas pesquisas isto venha a ser confirmado, significará um grande passo no campo da economia de energia. ◀

Paulo Candura é engenheiro mecânico , formado pela Escola Politécnica da USP em 1984. É coordenador da comissão de estudos do COBEI, encarregada de elaborar a revisão da Norma ABNT 5101 - Iluminação Pública - Procedimentos e Norma ABNT 5181 - Iluminação de Túneis. É membro do IESNA e atua como consultor luminotécnico na área de Iluminação Pública

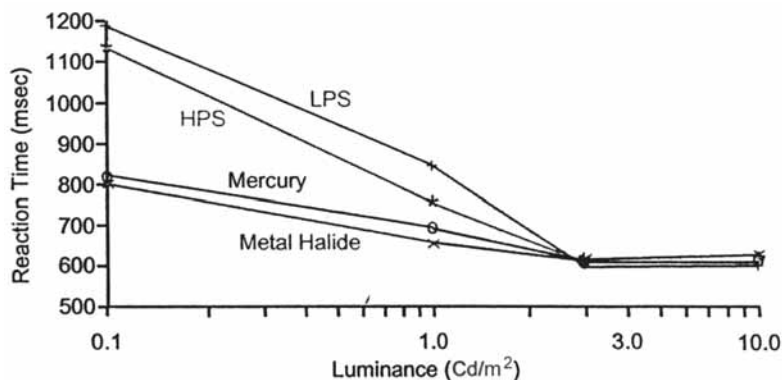


Figura 5: tempo de reação das pessoas na identificação das características de diferentes objetos, sob diferentes fontes de luz, e em diferentes níveis de luminosidade