



# A luz além da visão

Por Betina Tschiedel Martau

## Iluminação e sua influência na saúde e bem-estar

**O CONHECIMENTO SOBRE AS RELAÇÕES ENTRE ILUMINAÇÃO,** homem e arquitetura pode ser sintetizado através de várias abordagens ao tema. Em relação ao desempenho humano, há três rotas principais de análise: através do sistema visual, do perceptivo e do circadiano. Os dois primeiros têm um conhecimento consolidado que demonstra como iluminar para obter conforto visual e estimular a percepção. No entanto, os estudos sobre as relações entre iluminação e o chamado sistema circadiano humano, ou ritmos diários de 24 horas, ainda são incipientes.

A exposição à luz pode ter tanto impactos positivos como negativos na saúde humana, que podem ficar evidentes logo após a exposição ou apenas depois de muitos anos. Compreender como a luz influencia o corpo humano, para o lighting

designer, é também entender como iluminação afeta os usuários dos edifícios.

Como resultado das modificações dos hábitos humanos de trabalho e descanso, que leva ao uso prolongado da iluminação artificial, aumentando o período do dia ou da fase claro, ou a permanência em espaços com baixos níveis de iluminação, os indivíduos estão sofrendo alterações na sua saúde (MARTAU, 2009).

Apesar de décadas de pesquisa, foi apenas a partir de 2002 que David Berson (BERSON, DUNN, MOTAHARU, 2002), detectou a relação da luz com um terceiro tipo de fotorreceptor na retina dos mamíferos, sendo o elo que faltava para descrever o mecanismo dos efeitos biológicos controlados pelo ciclo claro e escuro (Figura 1).

## Com funciona o terceiro fotorreceptor

Esse receptor recém-descoberto é responsável pela forma com que o olho recebe a luz e a converte em um sinal elétrico, para, então, ser interpretado no cérebro. Esse receptor não está relacionado com a visão, mas, juntando-se a outro fotorreceptor, chamado melaptosin, e através de um processo bioquímico, ele controla a glândula pineal (localizada no cérebro) para produzir um importante hormônio chamado melatonina, que controla muitas funções biológicas. O sistema circadiano, que regula as funções corporais, baseia-se nos sinais enviados por esse receptor.

Essa descoberta revolucionou as pesquisas que exploravam o espectro, a intensidade, a duração e o tipo de luz que influencia as respostas biológicas (EDELSTEIN et al., 2008). Consequentemente, a atual prática da iluminação e a legislação sobre iluminação artificial, baseadas apenas em atender apenas aos requisitos visuais, podem estar totalmente inadequadas para atender aos requisitos de estimulação biológica (BEGEMANN, VAN DER BELD e TENNER, 1997).

Pesquisas empíricas na área da Cronobiologia (SHANNAN e CZEISLER, 2000) demonstram a influência da luz no comportamento e nas respostas fisiológicas das pessoas, e são baseadas principalmente na iluminância na retina (ARIES et al., 2002 e ZONNEVELDT e ARIES, 2002) e não mais em medições da iluminação no ambiente.

## Como são regulados os ritmos circadianos

Os ritmos circadianos podem ser regulados por uma variedade de indicadores externos, mas a luz (ciclo claro/escuro) é a variável primária e mais importante na sincronização (ou dessincronização) dos humanos aos ritmos diurnos ou noturnos (GRONFIER et al., 2007).

O ritmo de atividade e repouso, de temperatura corporal e níveis hormonais (melatonina e cortisol) são exemplos de ritmos biológicos no corpo que podem ser facilmente medidos e que estão associados à iluminação (MARTAU, 2009).

Segundo Kaplan, Sadock e Grebb (1997), quando uma pessoa se encontra num estado saudável todos os seus ritmos têm uma relação natural, então, dizemos que ele está em

fase. O fato de um indivíduo estar com os ritmos biológicos fora de fase contribui para os efeitos nocivos experimentados por ele.

## A luz e a supressão do hormônio melatonina

As mulheres que trabalham à noite têm sido objeto de estudo das pesquisas sobre melatonina, um hormônio sensível à luz (HARDER, 2006 e BLASK et al., 2005). Estas têm como hipótese principal que a iluminação artificial noturna, por interromper a produção do hormônio, que é protetor natural contra o desenvolvimento de tumores, pode aumentar o risco de câncer de mama (STEVENS et al., 1996, LIU et al., 2005; SCHERNHAMMER et al., 2004 e SCHEER e BUJIS, 1999, O'Leary et al., 2006).

A explicação é que a luz pode suprimir a elevação noturna normal da melatonina (STEVENS, 1987 e STEVENS e REA, 2001), o que faria com que níveis de estrogênio circulando se elevassem (COHEN, LIPPMAN e CHABNER, 1978) ou que fosse inibido o mecanismo antiproliferativo de tumor (STEVENS, 1987 e STEVENS e REA, 2001).

As condições de iluminação determinantes na regulação do relógio biológico estão associadas ao espectro, intensidade e duração (período e padrão temporal) da luz (BRANARD et al., 2000; CAJOCHEN et al., 2005 e ZEITZER et al., 2000). A aparência de cor, possibilidade de controle do sistema e a presença ou não de janelas (iluminação natural), bem como os tipos de lâmpadas, também podem influenciar tanto os aspectos fisiológicos como os comportamentais (EDWARDS e TORCELLINI, 2002; VAN BOMMEL, 2004 e TONELLO, 2008).

## Espectro da luz

Segundo Edwards e Torcellini (2002), diferentes comprimentos de onda (ou distribuição espectral) têm distintos efeitos no corpo humano. A maior parte das fontes artificiais carece da distribuição espectral para completar as funções biológicas (WUNSCH, 2007). Isso faz com que os humanos prefiram ambientes iluminados naturalmente (LIBERMAN, 1991) porque a luz solar consiste num equilibrado espectro de cores, com seu pico de energia na porção azul e verde do

Fonte: Adaptado de BRANARD e PROVENCO, 2006



Figura 1: Diagrama simplificado da neuroanatomia responsável pela mediação da capacidade sensorial do sistema visual, da regulação circadiana não-visual, das funções neuroendócrinas e das funções neurocomportamentais.

Figura 2: Efeitos da luz natural e da artificial sobre o sistema nervoso central e sobre a pele e as substâncias por ela controladas.

Luz natural do sol (5700K)				Luz artificial (5700K)			
Local do efeito	ACTH	Esteróides	Vitamina D	Local do efeito	ACTH	Esteróides	Vitamina D
Sistema nervoso central	↑	↑	◇	Sistema nervoso central	↑	◇	◇
Pele	↓	↓	↑	Pele	◇	◇	◇

**ACTH = hormônio adrenocorticotrófico - Coquetel de hormônio do estresse**

Fonte: Adaptado de WUNSCH, 2007

espectro visível. Diversos estudos (GLIGOR et al., 2006 e REA et al., 2006a e 2006b) abordam a influência do espectro da luz no sistema circadiano para que os novos tratamentos, além de medicamentos, possam incluir a prescrição de modificações no ambiente luminoso pessoal (HARDER, 2006 e 2005).

Há evidências de que as luzes brancas ou azuis suprimem mais a produção de melatonina do que a vermelha ou amarela. Segundo Ancoli-Israel et al. (2003), a luz branca brilhante tem demonstrado ser efetiva na regulação do humor, do sono e do ritmo de atividade.

A escala do espectro que influencia os múltiplos sistemas circadianos ainda precisa ser explorada. A complexidade ocorre porque no momento que uma fonte de luz é apresentada junto com outra surgem os efeitos de interação dos espectros ainda desconhecidos.

Groot e Knop (2006) ao estudarem o efeito da iluminação nas pessoas concluíram que não havia redução do desempenho dos trabalhadores durante a noite quando se utilizava luz com baixo componente de azul, ao invés de luz branca. Como essa luz tinha deficiência de azul, a produção de melatonina não era suprimida, o que acontecia com a luz branca sob a mesma iluminância.

### Fontes de luz natural e artificial

A qualidade da luz recebida é diferente entre a fonte natural e a artificial. Os comprimentos de onda atingem o olho e diferentes profundidades na pele, onde desencadeiam reações fisiológicas de produção de substâncias que organizam o equilíbrio metabólico.

A luz natural, pela sua concentração de azul, produz no organismo, através do sistema nervoso central, o hormônio adrenocorticotrófico (ACTH) e esteróides, e, pela pele, elementos que neutralizam essas substâncias e equilibram o corpo (como a vitamina D).

A luz artificial não tem características capazes de produzir, através da pele, as substâncias que neutralizam o coquetel

de hormônios estressores, que se acumulam e podem causar efeitos nocivos à saúde (Figura 2).

### Diferenças entre luz natural e artificial na fisiologia humana

Com relação ao espectro dos tipos de lâmpadas, as que carecem da porção azul do espectro, que é a parte mais importante para os humanos e melhor oferecida pela luz natural (LIBERMAN, 1991), são as menos eficientes para estimulação do sistema circadiano. As lâmpadas de espectro completo são as mais semelhantes ao espectro da luz natural, e seu efeito tem sido objeto de estudo (VEITCH, 1993).

Como apresentado na figura 3, a lâmpada incandescente é a única que não apresenta maiores interferências no sistema circadiano. A comunidade internacional envolvida com a iluminação tem se manifestado publicamente (GILADI, 2008) contra as políticas de banir a produção das fontes incandescentes adotadas por alguns países, como a Austrália.

Ao abordar a questão da iluminação apenas sob a ótica da eficiência energética, a legislação da iluminação pode incorrer em graves erros por ignorar os efeitos em longo prazo muitas vezes ainda desconhecidos na saúde das pessoas, das fontes de luz mais eficientes, como as fluorescentes compactas ou LED branco. Segundo Giladi (2008), a utilização da lâmpada incandescente pode acabar restrita a prescrições médicas, por sua qualidade terapêutica.

### Temperatura de cor correlata

A temperatura de cor correlata (ou aparência da cor) das diferentes fontes de luz também afeta a estimulação circadiana e a supressão da melatonina em seres humanos (REA et al., 2006; WUNSCH, 2007 e POHL, 2006). Temperaturas de cor mais baixas são menos supressoras da melatonina que as altas, isto é, têm menores efeitos cronobiológicos, conforme mostram as figuras 3 e 4. Segundo Rea et al. (2006a), o que parece claro no momento é que a temperatura de cor

Figura 3: Propriedades das fontes de luz (temperatura de cor correlata e temperatura em Celsius) e a intensidade de seu efeito cronobiológico.

Propriedades das fontes artificiais de iluminação e seu efeito cronobiológico			
Fonte de luz	Temperatura de cor em Kelvin	Temperatura verdadeira em Celsius	Efeito cronobiológico
LED vermelho	1000	< 100	- - -
LED laranja	1500	< 100	- -
LED amarelo	2000	< 100	-
Vela	1500	1230	-
Lâmpada incandescente	2000 - 2600	1730 - 2330	0
Lâmpada halógena	2600 - 3300	2330 - 3030	+
Lâmpada fluorescente	2700 - 4000	< 100	++
Lâmpada de full spectrum	4000 - 6000	< 100	+++
LED branco	-	< 100	++++
LED azul	-	< 100	+++++

Fonte: Adaptado de WUNSCH, 2007

não pode ser considerada uma medida métrica simples para caracterizar a eficiência das diferentes fontes de luz para estimular o sistema circadiano, pois a relação entre a supressão da melatonina e temperatura de cor não é linear.

Outro estudo (GEERDINCK e SCHLANGEN, 2006) comprovou que a temperatura de cor mais elevada estimula a atividade mental, assim como o sistema nervoso simpático e parassimpático. A sonolência tende a ser mais observada sob a condição de iluminação a 3000K se comparada a 5000K, e a indústria já busca o desenvolvimento de fontes com alta temperatura de cor, sendo que as fontes altamente estimulantes da atividade mental devem ser recebidas com cuidado, uma vez que também podem ser extremamente supressoras da melatonina.

### Intensidade e duração

Os primeiros estudos conhecidos (COLE et al., 1995 e ESPIRITU KRIPKE, ANCOLI-ISRAEL, 1994) sobre a intensidade da luz e ritmos circadianos concluíram que uma iluminação superior a 1000 lux era necessária para a estimulação circadiana. Segundo Dumont e Beaulieu (2006) e Tenner (2003), hoje se sabe que a exposição a níveis mais baixos de iluminação, como aqueles encontrados usualmente na iluminação interna (raramente superior a 500 lux), já tem um efeito no relógio biológico, mas não está definido se ele é significativo ou suficiente.

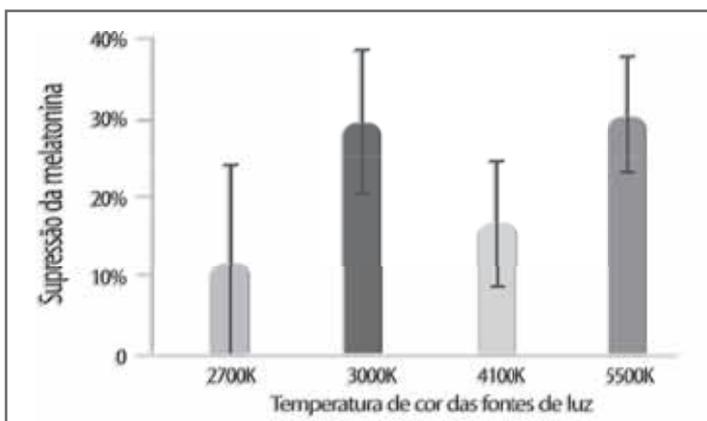
Segundo Ruger et al. (2006), a luz mais intensa pode influenciar a psicofisiologia instantaneamente ao induzir o sistema endócrino (supressão da melatonina e elevação dos níveis de cortisol), provocar outras mudanças fisiológicas (como a elevação da temperatura corporal, por exemplo) e modificar variáveis psicológicas (redução da sonolência, aumento da atenção). Essa abrangência de influências da luz faz com que ela se reflita em muitos campos de aplicação, desde a otimização do ambiente de trabalho até o tratamento

de pacientes deprimidos. A distribuição espacial da iluminação também é importante do ponto de vista da saúde, porque a incidência da luz sobre a parte superior ou inferior da retina tem importância diferente no efeito biológico medido (ARIES et al., 2002 e GLICKMAN et al., 2003). Diferentes iluminâncias podem suprimir a melatonina em quantidades variadas. Rea et al. (2006b) demonstraram que a 600 lux a supressão foi muito maior que a 300 lux.

Várias pesquisas (CROWLEY et al., 2003; DAURAT et al., 1993; PHIPPS-NELSON et al., 2003 e RUGER et al., 2003) indicam que uma variação nas respostas da luz intensa pode estar associada ao período do dia, e o estudo de Ruger et al. (2006) demonstrou este mecanismo: exposição à luz intensa à noite, mas não ao longo do dia, aumentava a capacidade cardíaca e a temperatura corporal.

Rea, Figueiro e Bullough (2002) estabeleceram as principais características da iluminação e sua influência na função circadiana, em trabalhadores noturnos e diurnos, sintetizadas na figura 5.

Com relação à intensidade de luz diária necessária para o funcionamento do sistema circadiano, denominada luz circadiana, ainda não é possível estabelecer padrões específicos. Pessoas que trabalham em ambientes pouco iluminados têm



Fonte: Adaptado de Figueiro, 2006

Figura 4: Média da supressão da melatonina (em %) para diferentes temperaturas de cor (em K).

Figura 5: Referencial conceitual considerando as principais características da iluminação para pesquisa e implementação em espaços arquitetônicos considerando a influência nas funções visuais e circadianas, para trabalhadores diurnos e noturnos.

Condições de iluminação e influência circadiana			
Características da iluminação	Aplicada à visão	Circadiana trabalhadores diurnos	Circadiana trabalhadores noturnos
<b>Quantidade</b>	Baixa (300-500 lux na tarefa) e menos de 100 lux no olho	Alta (aproximadamente 1000lux no olho)	Alta (aproximadamente 1000lux no olho)
<b>Espectro</b>	Fotópico (pico de sensibilidade 555nm)	Comprimentos de ondas curtas (pico de sensibilidade a 420-480nm)	Comprimentos de ondas curtas (pico de sensibilidade a 420-480nm)
<b>Distribuição espacial</b>	Importante iluminância na tarefa, contraste e tamanho determinam a visibilidade	Independente da distribuição (iluminância no olho)	Independente da distribuição (iluminância no olho)
<b>Tempo</b>	Qualquer horário	* Na manhã "subjativa" (após o acordar)	* Periodicamente ao longo do turno de trabalho
<b>Duração</b>	Muito curta (menos de 1s)	* Longa (de 1 a 2 horas)	* Curta (pulsos de 15min.)
Nos aspectos marcados com * ainda não há confirmação destas diretrizes e novas pesquisas deverão corroborar os resultados até então existentes.			

Fonte: Adaptado de REA, FIGUERO e BULLOUGH, 2002

reportado uma série de queixas não específicas como cansaço, distúrbios do humor e falta de concentração (DUMONT e BEAULIEU, 2006), que já recebe o nome de "Síndrome da iluminação doente" (BEGEMANN, VAN DER BELD e TENNER, 1997).

### Intensidades variadas

A variabilidade da intensidade da iluminação também é importante, pois isso ocorre na condição natural e ideal constantemente ao longo do dia. O sistema circadiano é sensível às mudanças na luminância do ambiente o que significa que um dado sinal é interpretado no contexto de outras exposições ao claro/escuro dentro das 24 horas do dia, e os seus efeitos no sistema circadiano dependem do resultado da interpretação global (DUMONT e BEAULIEU, 2006).

Aspectos como o contraste entre as partes mais claras e escuras do dia também parecem ter um impacto significativo na estimulação circadiana. Há evidências de que a sensibilidade à luz do sistema circadiano pode ser regulada pelas iluminâncias aos quais os indivíduos estão cronicamente expostos, a chamada história da luz pessoal.

### Contato visual com exterior e iluminação natural

A luz natural é um importante fator para se obter um sistema de iluminação saudável, porque a falta de conexão entre a dinâmica do ciclo diário de claro e escuro e as modificações de temperatura e estações do ano ao mundo natural é contrário à experiência normal do ser humano.

William Lam (LAM, 1977) foi um dos pioneiros a definir o contato visual com o exterior como uma necessidade biológica de informação visual. Ao ser privado desse contato, o ser humano estaria em desconforto.

Estudos como os de Farley e Veitch (2001) concluíram que visuais do exterior podem aumentar o trabalho e o bem-estar de inúmeros modos, incluindo satisfação com a vida, assim como problemas de desorientação e influência na função

cognitiva acontecem na ausência de padrões de luz natural. O estudo de Martau (2009) demonstrou que funcionárias de lojas em shopping centers, privadas de contato visual com exterior, tinham maiores índices de estresse, depressão e ansiedade que trabalhadoras de lojas de rua.

### Conclusões

O desafio atual para os luminotécnicos é definir de que maneira a luz afeta os indivíduos, não mais apenas em aspectos relacionadas à visão, mas no que diz respeito aos processos metabólicos, porque é inegável que os ritmos biológicos são essencialmente controlados pelas qualidades dinâmicas e pelo ritmo da iluminação, e que qualquer desvio deste ritmo pode influenciar consideravelmente a saúde e bem-estar dos seres humanos.

Assim, o projeto precisa ser entendido como uma área de conhecimento interdisciplinar com o objetivo de desenvolver e aplicar as informações sobre comportamento e fisiologia humanos em relação à luz. Muitas escolas de Arquitetura em outros países já incorporam disciplinas antes restritas às áreas da Medicina.

É preciso estudar como iluminar as atividades humanas correlacionadas com as respostas do corpo e da mente, e não mais apenas com questões visuais, estéticas ou energéticas. Será preciso reorganizar as diretrizes e legislações de projetos de modo que a fisiologia humana não seja afetada negativamente pelo ambiente luminoso e que o ambiente visual permita e estimule melhores condições de saúde e bem-estar às pessoas. ◀

*Betina Tschiedel Martau*

*é arquiteta, mestre em Arquitetura e doutora em Engenharia Civil. Possui escritório especializado em arquitetura e luminotécnica desde 1993, e, atualmente, é pesquisadora convidada do grupo de Cronobiologia do Hospital de Clínicas de Porto Alegre e professora da Universidade do Vale do Rio dos Sinos, em São Leopoldo (RS).*



Nota do editor: a bibliografia completa deste artigo pode ser solicitada à editora pelo e-mail: redacao@lumearquitetura.com.br.