

Efeitos da luz na saúde humana

Por Ruy Soares

Introdução

Mais de um século após a invenção da lâmpada elétrica, nossa sociedade passou por diversas transformações decorrentes da possibilidade crescente de serem desempenhadas, à noite, atividades anteriormente limitadas pela deficiência de luz após o pôr-do-sol. O aperfeiçoamento dos sistemas de iluminação artificial fez com que as pessoas cada vez mais estendessem à noite suas atividades sociais, de trabalho e de lazer, alterando seu “relógio biológico” interno, que regula vários mecanismos do organismo, com consequentes reflexos na saúde. Este trabalho apresenta o sistema não visual, cujo impacto na fisiologia, no metabolismo e no comportamento humano passou a ser estudado a partir da descoberta de uma nova classe de fotorreceptores presentes na retina.

1. Luz e Visão

Durante mais de 150 anos, a comunidade científica e acadêmica envolvida em pesquisas sobre luz e visão tem estudado o modo como captamos e percebemos luz monocromática ou policromática que incide na retina até a formação de imagens pelo cérebro. O sistema visual é composto pelo olho, com vários componentes destinados à captação de imagens, e por um complexo sistema que processa estas imagens e as interpreta no cérebro.

1.1 Ação dos fotorreceptores para o sistema visual

A fotorrecepção para o sistema visual ocorre por meio de duas classes de fotorreceptores presentes na retina: os cones, responsáveis pela visão diurna, e os bastonetes, responsáveis pela visão noturna.

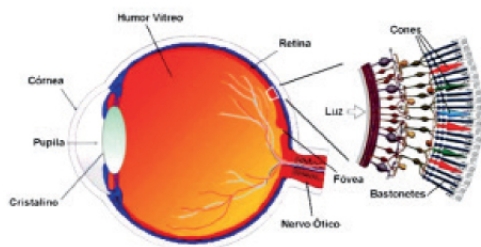


Figura 1 – Olho humano. Fonte: modificado de <http://webvision.med.utah.edu/book/part-i-foundations/introduction>

Ao incidir na córnea, a luz percorre uma “verdadeira selva” (Figura 1) até atingir a retina, passando pela pupila, que se contrai ou se relaxa para controlar a quantidade de luz que chegará ao cristalino. Este, por sua vez, controla o foco da imagem de acordo com a distância dos objetos. A luz então passa por um material gelatinoso, o humor vítreo, e finalmente incide na retina onde é captada pelos fotorreceptores, que a converte em sinais elétricos que são enviados pelo nervo óptico para o córtex visual do cérebro por uma via denominada “Trato Ótico Primário” (Figura 2).

A retina possui cerca de cinco milhões de cones e cerca de 110 milhões de bastonetes. Os cones são capazes de distinguir cores e se localizam com maior concentração na fóvea e em seu entorno, e em muito pequena quantidade distribuída no restante da retina.

Já os bastonetes, incapazes de discriminar cores, não aparecem

na região da fóvea¹, concentrando-se lateralmente a 20 graus dela e se espalhando em menor quantidade por toda a periferia da retina.

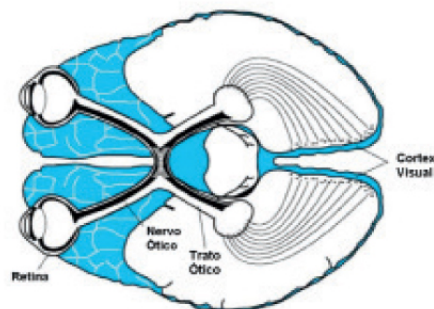


Figura 2 – Diagrama simplificado do trato ótico primário. Fonte: Adaptado de IESNA, 2008

1.2 Sensibilidade espectral do sistema visual

Embora os bastonetes sejam numericamente muito mais expressivos que os cones, estes últimos são capazes de discriminar cores além de, por se localizarem na fóvea (onde a luz não necessita atravessar axônios para chegar aos fotorreceptores), conseguirem perceber detalhes e outras características mais específicas das imagens. A capacidade de distinguir cores se dá pelo fato de haver três tipos de cones, cada um sensível a comprimentos de onda diferentes.

Temos então quatro tipos de fotorreceptores para o sistema visual, cada um com sua curva de sensibilidade espectral específica:

- Cones S – sensíveis a comprimentos de onda curtos, com pico de sensibilidade em 450nm, que corresponde à cor azul (Figura 4);
- Cones M – sensíveis a comprimentos de onda médios, com pico de sensibilidade em 525nm, que corresponde à cor verde (Figura 4);
- Cones L – sensíveis a comprimentos de onda longos, com pico de sensibilidade em 575nm, que corresponde à cor amarela (Figura 4);
- Bastonetes – sensíveis a uma ampla faixa de comprimentos de onda, com pico de sensibilidade em 504nm, sem haver distinção de cores (Figura 3).

A relação numérica entre os cones “L”, “M” e “S” é de aproximadamente 32:16:1 (BOYCE, 2014, pág. 50).

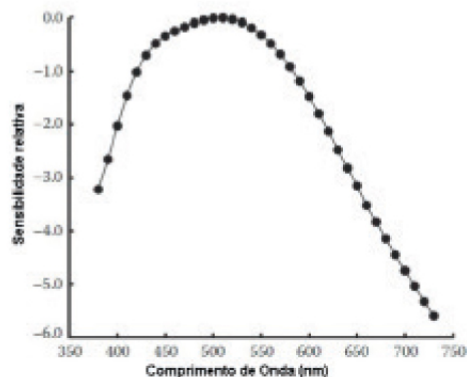


Figura 3 – Curva de sensibilidade espectral dos bastonetes, estabelecida pelo CIE 1988. Fonte: (BOYCE, 2014, pág. 48)

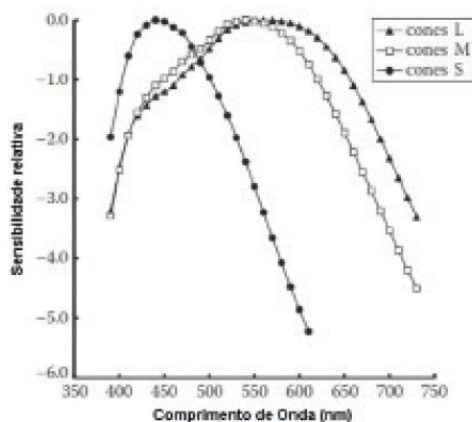


Figura 4 – Curva de sensibilidade espectral dos cones, estabelecida por Kaiser, P.K. e Boynton, R.M em Human Color Vision, 1996. Fonte: (BOYCE, 2014, pág. 49)

A ação conjunta destes quatro tipos de fotorreceptores dá origem a curvas de sensibilidade espectral específicas, estabelecidas pelo CIE², chamadas função de eficiência luminosa. A função de eficiência luminosa fotópica (visão diurna) é conhecida como $V(\lambda)$ e possui pico de sensibilidade espectral em 555nm. Do mesmo modo, a função de eficiência luminosa escotópica (visão noturna) é conhecida como $V'(\lambda)$ e possui pico de sensibilidade espectral em 507nm (Figura 5).

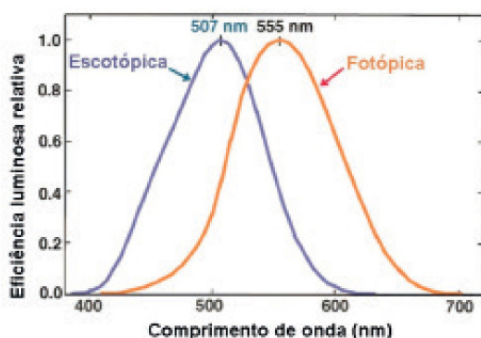


Figura 5 – Curvas de eficiência luminosa estabelecida pelo CIE.

Fonte: modificado de <http://webvision.med.utah.edu/images/wv/Kall5.jpeg>

2. Ritmos biológicos

Os ritmos biológicos são fenômenos endogenamente gerados³ ao longo de nossa evolução em consequência de processos adaptativos a eventos ambientais recorrentes. Geneticamente determinados, estes ritmos são verdadeiros cronômetros internos que todos os seres desenvolveram pela necessidade de viver em um ambiente que se modifica diariamente com uma regularidade infalível.

Os movimentos regulares do planeta determinam ciclos ambientais que, ao longo de sua evolução, estimularam os seres a desenvolver ritmos internos de cerca de 6 horas (movimento das marés), de 24 horas, de 365 dias, de 29,5 dias (lunação) e muitos outros, que determinam aspectos como ciclo de reprodução, migração e hibernação.

Nos humanos, o principal marcador temporal interno se localiza no núcleo supraquiasmático do hipotálamo cerebral e tem a duração de pouco mais de 24 horas, razão pela qual recebeu a denominação de Ciclo Circadiano. A palavra “Circadiano” tem sua origem no latim (Circa=cerca; Diem=dia), significando “Cerca de 1 dia”. Como o regente

de uma orquestra, este marcador principal organiza temporalmente todos os marcadores periféricos distribuídos pelo organismo para que funcionem de modo harmônico e cada um a seu tempo (FOSTER; KREITZMAN, 2004, Introduction).

3. Luz e os ritmos biológicos

O ciclo circadiano controla as oscilações diárias de temperatura corporal, de pressão arterial, de frequência cardíaca, sono, estado de alerta, apetite, digestão, consumo de alimentos, secreção de hormônios, além de mecanismos de reparação celular e proteção do DNA, entre outros. A ruptura dos marcadores temporais individualmente ou entre si, chamada Cronorruptura, pode originar inúmeras doenças.

Nosso ciclo circadiano interno tem duração maior que 24 horas (SHIRANI; LOUIS, 2009), razão pela qual a exposição ao claro-escuro ambiental é necessária para sincronizá-lo ao dia solar de 24 horas. O ciclo circadiano sincronizado extrai do ambiente a duração do período de luz e de escuridão para regular o funcionamento do organismo durante todo o ano. O modo pelo qual ocorre este sincronismo ficou por muito tempo desconhecido, até que no início da década de 1990, um grupo de neurocientistas propôs a possibilidade de haver no olho uma nova classe de fotorreceptores para controlar nossa fisiologia, pois uma série de estudos verificou que roedores funcionalmente cegos eram capazes de sincronização fisiológica à luz (FOSTER et al., 1991).

Em 2002, pesquisadores mostraram que células ganglionares presentes na retina, por expressão de um fotorreceptor chamado melanopsina, se encarregavam de converter radiação eletromagnética em sinais nervosos que chegam ao núcleo supraquiasmático do hipotálamo (BERSON; DUNN; TAKAO, 2002). Estudos subsequentes comprovaram que este novo fotorreceptor é o principal responsável pelo sincronismo dos ritmos biológicos ao dia solar, visto que pessoas funcionalmente cegas, em que os cones e bastonetes eram inativos, ainda eram capazes de responder fisiologicamente à presença de luz (SHIRANI; LOUIS, 2009).

A descoberta destas “Células Ganglionares Intrinsecamente Fotosensíveis”, ou ipRGCs⁴ deu origem a uma profusão de novos estudos demonstrando que a luz é um potente estímulo para a regulação circadiana, neuroendócrina e neurocomportamental (ANDERSEN; GOCHENOUR; LOCKEY, 2013). A falta ou quebra da regulação circadiana pode determinar ou contribuir para uma série de doenças como distúrbios do sono, alterações de humor, depressão sazonal, câncer, obesidade, diabetes e problemas cardíacos, problemas de atenção, reflexo e deficiências cognitivas (TOSINI; FERGUSON; TSUBOTA, 2016).

Esta complexa rede neural controlada pela luz que incide na retina confere ao olho a existência de um sistema não formador de imagens, a que passaremos a nos referir como Sistema Não Visual.

Pelo sistema não visual, a luz, entre outros efeitos, suprime a produção pineal de melatonina, aumenta a frequência cardíaca e a temperatura corporal, estimula a produção de cortisol e atua como um estimulante neurofisiológico, aumentando as medidas subjetivas e objetivas de alerta, tempo de reação psicomotora e reduzindo os lapsos de atenção.

3.1 Ação dos fotorreceptores para o sistema não visual

O olho é um órgão que permite a percepção espacial. Capta as imagens e o sistema visual dá sentido a tudo que vemos. A partir da descoberta do sistema não visual, o olho passou a ser também

entendido como um órgão da percepção temporal, pois as respostas não visuais são separadas dos aspectos da visão na medida em que não estão relacionadas a padrões espaciais de exposição à luz.

A fim de assegurar o alinhamento correto da fisiologia com a temporização ambiental, o relógio circadiano é sincronizado diariamente com o ciclo claro-escuro de 24 horas. Esta informação de luz é detectada exclusivamente pelo olho principalmente através das células ganglionares retinianas que contêm melanopsina, anatômica e funcionalmente separadas dos cones e bastonetes necessários para a visão. Estas células são mais sensíveis à luz de comprimentos de onda curtos na região azul do espectro (LOCKEY, 2009), com curva de sensibilidade espectral apresentando pico em 480nm (LUCAS et al., 2014) e largura de banda à meia altura⁵ de cerca de 90nm (Figura 6).

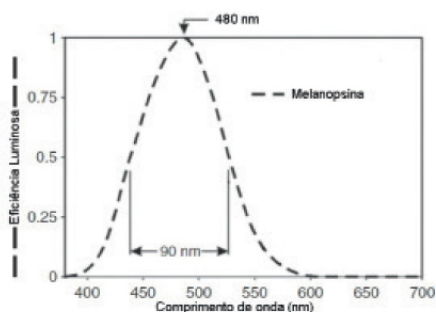


Figura 6 – Curva de sensibilidade espectral do fotopigmento melanopsina. Fonte: modificado de (REA; FIGUEIRO, 2016)

A luz incide nas células ganglionares intrinsecamente fotossensíveis da retina, onde há sua transdução em sinais elétricos que são conduzidos ao núcleo supraquiasmático do hipotálamo, que por sua vez é responsável pela organização temporal do organismo (TOSINI et al., 2008). Esta via neural é denominada trato retino-hipotalâmico. Uma importante via neural originada no núcleo supraquiasmático do hipotálamo se projeta até o gânglio cervical superior da coluna vertebral e transporta a informação não visual até a glândula pineal⁶, que circadianamente produz o hormônio melatonina (IESNA, 2008), responsável pelo controle da nossa fisiologia noturna, como veremos a seguir.

4. A Melatonina como o principal marcador fisiológico

A conexão mais importante do núcleo supraquiasmático para o ciclo circadiano ocorre com a glândula pineal, que é a principal responsável pela secreção do hormônio melatonina.

A melatonina circula na corrente sanguínea e é facilmente absorvida por células individuais, servindo como elemento de sinalização temporal. Produto do metabolismo da serotonina (AMADO; MAZZACORATTI, 2004), está envolvida na regulação da adaptação à intensidade de luz, nas mudanças diárias no ciclo claro-escuro e nas mudanças sazonais (SOUSA-NETO; SCALDAFERRI, 2005). A figura 7 ilustra o esquema completo desde a incidência de luz na retina passando pelo núcleo supraquiasmático e sua conexão com a glândula pineal.

A melatonina é sintetizada circadianamente à noite em condições de ausência de luz, atingindo seu pico entre duas e quatro horas da madrugada, quando seus níveis se reduzem gradualmente até as menores taxas ocorrerem entre sete e nove horas da manhã (FIGUEIRO et al., 2009), ocorrendo a partir daí quase nenhuma síntese no período diurno (SOUSA-NETO; SCALDAFERRI, 2005).

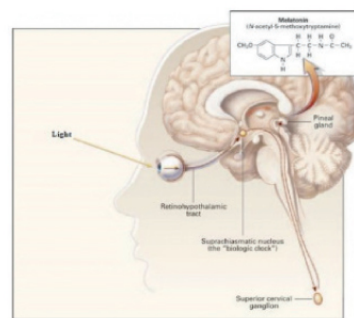


Figura 7 – Fisiologia da Secreção de Melatonina. A melatonina é produzida na glândula pineal. Sua produção e secreção são mediadas principalmente por fibras nervosas pós-ganglionares que passam através do trato retino-hipotalâmico ao núcleo supraquiasmático e, em seguida, para o gânglio cervical superior e, finalmente, à glândula pineal. Este sistema neural é ativado pela ausência e reprimido pela incidência de luz na retina.

Fonte: Adaptado de (SHIRANI; LOUIS, 2009)

4.1 Propriedades e ações da melatonina

A melatonina existe em todos seres, desde organismos unicelulares, plantas, fungos e animais (PANDI-PERUMAL et al., 2006). Uma de suas mais importantes características é que, por ser anfífila⁷, penetra em todos os compartimentos do organismo. Possui funções imunomodulatórias⁸, antiinflamatórias⁹, antitumorais¹⁰, antioxidantes¹¹, e cronobióticas¹² (SOUSA-NETO; CASTRO, 2008).

Como regulador ou sinalizador temporal, a melatonina age principalmente:

- enquanto presente;
- por repetição circadiana;
- pelo tempo de presença;
- após cessar sua presença.

Sua ação ocorre por todo o organismo de modo sistêmico pela suas propriedades antitumorais, além de vários tipos de regulação temporal como o ciclo circadiano, o ciclo vigília-sono, o metabolismo energético¹³, o sistema cardiovascular¹⁴, o sistema imunológico, as funções e plasticidade neural¹⁵, os processos reprodutivos e mediação materno-fetal, desenvolvimento e programação intrauterina e as interfaces do organismo com o meio ambiente¹⁶.

A melatonina é o antioxidante natural mais poderoso por reagir com radicais livres de hidrogênio e de nitrogênio. Seus principais efeitos moleculares e celulares envolvem mecanismos de reparação celular, proteção celular e mitocondrial, regulação de processos enzimáticos e do DNA, regulação da reprodução mitocondrial e regulação da estabilidade, fluidez, permeabilidade e diferença de potencial da membrana celular.

5. Iluminação arquitetônica

A arquitetura fornece a interface entre o ambiente externo e o corpo humano, interferindo diretamente no modo como as pessoas acessam a luz. Assim como a pupila faz o ajuste fino da quantidade de luz que entra no olho (ANDERSEN; GOCHENOUR; LOCKEY, 2013), a arquitetura desempenha um papel importante na regulação da entrada de luz para os ambientes internos.

Tradicionalmente, a iluminação arquitetônica é planejada de modo a prover luz que proporcione melhor desempenho visual (CIE, 2001), seja visualmente confortável, permita a apreciação estética do espaço e promova a conservação de energia elétrica (LUCAS et al., 2014).

Atualmente, além de permitir a visão, a consideração dos efeitos não visuais é de importância crescente no projeto de arquitetura e de iluminação (LESLIE; RADETSKY; SMITH, 2011).

5.1. Iluminação natural

Em um espaço arquitetônico, é a geometria primária que afetará o tempo de incidência de luz natural (ANDERSEN; GOCHENOUR; LOCKEY, 2013). O fato de permanecermos grande parte do dia em locais fechados diminui sensivelmente a robustez do ciclo de luz ao qual estamos expostos. O aumento da distância de uma janela, por exemplo, tem sido associado a uma diminuição da produtividade e maior ausência de usuários no local de trabalho (BOYCE, 2006).

A visualização deste “potencial circadiano” ao longo do tempo pode oferecer um poderoso apoio ao design dos ambientes (ANDERSEN; GOCHENOUR; LOCKEY, 2013).

5.1.2 Iluminação artificial

A chegada da luz artificial modificou sensivelmente o padrão de exposição ao ciclo claro-escuro, fazendo com que o ser humano, de hábitos intrinsecamente diurnos, passasse a desenvolver também hábitos noturnos.

Como o marcador circadiano mediado pelo olho humano é notavelmente sensível à luz noturna (ZEITZER et al., 2000) podemos inferir, por exemplo, a grande importância de se ter um quarto escuro à noite para manter o ritmo circadiano adequado e a manutenção do sono (SIGURDARDOTTIR et al., 2012).

Do mesmo nodo que ocorre com o planejamento de luz natural, o potencial de “iluminação circadiana” deve admitir luz artificial com intensidade, espectro, duração e tempo corretos (ANDERSEN; GOCHENOUR; LOCKEY, 2013).

5.2 Fontes de luz artificial

Desde a invenção da produção de luz a partir da eletricidade, a lâmpada incandescente teve sua fabricação e uso ampliados durante todo o século passado. Após a segunda metade do mesmo século, as lâmpadas de descarga também foram amplamente utilizadas. Recentemente, nos últimos vinte anos, outras tecnologias, como lâmpadas fluorescentes compactas, substituíram as lâmpadas incandescentes. Muitas vezes, esta transição tem sido impulsionada pela legislação (TOSINI; FERGUSON; TSUBOTA, 2016). Contudo, todas as tecnologias até hoje utilizadas para produzir luz artificial consideram apenas a existência do sistema visual.

Os estudos sobre o sistema não visual mostram a necessidade de se conhecer e – mais importante – conceber fontes de luz artificial a partir da composição espectral da luz que irradiam.

Ao comparar duas fontes de luz, a fonte com um espectro que mais se aproxima da sensibilidade espectral do sistema não visual (ou seja, aquela que contém mais luz azul) terá maior “eficácia circadiana” (AL-ENEZI et al., 2011) e exigirá menos luz para alcançar os mesmos efeitos fisiológicos que uma fonte com menos luz azul (ANDERSEN; GOCHENOUR; LOCKEY, 2013).

5.3 O projeto luminotécnico

Enquanto o local de trabalho é importante na vida diurna, a casa é importante à noite na regulação dos ritmos circadianos, uma vez que é onde ocorre o sono e, portanto, quase toda a noite biológica, quando o corpo é mais suscetível à mudança de fase circadiana (ANDERSEN; GOCHENOUR; LOCKEY, 2013).

Podemos afirmar que, em geral, não nos expomos a um ciclo claro-escuro robusto, pois nossos ambientes internos não foram projetados para promover a ritmicidade circadiana. O mesmo ocorre com nossos ambientes de trabalho, com a iluminação do sistema metroviário e com nossas casas. Nosso corpo precisa de luz rica em azul especialmente no início da manhã, para estimular os novos

fotorreceptores, e o contrário a partir do final da tarde.

As normas de iluminação assumem apenas o sistema de visão fótica de três tipos de cones, considerando a sensibilidade espectral à luz com pico a 555 nm [Vλ], quantificado em lux fotópico (ANDERSEN; GOCHENOUR; LOCKEY, 2013), estabelecendo recomendações de níveis de luz necessários para manter uma boa visão, ou iluminância no plano de trabalho. Não há ainda padrões que considerem os efeitos não visuais da luz, que tem uma sensibilidade de pico na faixa do azul visível a 480nm (ANDERSEN; GOCHENOUR; LOCKEY, 2013).

Dado o que sabemos sobre a fotobiologia e a partir das ferramentas de simulação computacional de que dispomos atualmente, é possível determinar uma série de parâmetros para o projeto luminotécnico de modo a verificar preliminarmente o impacto da luz natural e da luz artificial dos ambientes internos nos padrões do ciclo claro-escuro.

No ambiente residencial, um estudo demonstrou que a manipulação da intensidade da luz com pouca mudança na duração do sono pode afetar significativamente a modulação circadiana (BURGESS; MOLINA, 2014).

5.4 LEDs

As restrições impostas ao rendimento das lâmpadas incandescentes e a busca por eficiência energética fizeram com que os LEDs¹⁷ fossem adotados para praticamente todas as aplicações que necessitem de iluminação artificial.

O LED de luz branca é essencialmente uma fonte bicromática e ocorre pela emissão de um LED azul com pico de emissão em torno de 450nm a 470nm com uma largura de banda à meia altura (FWHM) de 30nm a 40nm (NAKAMURA; CHICHIBU, 2000) (Figura 8) com um substrato de fósforo de espectro amplo (pico de emissão em torno de 580 nm e largura à meia altura de 160 nm) (TOSINI; FERGUSON; TSUBOTA, 2016).

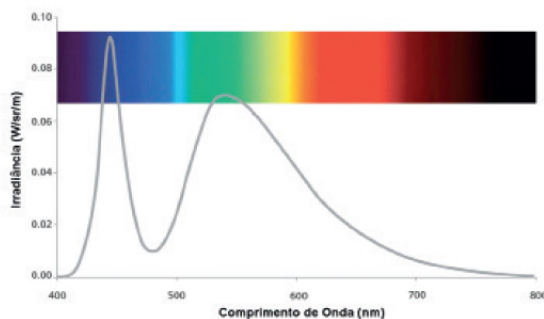


Figura 8 – Curva espectral de um LED de luz branca. Há um pico de emissão de luz azul em torno de 460 nm (eletroluminescência) e uma emissão secundária mais larga na região de comprimentos de onda mais longos do espectro (fosforescência).

Fonte: adaptado de (SPIVEY, 2011)

Ocorre que os LEDs atuais que produzem luz branca emitem um pico na região azul do espectro capaz de estimular o sistema não visual.

Do mesmo modo, os LEDs se tornaram dominantes em computadores, TVs e tablets (TOSINI; FERGUSON; TSUBOTA, 2016), aumentando a exposição à luz azul durante a noite. Outra importante mudança de dá pelo fato de que a leitura em papel ocorria por meio de luz refletida. Hoje, a leitura ocorre pela emissão de luz direta proveniente dos equipamentos. Pesquisadores mostraram que a supressão de melatonina noturna após 1 hora de utilização de equipamentos com displays luminosos foi, em média, 3% (WOOD et al., 2013).

6. Conclusão

A luz artificial tem sido cada vez mais utilizada em nossa sociedade,

mesmo durante o dia, pois permanecemos grande parte de nosso tempo de vigília em ambientes com pouca ou nenhuma incidência de luz natural. Do mesmo modo, a utilização da exposição – à noite – à luz artificial rica em azul tem aumentado pela disseminação dos sistemas de iluminação com LEDs e dos equipamentos eletrônicos com telas LED.

Nosso conhecimento sobre o sistema circadiano humano é incompleto (BELLIA; SERACENI, 2014) e as respostas não visuais à luz de diferentes espectros tem sido objeto de estudo, como, por exemplo, uma pesquisa demonstrando que luz vermelha à noite induz ao estado de alerta sem impactar a síntese endócrina de melatonina (PLITNICK et al., 2010).

Mais recentemente, descobriu-se que cones e bastonetes também contribuem para o sistema não visual, especialmente em baixas intensidades de luz e para exposições de curta duração. Portanto, a sensibilidade espectral destas respostas à luz é uma propriedade dinâmica, que se modifica dependendo da intensidade, duração e histórico de exposição (ANDERSEN; GOCHENOUR; LOCKEY, 2013).

A descoberta do sistema não visual e sua relação com nossa saúde abriu um espaço imenso para pesquisas e deu origem a um movimento mundial denominado “Human-Centric Lighting”¹⁸, vez que o maior entendimento dos ritmos biológicos, da luz e de sua influência sobre estes ritmos pode gerar ações para aumentar nosso bem-estar, diminuir a ocorrência de determinadas doenças e acelerar o tratamento de outras.

Notas

- ¹ área da retina que fica no eixo visual do olho
- ² Commission Internationale de l’Eclairage
- ³ se originam no interior do organismo
- ⁴ intrinsically photosensitive Retinal Ganglion Cells
- ⁵ FWHM - Full Width at Half Maximum
- ⁶ pequena glândula endócrina, também conhecida como epífise, localizada no epitélio próximo ao centro do cérebro
- ⁷ solúvel tanto em meio lipídico como em meio aquoso
- ⁸ atuação no sistema imunológico, conferindo aumento da resposta orgânica contra determinados microrganismos, incluindo vírus, bactérias, fungos e protozoários
- ⁹ combate à inflamação dos tecidos
- ¹⁰ combate a tumores
- ¹¹ capaz de inibir a oxidação de moléculas
- ¹² de regulação temporal
- ¹³ ingestão de alimentos, nutrientes de estoque e dispêndio energético
- ¹⁴ regula o ponto de ajuste da pressão arterial
- ¹⁵ proteção e reparação de neurônios
- ¹⁶ pele, retina, tubo gastrointestinal e sistema imunológico
- ¹⁷ Diodos emissores de luz
- ¹⁸ Human-Centric Lighting (Iluminação voltada ao ser humano - tradução livre).

Referências

AL-ENEZI, J. et al. A “melanopic” spectral efficiency function predicts the sensitivity of melanopsin photoreceptors to polichromatic lights. In: *Journal of Biological Rhythms*, 2011. v. 26, n. 4.

AMADO, D.; MAZZACORATTI, M. da G. N. O papel da melatonina na epilepsia. In: *Ciência e Cultura*, 2004. v. 56, n. 1.

ANDERSEN, M.; GOCHENOUR, S. J.; LOCKEY, S. W. Modelling “non-visual” effects of daylighting in a residential environment. In: Elsevier, 2013.

BELLIA, L.; SERACENI, M. A proposal for a simplified model to evaluate the circadian effects of light sources. In: *Lighting Research and Technology*, 2014. p. 493–505.

BERSON, D. M.; DUNN, F. A.; TAKAO, M. Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. In: *Science Magazine*, 2002. v. 295.

BOYCE, P. R. Reviews of technical reports on daylight and productivity. In: *Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute*, 2006.

BOYCE, P. R. Human factors in lighting. In: *Human Factors in Lighting*, 2014. ISSN 13:978-1-4398-7489-9.

BURGESS, H. J.; MOLINA, T. A. Home lighting before usual bedtime impacts circadian timing: A field study. In: *Photochemistry and Photobiology*, 2014. p. 723–726.

CIE. Lighting of work places. part 1: Indoor. In: *Commission Internationale de l’Eclairage*, 2001.

FIGUEIRO, M. et al. Preliminary evidence that both blue and red light can induce alertness at night. In: *BMC Neuroscience*, 2009.

FOSTER, R.; KREITZMAN, L. Rhythms of life. In: *Rhythms of Life*, 2004. ISSN 1861975716.

FOSTER, R. G. et al. Circadian photoreception in the retinally degenerate mouse. In: *Journal of Comparative Physiology A - Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology*, 1991.

IESNA. The IESNA lighting handbook and reference application. In: *The IESNA Lighting Handbook 9th Ed*, 2008.

LESLIE, R. P.; RADETSKY, L. C.; SMITH, A. M. Conceptual design metrics for daylighting. In: *Lighting Research and Technology*, 2011.

LOCKEY, S. W. Influence of light on circadian rhythmicity in humans. In: *Encyclopaedia of neuroscience*, 2009.

LUCAS, R. J. et al. Measuring and using light in the melanopsin age. In: *Trends in Neurosciences*, 2014. v. 37, n. 1.

NAKAMURA, S.; CHICHIBU, S. Introduction to nitride semiconductor blue lasers and light emitting diodes. In: *CRC Press*, 1st, 2000.

PANDI-PERUMAL, S. R. et al. Melatonin - nature’s most versatile biological signal? In: *The FEBS Journal*, 2006.

PLITNICK, B. et al. The effects of red and blue light on alertness and mood at night. In: *Lighting Research and Technology*, 2010. p. 449–458.

REA, M.; FIGUEIRO, M. G. Light as a circadian stimulus for architectural lighting. In: *Lighting Research Technology*, 2016. p. 1–14.

SHIRANI, A.; LOUIS, E. S. Illuminating rationale and uses for light therapy. In: *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 2009. v. 5, n. 2.

SIGURDARDOTTIR, L. G. et al. Circadian disruption, sleep loss, and prostate cancer risk: a systematic review of epidemiologic studies. In: *Cancer Epidemiology, Biomarkers and Prevention*, 2012. v. 21, n. 7, p. 1002:11.

SOUSA-NETO, J. A.; CASTRO, B. F. de. Melatonina, ritmos biológicos e sono – uma revisão da literatura. In: *Revista Brasileira de Neurologia*, 2008. v. 44, n. 1.

SOUSA-NETO, J. A.; SCALDAFERRI, P. M. O papel da melatonina na epilepsia. In: *Melatonina e câncer - revisão da literatura*, 2005. v. 51, n. 1, p. 49–58.

SPIVEY, A. The mixed blessing of phosphor-based white leds. In: *Environmental Health Perspectives*, 2011. v. 119, n. 11.

TOSINI, G.; FERGUSON, I.; TSUBOTA, K. Effects of blue light on the circadian system and eye physiology. In: *Molecular Vision*, 2016.

TOSINI, G. et al. The circadian clock system in the mammalian retina. In: *NIH Public Access*, 2008.

WOOD, B. et al. Light level and duration of exposure determine the impact of self-luminous tablets on melatonin suppression. In: *Applied Ergonomics*, 2013. p. 237–240.

ZEITZER, J. M. et al. Sensitivity of the human circadian pacemaker to nocturnal light: melatonin phase resetting and suppression. In: *Journal of Physiology*, 2000. v. 526, n. 3, p. 695–702.

> Ruy Soares é mestrando em Tecnologia da Arquitetura pela FAU-USP e pós-graduado em Iluminação e Design de Interiores pelo IPOG. Possui mais de 25 anos de experiência em iluminação, inicialmente, como professor da Universidade Gama Filho (RJ), e em seguida como sócio-fundador da empresa WeLight, que desenvolve projetos luminotécnicos e de automação.