



Análise da Iluminação Circadiana e Adequação às Normas brasileiras em Ambientes Residenciais

Analysis of Circadian Lighting and Adequacy to Brazilian Standards in Residential Environments

Análisis de iluminación circadiana y adecuación a las normas brasileñas en ambientes residencial

Liziê Froeder Neves

PROAC - Programa de Pós Graduação do Ambiente Construído, UFJF, Brasil.
02889290123@estudante.ufjf.br

Tuanny Cristinny da Cunha Guimarães

PROAC - Programa de Pós Graduação do Ambiente Construído, UFJF, Brasil.
tuanny.guimaraes@estudante.ufjf.br

Felipe Duarte Moreira

PROAC - Programa de Pós Graduação do Ambiente Construído, UFJF, Brasil.
duarte.felipe@estudante.ufjf.br

Cristiano Gomes Casagrande

Professor Doutor, UFJF, Brasil.
casagrandejf@yahoo.com.br



RESUMO

Nas últimas décadas, os projetos de iluminação tiveram como premissa fornecer níveis mínimos de iluminância para garantir visibilidade adequada nas superfícies de trabalho. A norma NBR 5413 (1992) refletia esse objetivo, mas a crescente complexidade dos ambientes de trabalho e a busca por segurança, conforto e eficiência na iluminação levaram à adoção da NBR ISO/CIE 8995-1. Esta norma, dividida em quatro partes, busca assegurar iluminação de qualidade em ambientes internos, considerando aspectos visuais e de segurança. A partir de 2005, a NBR 15215 passou a regular a iluminação natural nos ambientes construídos, abordando componentes arquitetônicos e controle de luz natural. Nos últimos 15 anos, a descoberta das células fotorreceptoras intrinsecamente fotosensíveis (ipRGC) na retina, responsáveis pela regulação dos ritmos circadianos, trouxe novos desafios. Estudos mostram que a luz influencia processos fisiológicos, como a produção de melatonina. A luz azul, emitida por muitos equipamentos com LEDs, pode prejudicar a visão e os ritmos biológicos. A revisão da NBR 15215-4 (2023) incorporou essas descobertas, propondo métodos para medir a resposta circadiana à luz, incluindo a métrica de lux melanópico equivalente (EML). O artigo propõe testar lâmpadas comumente usadas no Brasil, avaliando sua adequação às normas NBR 15215 e NBR 8995-1, utilizando a ferramenta de Lucas. O objetivo é verificar se essas lâmpadas atendem às necessidades circadianas e de conforto visual.

PALAVRAS-CHAVE: Iluminação Circadiana. Normas de Iluminação. Conforto Visual.

SUMMARY

In recent decades, lighting projects have focused on providing minimum illuminance levels to ensure adequate visibility on work surfaces. The NBR 5413 standard (1992) reflected this objective, but the growing complexity of work environments and the search for safety, comfort and efficiency in lighting led to the creation of NBR ISO/CIE 8995. This standard, divided into four parts, seeks to ensure quality lighting in indoor environments, taking into account visual and safety aspects. From 2005, NBR 15215 began to regulate natural lighting in built environments, addressing architectural components and natural light control. In the last 15 years, the discovery of intrinsically photosensitive photoreceptor cells (ipRGC) in the retina, responsible for regulating circadian rhythms, has brought new challenges. Studies show that light influences physiological processes such as melatonin production. Blue light, emitted by LED equipment, can impair vision and biological rhythms. The revision of NBR 15215-4 (2023) incorporated these findings, proposing methods to measure the circadian response to light, including the equivalent melanopic lux (EML) metric. The article proposes testing lamps commonly used in Brazil, assessing their compliance with NBR 15215 and NBR 8995-1, using Lucas' tool. The aim is to check whether these lamps meet circadian and visual comfort needs.

KEYWORDS: Circadian Lighting. Lighting Standards. Visual Comfort.

RESUMEN

En las últimas décadas, los proyectos de iluminación se han centrado en proporcionar niveles mínimos de iluminancia para garantizar una visibilidad adecuada en las superficies de trabajo. La norma NBR 5413 (1992) reflejaba este objetivo, pero la creciente complejidad de los ambientes de trabajo y la búsqueda de seguridad, confort y eficiencia en la iluminación llevaron a la creación de la NBR ISO/CIE 8995. Esta norma, dividida en cuatro partes, busca garantizar la calidad de la iluminación en ambientes interiores, teniendo en cuenta aspectos visuales y de seguridad. Desde 2005, la NBR 15215 reglamenta la iluminación natural en ambientes construidos, abordando los componentes arquitectónicos y el control de la luz natural. En los últimos 15 años, el descubrimiento de las células fotorreceptoras intrínsecamente fotosensibles (ipRGC) en la retina, responsables por la regulación de los ritmos circadianos, ha traído nuevos desafíos. Los estudios demuestran que la luz influye en procesos fisiológicos como la producción de melatonina. La luz azul, emitida por equipos LED, puede perjudicar la visión y los ritmos biológicos. La revisión de la NBR 15215-4 (2023) incorporó estos descubrimientos, proponiendo métodos para medir la respuesta circadiana a la luz, incluyendo la métrica del lux melanópico equivalente (LME). El artículo propone probar lámparas de uso común en Brasil, evaluando su conformidad con las normas NBR 15215 y NBR 8995-1, utilizando la herramienta de Lucas. El objetivo es comprobar si estas lámparas satisfacen las necesidades circadianas y de confort visual.

PALABRAS CLAVE: Iluminación circadiana. Normas de iluminación. Comodidad visual.



1 INTRODUÇÃO

Os projetos luminotécnicos, durante muitas décadas, tiveram como objetivo estabelecer valores de iluminância mínimos e apropriados às superfícies de trabalho, para desenvolver qualquer atividade visual. De forma bem generalista, a norma NBR 5413 - Iluminância de Interiores (ABNT, 1992) se concentrava somente em superfícies de trabalho; com o passar dos anos, houve a necessidade de criar uma nova norma que abarcasse a segurança, o conforto e a eficiência da iluminação para os trabalhadores nos diversos ambientes de trabalho: comércio, indústria, ensino, esporte entre outras. Para isso, foi criada a NBR ISO/CIE 8995 - Iluminação de ambientes de trabalho, que foi dividida em quatro partes. A parte 1 da norma que se refere a Interior, objetiva propiciar uma boa iluminação aos ambientes, permitindo a segurança ao desempenhar tarefas visuais de maneira precisa e segura evitando a fadiga visual no interior de ambientes (ABNT 2013).

Além dessas normas, a partir de 2005 foi consolidada a NBR 15215:2005 Iluminação Natural, que estabelecia os parâmetros com relação a iluminação natural e ao ambiente construído, sendo agrupada em 3 partes: componentes de iluminação natural; b) elementos arquitetônicos de passagem da luz do dia; e c) elementos de controle (ABNT, 2005).

Nos últimos 15 anos com a descoberta das células fotorreceptoras intrinsecamente fotossensíveis da retina (ipRGC), conhecidas também como células não visuais, pesquisas foram desenvolvidas com o intuito de compreender a relação entre a iluminação e os ritmos circadianos, mostrando que a luz não apenas permite a visão, mas também regula processos fisiológicos (Chaves; Martau, 2019). A luz, por exemplo, influencia a produção de melatonina, hormônio crucial para o sono e o equilíbrio orgânico. Mas nem toda luz é benéfica para nosso organismo; com o avanço das pesquisas nessa área, mostrou-se que a exposição à luz azul emitida por equipamentos que possuem LED (Diodo Emissores de Luz) pode causar danos à visão por prejudicar a sensibilidade, o alcance e contraste da visão (Sonoda; Araújo, 2022).

O surgimento de métricas para avaliar a eficiência da iluminação circadiana tornou-se crucial. Em 2023, a Norma NBR 15.215, que trata de premissas para iluminação natural, dividida em quatro partes, foi revisada. A atualização da NBR 15.215-4 Iluminação natural - Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação natural interna, publicada em 2023, considerou não apenas os parâmetros quantitativos das medições, mas também questões intimamente ligadas ao ciclo circadiano, como a adoção de parâmetros qualitativos considerando a opinião dos usuários sobre estímulos visuais e não visuais, por exemplo (Casagrande et. al, 2024). Desta forma, foi abordado um método para medir a resposta espectral dos fotopigmentos nos bastonetes, cones e ipRGC, a partir de uma Métrica para avaliação do método; lux melanópico equivalente (equivalent melanopic lux- EML)[56], por meio de uma calculadora para avaliação: A planilha de Lucas et al. 2014 workbook avalia o EML (ABNT, 2023).

O objetivo deste trabalho é analisar as lâmpadas comumente utilizadas pela população brasileira em suas residências, por meio da planilha de Lucas ou Lucas Toolbox (Lucas Group, 2021) e, a partir dos resultados obtidos, comparar com a Norma NBR 15215 - 2024 e NBR 8995-1 se a luz emitida atende as necessidades de conforto visuais estabelecidas por ela.



2 METODOLOGIA

Após a definição do objetivo, elaborou-se um roteiro para uma pesquisa exploratória sobre os temas relevantes para este artigo. Na condução deste artigo, empregou-se como método a revisão bibliográfica e documental, a fim de compreender os conceitos de ciclo circadiano e sua relação com a luz natural e o bem-estar do indivíduo. Além disso, buscou-se analisar normas referentes à iluminação natural e o ambiente construído, bem como especificações técnicas fornecidas por fabricantes de algumas das lâmpadas mais utilizadas atualmente nas construções. Dentre os tantos temas e recortes possíveis no que diz respeito às especificações técnicas das lâmpadas, decidiu-se empregar um método experimental para testar se as necessidades de bem estar humano são compatíveis com as normas circadianas, através de informações extraídas na planilha de Lucas.

Com isso, foram delineadas as seguintes etapas metodológicas para esta pesquisa: pesquisa exploratória, em bibliotecas virtuais como CAPES e SCIELO, a princípio dos materiais produzidos nos últimos 10 anos. Com o desenvolver da pesquisa, sentiu-se a necessidade de uma segunda busca, para análise e comparação de normas mais antigas, na qual os materiais extrapolam o intervalo determinado inicialmente. No que diz respeito aos objetivos, o universo da pesquisa é definido pelos seguintes temas: ciclo circadiano e os impactos da luz artificial no corpo humano. Em seguida, foram analisadas as normas, a NBR 8995-1/2013 e a NBR 15215 - 2024 referente à iluminação natural e artificial para uma melhor compreensão de sua estrutura e propostas. Posteriormente, ocorreu a organização e leitura dos materiais, permitindo acesso ao conteúdo completo dos temas referentes a esta pesquisa, tomada de apontamentos a fim de destacar os pontos importantes e fazer anotações. Por último, a construção lógica do trabalho visando contribuir para um melhor entendimento das especificações técnicas das lâmpadas selecionadas para esta pesquisa a fim de destacar suas contribuições para o bem-estar dos indivíduos seguindo as premissas da iluminação circadiana.

3 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

Uma boa iluminação propicia a visualização do ambiente, permitindo que as pessoas vejam, se movam com segurança e desempenhem tarefas visuais de maneira eficiente, precisa e segura, sem causar fadiga e desconforto. Neste capítulo foi feita uma revisão de literatura sobre três temas específicos que são necessários para se alcançar o objetivo do estudo proposto neste artigo. Primeiramente, se faz necessário a compreensão sobre a “Normatização brasileira de iluminação”, em sequência apresentou-se a “Relação da iluminação e ciclo circadiano” e posteriormente, foram apresentadas “A Evolução das Fontes de Iluminação Artificial: Da Lâmpada Incandescente ao LED e Seus Impactos na Sociedade e no Bem-Estar Humano”.

3.1 Normatização brasileira de iluminação

A iluminação pode ser natural, artificial ou a combinação de ambas (ABNT, 2013). Para isso, foi analisada a NBR 5413/92 e a NBR 8995-1/2013 onde estabelecem os valores de

iluminâncias médias de iluminação artificial para os ambientes cozinha e quarto para uma residência.

A Figura 1 mostra as diretrizes da NBR 5413/92, para cada tipo de local ou atividade onde três iluminâncias em lux são indicadas, sendo o valor recomendado feito da seguinte maneira:

Das três iluminâncias, deve-se considerar o valor do meio, utilizando em todos os casos.

O valor mais baixo, das três iluminâncias, pode ser usado quando: refletâncias ou contrastes são relativamente altos, a velocidade e/ou precisão não são importantes, a tarefa é executada ocasionalmente.

O valor mais alto, das três iluminâncias deve ser usado quando: a tarefa se apresenta com refletâncias e contrastes bastante baixos, erros são de difícil correção, o trabalho visual é crítico, alta produtividade ou precisão são de grande importância, a capacidade visual do observador está abaixo da média (ABNT, 1992).

Figura 1 – Iluminância de interiores

5.3.65 Residências	
- salas de estar:	
. geral	100 - 150 - 200
. local (leitura, escrita, bordado, etc.)	300 - 500 - 750
- cozinhas:	
. geral	100 - 150 - 200
. local (fogão, pia, mesa)	200 - 300 - 500
- quartos de dormir:	
. geral	100 - 150 - 200
. local (espelho, penteadeira, cama)	200 - 300 - 500

Fonte: ABNT (1992)

Na NBR 8995-1/2013, como os ambientes em questão não estão listados, a norma sugere que sejam adotados os valores dados para uma situação similar. A Figura 2 mostra as diretrizes de iluminação recomendadas para diversos ambientes e atividades, sendo setorizada da seguinte forma:

A coluna 1 lista os ambientes, tarefas ou atividades para os quais os requisitos específicos são dados. A coluna 2, estabelece a iluminância mantida na superfície de referência para um ambiente, tarefa ou atividade estabelecida. A coluna 3 estabelece o UGR limite aplicável. A coluna 4 estabelece o índice de reprodução de cor mínima. A coluna 5 estabelece recomendações e notas de rodapé para exceções e aplicações especiais.



Figura 2 – Planejamento dos ambientes (áreas), tarefas e atividades com a especificação da iluminância, limitação de ofuscamento e qualidade de cor

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	\bar{E}_m lux	UGR_L	R_a	Observações
1. Áreas gerais da edificação				
Saguão de entrada	100	22	60	
Sala de espera	200	22	80	
Áreas de circulação e corredores	100	28	40	Nas entradas e saídas, estabelecer uma zona de transição, a fim de evitar mudanças bruscas.
Escadas, escadas rolantes e esteiras rolantes	150	25	40	
Rampas de carregamento	150	25	40	
Refeitório/Cantinas	200	22	80	
Salas de descanso	100	22	80	

Fonte: ABNT (2013)

A descoberta, nos anos 2000, do fotorreceptor ipRGC no olho humano revelou que ele influencia não só a visão, mas também a regulação dos ritmos circadianos. Mesmo assim, os métodos de projeto continuam focados apenas no conforto visual, deixando de lado as necessidades circadianas, essenciais para o equilíbrio fisiológico. Nos últimos 15 anos, a pesquisa sobre a relação entre iluminação arquitetônica e a regulação circadiana do corpo humano cresceu (Chaves; Martau, 2019).

Devido à importância dos estudos de como o corpo humano reage a iluminação e os impactos que a luz causa em nosso bem estar a Norma NBR 15215 - 4: Método de medição, Iluminação natural - Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação natural interna, acrescentou em sua nova versão, procedimentos de medição com o intuito de quantificar a luz para estímulo não visual, para isso, as metodologias mais utilizadas são as constantes na Planilha CIE e Planilha de Lucas (ABNT, 2023).

3.2 Relação da iluminação e ciclo circadiano

Com o avanço da sociedade, o crescimento urbano e as mudanças nos hábitos sociais, tornou-se evidente que a luz natural não é mais suficiente para atender às necessidades diárias do homem, tornando indispensável o uso de luz artificial para a realização das tarefas cotidianas. Porém, a escassez de luz natural pode trazer graves consequências à saúde do ser humano, entre elas, distúrbios no funcionamento do ciclo circadiano. O ciclo circadiano é um ritmo biológico de aproximadamente 24 horas que regula diversos processos fisiológicos e comportamentais no corpo humano e em outros organismos vivos. É preciso encontrar o equilíbrio entre a manutenção da saúde e bem-estar dos usuários e seus hábitos.

Faz-se necessário uma análise de boas práticas para elaboração de projetos com uma iluminação artificial mais assertiva. Como afirma Tamura et al., “a prática corrente de obtenção



de níveis adequados de iluminação artificial baseados somente em conforto visual pode ser inadequada para atender aos requisitos necessários para estimulação biológica, sugerindo a necessidade de ampliação da abordagem ao tema” (Tamura et al., 2014).

Considerando a luz como um dos principais *zeitgeber* para o ser humano, a ausência de ciclos claro/escuro pode favorecer uma dessincronização dos ciclos circadianos de um indivíduo (Nelson; Devries, 2017).

A ampliação desse conhecimento reforçou a conexão entre iluminação e saúde, uma vez que se compreendeu que o ciclo circadiano regula processos fisiológicos, metabólicos, comportamentais e neurológicos no organismo. A ruptura dos marcadores temporais individualmente ou entre si, está relacionado com inúmeras doenças, como distúrbio do sono, alterações do humor, depressão sazonal, câncer, obesidade, diabetes e problemas cardíacos, prejudicando, também, o desempenho das tarefas e do aprendizado (Soares, 2017).

Assim, os efeitos visuais e emocionais da luz se combinam com os efeitos não visuais, resultando no desenvolvimento de projetos com iluminação centrada no Ser Humano. Esse tipo de iluminação é projetado para atender às necessidades naturais do ciclo de vida humano, promovendo uma melhoria na qualidade de vida.

Segundo o Doutor Mark Rea e a Doutora Mariana Figueiró (apud Soares, 2017), é essencial considerar o conhecimento adquirido sobre o impacto da luz nos ritmos circadianos, pois ignorá-lo resultaria em um erro por omissão. Os projetistas de iluminação possuem uma responsabilidade técnica e ética de integrar em seus projetos soluções de iluminação que promovam a regulação do ciclo circadiano, visando otimizar os efeitos biológicos e comportamentais associados à exposição à luz.

Desta forma, uma iluminação de qualidade deve resultar do equilíbrio entre as demandas humanas, os aspectos econômicos, as preocupações ambientais e a integração com a arquitetura. Deve permitir uma boa qualidade e quantidade de luz, que permita um melhor desempenho visual das tarefas do dia a dia; uma boa comunicação interpessoal; uma boa apreciação estética; criando ambiências, contribuindo para a saúde, bem-estar e segurança para os utilizadores do espaço, e que sigam as recomendações da legislação, sem se descuidar das questões relativas à sustentabilidade (Veitch, 2006).

3.3 A Evolução das Fontes de Iluminação Artificial: Da Lâmpada Incandescente ao LED e Seus Impactos na Sociedade e no Bem-Estar Humano

A chegada da luz elétrica artificial modificou o modo de vida e hábitos da sociedade, podendo ser considerada uma das maiores conquistas tecnológicas da humanidade. Em 1880, a substituição de velas e lamparinas pela luz elétrica de forma gradativa iniciaram essa mudança, impulsionadas por Thomas Edison e o surgimento da lâmpada incandescente (Araujo et al., 2023). Em 1912 surgiram as lâmpadas de neon, caracterizadas por um tubo de vidro contendo um gás rarefeito (neon, neon com vapor de mercúrio), criadas pelo francês Georges Claude (Carvalho, 2018). Posteriormente surgiram as lâmpadas de sódio ou mercúrio em 1930. Já em 1938, Nikola Tesla criou a lâmpada fluorescente, considerada uma alternativa mais eficiente que a incandescente (Carvalho, 2018). As lâmpadas halógenas, incandescentes com filamento de tungstênio, foram introduzidas no ano de 1958, oferecendo mais luz por unidade de energia. Em 1962 a lâmpada a vapor de alta tensão foi inventada, definida por uma elevada eficiência



luminosa e longa durabilidade. A história das lâmpadas de LED se inicia em 1971, quando o primeiro LED azul é criado, porém, com baixa intensidade luminosa. Os primeiros LEDs azuis comerciais surgiram em 1989, que possibilitaram o desenvolvimento de diversos dispositivos visuais com tecnologia LED, como TVs de LED e painéis RGB. E foi apenas em 1999 que os LEDs chegaram ao ramo de iluminação, sendo considerados o futuro da iluminação (Carvalho, 2018).

A fim de atingir o objetivo do presente trabalho, foram escolhidas algumas das lâmpadas mais comumente utilizadas e comercializadas no Brasil para uma análise mais aprofundada de seus dados técnicos fornecidos pelas fabricantes. A avaliação de suas características técnicas possibilitará a comparação entre as mesmas e averiguação de adequação de seus índices de iluminância para entender se atendem ou não as necessidades circadianas humanas. Para este estudo foram definidas as lâmpadas de LED e fluorescente, com temperatura de cor de 3.000K e 6.500K, ambas.

As lâmpadas fluorescentes são um tipo de lâmpada que usa eletricidade para excitar gases em um tubo, que então emitem luz visível. Existem vários tipos desta lâmpada, como por exemplo, tubos longos, lâmpadas compactas e lâmpadas fluorescentes circulares. Quando comparadas às lâmpadas incandescentes, são consideradas mais eficientes, porém, quando comparadas às lâmpadas de LED, elas apresentam um consumo de energia maior. A respeito das características das lâmpadas fluorescentes, uma delas é possuir mercúrio como componente fundamental para seu funcionamento, um metal pesado que é prejudicial ao meio ambiente. Além disso, elas podem levar alguns segundos para atingir a máxima luminosidade e não tem bom desempenho em locais com temperatura extremamente baixa.

A lâmpada de LED é considerada atualmente a mais eficiente do mercado, e sua sigla significa *Light Emitting Diode* (diodo emissor de luz). A respeito de sua estrutura, “uma luminária LED é um complexo sistema que engloba não só a luminária e a fonte de luz – os LEDs em si – mas também o módulo de acionamento, o *driver*” (Casagrande, 2016). Atualmente há uma grande variedade de modelos de LED, como fitas, tubos, bulbos e até mesmo as lâmpadas inteligentes que podem ser controladas por aplicativos.

4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

4.1 Teste de Lâmpadas por meio da Planilha de Lucas

Pesquisas realizadas pela (Manchester University, 2024) por meio do professor Phd. Robert Lucas da divisão de neurociência da Universidade, desenvolveram um método de quantificar a intensidade efetiva da luz que é percebida pela melanopsina e outros fotorreceptores, a metodologia está sendo usada para descrever e regular o ambiente de luz em todo o mundo, sendo sua métrica compatível com o Sistema Internacional (SI) da Comissão Internacional de Iluminação (CIE).

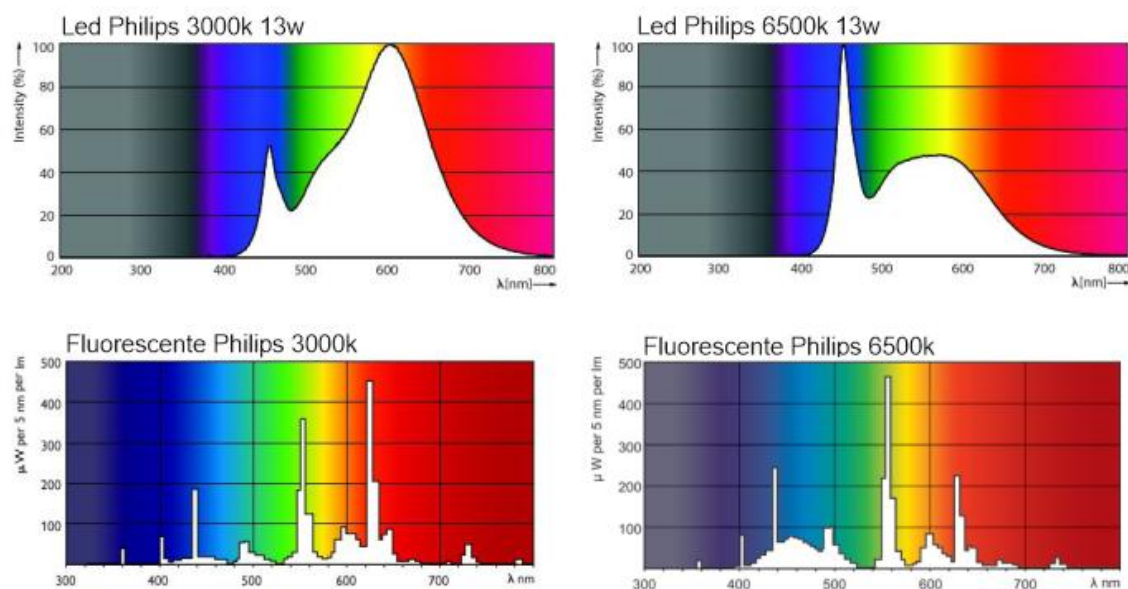
A planilha de Lucas também denominada de Irradiance toolbox, possui como principal função calcular a iluminância efetiva para cada um dos cinco fotopigmentos no olho humano usando como base a distribuição de potência espectral (Lucas, 2013).

A planilha de Lucas pode ser utilizada de duas formas. A primeira é quando se deseja realizar os testes de forma hipotética, por meio de uma das 7 fontes de luz oferecidas no item 2 da planilha, onde suas temperaturas de cor já foram pré-determinadas, podem ser escolhidos,

a quantidade de lux emitido no ambiente e o que será avaliado, a iluminância ou irradiância, a partir desta forma é necessário manter o item 1 da planilha no “modo aproximado”. Assim sendo, o que será avaliado pela planilha é se a quantidade de lux no ambiente estimula menos ou mais as células fotorreceptoras.

Para utilizar o segundo método, escolhido para desenvolver esta pesquisa, é necessário saber a distribuição espectral de potência (SPD) de cada lâmpada a ser testada, a cada 5nm (item 1 da Planilha de Lucas), desta forma são avaliadas o quanto a intensidade de luz de cada lâmpada influencia nas células fotorreceptoras do olho humano. Os testes na Planilha de Lucas, foram realizados utilizando dois tipos de lâmpadas com temperaturas de cor diferentes, foram elas: LED 3000 à 6500; fluorescente 3000 à 6500k. Os gráficos de distribuição espectral são mostrados abaixo na Figura 3.

Figura 3 – Distribuição espectral de lâmpadas de Led e fluorescente de 13W e 3000 e 6500K respectivamente.



Fonte: Retirado do site [lighting.philips](https://lighting.philips.com) (2024)

Os gráficos acima fornecem a distribuição da curva espectral das lâmpadas, a partir disso, retiramos as informações da energia de cada faixa emitida pela fonte luminosa em um comprimento de onda equivalente a 5 nm, essas informações são colocadas na coluna AH da planilha de Lucas e distribuídas ao longo do espectro de luz de cada lâmpada. Os gráficos acima mostram as curvas de distribuição espectral que são visíveis ao olho humano.

5 RESULTADO

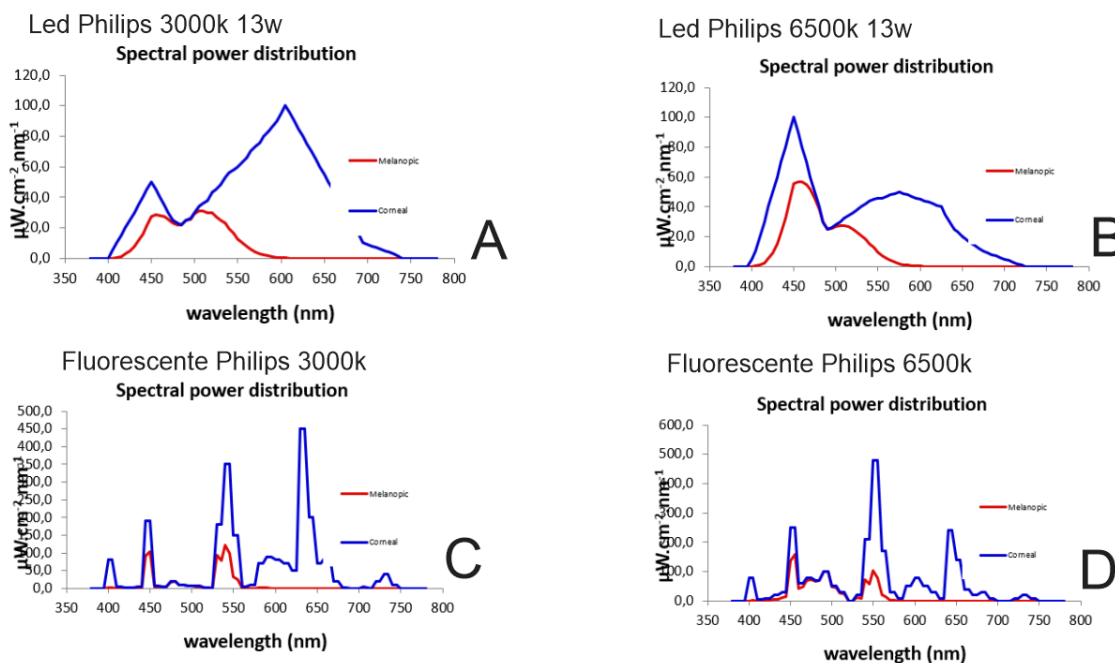
Após lançar as informações na planilha de Lucas são gerados alguns dados, entre eles, um gráfico de barras apresentando o estímulo das células fotorreceptoras à luz, e outro gráfico com duas linhas distintas porém complementares que representam os estímulos visuais e não visuais. A Figura 4 corresponde a estimulação das células fotorreceptoras visuais, representada

pela linha azul e pela estimulação das células fotorreceptoras intrinsecamente fotossensíveis, ou seja, células não visuais representadas pela linha vermelha.

Os gráficos A e B, representados pela Figura 4 correspondem aos estímulos referentes a uma fonte de luz de lâmpada Led de 3000K e 6500K respectivamente. Os gráficos A e B mostram as respostas visuais sendo estimuladas no mesmo pico, em $100 \text{ wcm}^2.\text{nm}^{-1}$, mesmo dentro de distribuições espectrais diferentes. No gráfico A, a estimulação da córnea à luz situou-se dentro do espectro de cor laranja a partir de 600 nm e no gráfico B a córnea foi estimulada no espectro de luz azul em 450 nm. Isto é, essas lâmpadas transmitem o máximo de fluxo luminoso dentro desses espectros que identificam se sua luz é quente ou fria, explicação pela qual o olho humano enxerga da mesma forma, sendo exposto a lâmpadas que possuem espectros diferentes da luz porém emitem a mesma quantidade de iluminância (lux). Nos gráficos A e B também são verificadas a estimulação da melanopsina captada pelo estímulo não visual. Os picos nos dois gráficos se dão na mesma porção do espectro na luz azul em torno de 450 nm. No gráfico A esse estímulo é bem menor, chegando a um máximo de $20 \text{ w cm}^2.\text{nm}^{-1}$, comparado ao gráfico B, onde ela é muito mais estimulada, alcançando valores superiores a $55 \text{ wcm}^2.\text{nm}^{-1}$.

Ainda na Figura 4, são observados o gráfico C, que correspondem a emissão de luz por meio de uma lâmpada fluorescente de 300 nm em que o estímulo de melanopsina a luz atinge seu pico em $100 \text{ wcm}^2.\text{nm}^{-1}$, enquanto na amostra D de 650 nm esse estímulo atinge seu pico em $150 \text{ wcm}^2.\text{nm}^{-1}$.

Figura 4 – Estímulos visuais e não visuais à luz a partir da análise das lâmpadas de Led e fluorescente de 13W e 3000 e 6500K respectivamente.



Fonte: Desenvolvido pelos autores.

Atualmente, a norma brasileira de iluminação de interiores, NBR 8995-1, fornece informações para adequação da iluminação artificial nos ambientes conforme a quantidade de lux nas lâmpadas, contudo a norma não cita a temperatura de cor, parâmetro importante ao estudo sobre a iluminação circadiana. Pode-se afirmar que a NBR 8995-1 não considera o bem-



estar do usuário, que é analisado de acordo com os estímulos não visuais que afetam o ritmo circadiano do corpo humano.

6 CONCLUSÃO

A análise deste artigo fornece informações importantes sobre a utilização da luz respeitando o ritmo circadiano humano. Desta forma, é possível afirmar que as lâmpadas de Led excitam menos as células não visuais se comparadas com as lâmpadas fluorescentes, estas mantêm nossas células visuais e não visuais hiper estimuladas, deixando o usuário em estado de alerta. Entre as lâmpadas de Led, as de 3000k tem uma estimulação da melanopsina máxima em torno de $20 \text{ w cm}^2 \cdot \text{nm}^{-1}$ e as de 6500k em torno de $55 \text{ w cm}^2 \cdot \text{nm}^{-1}$, desta forma pode-se inferir que as lâmpadas de Led de 3000k podem ser indicadas para ambientes de relaxamento como quartos e as lâmpadas de Led de 6500k podem ser utilizadas para ambientes que requerem maior atenção, como cozinhas por exemplo.

Atualmente, a atualização da norma NBR 15.215-4 (ABNT, 2023) trouxe uma grande contribuição para a análise da condição de iluminação dos espaços, bem como para a orientação de projetos de iluminação. A inclusão de análises qualitativas no processo, incluindo questionários com usuários e planilhas de análises de estímulos não visuais de lâmpadas, como a planilha de Lucas utilizada neste estudo, podem contribuir para o bem-estar dos usuários. Um ponto importante a ser levado em consideração, porém, é o fato de que para a utilização da planilha de Lucas é necessário um conhecimento prévio de termos mais complexos da área de iluminação. Sendo assim, dificilmente um cidadão comum seria capaz de utilizá-la no seu cotidiano para entender quais os modelos de lâmpadas e especificações técnicas mais adequadas para se utilizar em suas residências, por exemplo. Em contrapartida, a NBR 8995-1 oferece informações sobre uma média de iluminância mais adequada para cada ambiente.

Com base na análise das normas e na execução dos procedimentos experimentais descritos neste artigo, pode-se afirmar que houve um significativo avanço na integração entre uma iluminação funcional e a adequada manutenção do ciclo circadiano. Porém, ainda se faz necessário algumas adequações.

Infere-se que, em relação a NBR 15.215-4, a planilha de Lucas utilizada para calcular a iluminância efetiva para cada um dos cinco fotopigmentos no olho humano poderia ser um pouco mais didática para que qualquer cidadão comum pudesse desfrutar dos seus resultados no seu dia a dia. Pode-se concluir também que o estudo da iluminação circadiana pela norma NBR 8995-1 poderia indicar os parâmetros mínimos e máximos em que a luz e a temperatura de cor devem ser utilizadas dentro dos ambientes residenciais e de trabalho.

7 REFERÊNCIAS

ARAUJO, B. V. S. et al. Lâmpadas LED e distorção harmônica: uma amostra do mercado brasileiro. **Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, João Pessoa, v. 60, n. 4, p. 1279-1297, out. 2023. ISSN 2447-9187. Disponível em: <<https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/view/6612>>. Acesso em: 31 Jul. 2024. doi:<http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2021id6612>.

ABNT. Associação Brasileira De Normas Técnicas. **NBR 5413: Iluminância de Interiores**. Rio de Janeiro, p.13. 1992.



ABNT. Associação Brasileira De Normas Técnicas. **NBR 8995 -1: Iluminação de ambientes de trabalho Parte 1: Interior**. Rio de Janeiro, p.46. 2013.

ABNT. Associação Brasileira De Normas Técnicas. **NBR15215: Iluminação Natural**. Rio de Janeiro. 2005.

ABNT. Associação Brasileira De Normas Técnicas. **NBR 15215 - 4: Verificação Experimental das Condições de Iluminação Natural Interna**. Rio de Janeiro, p. 47. 2023.

CARVALHO, J. V. **História das Lâmpadas**. 2018. Disponível em: <<https://oakenergia.com.br/historia-das-lampadas/>> Acesso em: 31 jul. 2024.

CASAGRANDE, Cristiano Gomes. **Desafios da iluminação pública no brasil e nova técnica de projetos luminotécnicos fundamentada na fotometria mesópica**. 2016. 239 f. (Doutorado em Engenharia) - Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, Minas Gerais, 2016.

CASAGRANDE, C. G.; BORGES, M. M.; MOREIRA, F. D.; GUIMARÃES, T. C. da C. Impactos da atualização da norma ABNT NBR 15.215-4 na consideração do ciclo circadiano do ser humano na elaboração de projetos de iluminação. **Revista de Gestão e Secretariado**, [S. l.], v. 15, n. 8, p. e4047, 2024. DOI: 10.7769/gesec.v15i8.4047. Disponível em: <https://ojs.revistagesec.org.br/secretariado/article/view/4047>. Acesso em: 11 set. 2024.

CHAVES, N. P.; MARTAU, B. T. Repensando o projeto de iluminação: avaliação de métricas de luz circadiana. In: **Simpósio brasileiro de qualidade do projeto no ambiente construído**, 6., 2019, Uberlândia. Anais... Uberlândia: PPGAU/FAUeD/UFU, 2019.

LUCAS GROUP. Measuring Melanopic Illuminance and Melanopic Irradiance: A new way of Measuring Light. **The University of Manchester**. 2021. Disponível em: <https://lucasgroup.lab.manchester.ac.uk/measuringmelanopicilluminance/>. Acessado em: 04 de Julho 2024.

LUCAS, R. J. et al. User Guide. Irradiance Toolbox. Faculty of Life Sciences, **University of Manchester**, Manchester M13 9PT, UK. Oxford 18^o october. P. 19. 2013.

MANCHESTER UNIVERSITY. Profile. Robert Lucas, BSc, PhD. **The University of Manchester Research Explorer**. 2024. Retirado de: <https://research.manchester.ac.uk/en/persons/robert.lucas>. Acesso em: 09/08/2024.

NELSON RJ, DEVRIES AC. Medical hypothesis: Light at night is a factor worth considering in critical care units. **Advances in Integrative Medicine**, 2017; 4(3): 115–120.

PHILIPS. Para profissionais. Habitações. Produtos. Lâmpadas tubulares Led. Standard Led bulbs. Disponível em: https://www.lighting.philips.com.br/prof/lampadas-e-lampadas-tubulares-led/lampadas-de-led/standard-led-bulbs/LP_CF_6979538_EU/family. Acessado em: 14 Ago. 2024.

Soares, R. Luz e Saúde – um novo desafio para o lighting designer In **Revista Lume**. Arquitetura, nº 85. São Paulo: De Maio. Pp. 72. 2017.

SONODA, R. T.; ARAÚJO, A. Distúrbios Neurovisuais Causados Por Luz Azul. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar**. v.3, n.3, 2022.

TAMURA, C. A., KRÜGER, E. L., GUIMARÃES, A. J.R. Mineração de texto aplicada a artigos do ENCAC e ELACAC (1990-2013) relacionados a acesso solar. In: **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, XI, 2014, Maceió-Alagoas.

Veitch, J.A. Lighting for well-being: a revolution in lighting? In Proceedings of the 2nd CIE Expert. **Symposium on Lighting and Health**, Ottawa, Ontário, Sept. 7-8. Pp. 56-61. 2006.