



UFOP

Universidade Federal
de Ouro Preto

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
DEPARTAMENTO DE ARQUITETURA E URBANISMO**

RÚBIA SHINAYDER REIS ARAÚJO

**IMPACTOS DA ILUMINAÇÃO NA SAÚDE E BEM-ESTAR
DOS SERES HUMANOS:
CICLO CIRCADIANO E ILUMINAÇÃO RESIDENCIAL**

**OURO PRETO
2022**



UFOP

Universidade Federal
de Ouro Preto

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
DEPARTAMENTO DE ARQUITETURA E URBANISMO**

RÚBIA SHINAYDER REIS ARAÚJO

**IMPACTOS DA ILUMINAÇÃO NA SAÚDE E BEM-ESTAR
DOS SERES HUMANOS:
CICLO CIRCADIANO E ILUMINAÇÃO RESIDENCIAL**

Trabalho Final de Graduação (2ª Etapa)
apresentado ao Curso de Arquitetura e
Urbanismo da Universidade Federal de Ouro
Preto, como requisito parcial para a obtenção
do grau de Bacharel(a) em Arquitetura e
Urbanismo.

Orientador: Paulo Monteiro

Coorientadora: Claudia Arcipreste

**OURO PRETO
2022**

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

A663i Araujo, Rubia Shinayder Reis.
Impactos da iluminação na saúde e bem-estar dos seres humanos
[manuscrito]: ciclo circadiano e iluminação residencial. / Rubia Shinayder
Reis Araujo. - 2022.
52 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientador: Prof. Dr. Paulo Marcos de Barros Monteiro.
Coorientadora: Profa. Dra. Claudia Maria Arcipreste.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola
de Minas. Graduação em Arquitetura e Urbanismo .

1. Arquitetura - Ciclo circadiano. 2. Iluminação (Arquitetura e
decoração) - Iluminação integrativa. 3. Iluminação (Arquitetura e
decoração) - Iluminação circadiana. I. Arcipreste, Claudia Maria. II.
Monteiro, Paulo Marcos de Barros. III. Universidade Federal de Ouro
Preto. IV. Título.

CDU 72:711.4

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CONTROLE E
AUTOMACAO



FOLHA DE APROVAÇÃO

Rúbia Shinayder Reis Araújo

Impactos da iluminação na saúde e bem estar dos seres humanos:

Ciclo circadiano e iluminação residencial

Monografia apresentada ao Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Arquiteto e urbanista

Aprovada em 17 de junho de 2022

Membros da banca

Dr Paulo Marcos de Barros Monteiro - Orientador - (Universidade Federal de Ouro Preto)

Dr Luiz Fernando Rispoli Alves - (Universidade Federal de Ouro Preto)

Me. Maurício Leonard de Souza - (Universidade Federal de Ouro Preto)

Paulo Marcos de Barros Monteiro, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 21/07/2022



Documento assinado eletronicamente por **Paulo Marcos de Barros Monteiro, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 21/07/2022, às 11:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site

http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?

[acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0](#), informando o código verificador **0365426** e o código CRC **F88955DF**.

Referência: Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 23109.009586/2022-89 SEI nº 0365426

*Essa conquista é dedicada à minha base: mãe, pai (meu avô), avó e minhas 2 tias. Até qualquer dia.
“Legado não é o que você deixa para as pessoas, é o que você deixa nas pessoas.” (autor desconhecido).*

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos às pessoas que deram suporte para que esse trabalho fosse concluído e me apoiaram durante todo curso: as amigas Amanda, Ana Flávia e Laís que me suportaram em muitos trabalhos, compartilharam caronas e me deram muito suporte para seguir no curso.

Douglas, obrigada por me deixar ficar na sua casa até de madrugada usando seu computador, obrigada pelos risos, pelo choro, pelas conversas, pelo suporte, obrigada por tanto. Você é incrível.

Diogo, meu parceiro e melhor amigo, obrigada por tudo. Você acreditou em mim em momentos que nem eu acreditava. Essa conquista é nossa.

Agradecimento especial ao meu orientador Paulo Monteiro, pela paciência, disponibilidade e sabedoria em cada palavra. Suas aulas me influenciaram a seguir com este trabalho e sua tranquilidade não me deixou desistir.

Obrigada Deus, esse momento foi único.

RESUMO

Nos últimos anos surgiram várias pesquisas relacionadas a iluminação em projetos arquitetônicos e sua relação com a regulação do ritmo circadiano. Porém pouco se avançou nas métricas para prática dos projetos. Através de pesquisa bibliográfica e estudo de projetos o presente trabalho visa demonstrar a influência da iluminação no ritmo circadiano dos seres humanos e como isso pode trazer impactos significativos na saúde dos seres humanos. Discorre-se a respeito de conceitos importantes, que controlados e com a aplicação dos conhecimentos da iluminação integrativa podem contribuir para obter ganhos de saúde e manter o bem-estar dos usuários.

PALAVRAS-CHAVE: Ciclo circadiano, Iluminação integrativa, Iluminação circadiana.

Abstract

In recent years, several types of research have emerged related to lighting in architectural projects and its relationship with the regulation of circadian rhythm. However, little progress has been made in the metrics for project practice. Through bibliographic research and project study, the present work aims to demonstrate the influence of lighting on the circadian rhythm of human beings and how it can have significant impacts on human health. Important concepts are discussed, which controlled and with the application of knowledge of integrative lighting can contribute to obtaining health gains and maintain the well-being of users.

KEYWORDS: Circadian cycle, Integrative lighting, Circadian lighting.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Espectro Eletromagnético.....	13
Figura 2- Olho humano.....	14
Figura 3- Curva de sensibilidade espectral dos bastonetes, estabelecida pelo CIE 1988.	15
Figura 4- Curva de sensibilidade espectral dos cones, estabelecida por Kaiser, P.K. e Boynton, R.M. em Human Color Vision, 1996.	15
Figura 5- Curvas de eficiência luminosa, estabelecidas pelo CIE.	16
Figura 6- 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.	17
Figura 7- Configuração claro-escuro versus configuração escura constante .	18
Figura 8- O relógio circadiano antecipa e adapta nossa fisiologia às diferentes fases do dia.....	20
Figura 9 - Secreção de melatonina e cortisol.....	22
Figura 10 - Experimento realizado usando luz vermelha durante a noite, na casa de repouso St. Francis	22
Figura 11 - Tabela de iluminâncias em lux para residências da antiga NBR5413	24
Figura 12 - Curva de sensibilidade da Melanopsina.....	25
Figura 13 - Sistemas de iluminação natural.....	26
Figura 14 - Medições realizadas com espectrômetro Everfine SPIC-200 a 1m.	27
Figura 15 - Comparação entre a composição espectral de três diferentes fontes de luz (linha azul) e sua capacidade de estimular a fotorrecepção circadiana (linha vermelha).	27
Figura 16 - Intensidade Luminosa	29
Figura 17 - Intensidade luminosa x fluxo luminoso x iluminância x luminância	29
Figura 18 - Fotorrecepção circadiana em ângulo de 0° a 45°	30
Figura 19 - Fotorrecepção circadiana em ângulo de 45° a 60°	30
Figura 20 - Grupos de temperatura de cor.....	31

Figura 21 - Temperatura de cor para determinados ambientes.....	32
Figura 22 - Saturação conforme índice de reprodução de cor.....	32
Figura 23 - Fatores determinante da iluminância adequada.....	33
Figura 24 - Luminária infantil	36
Figura 25 - Toolbox disponibilizado a partir do First International Workshop on Circadian	38
Figura 26 - Iluminação integrativa.....	40
Figura 27 - Hall dos elevadores do apartamento	41
Figura 28 - Detalhe do puxador da porta de entrada do apartamento	41
Figura 29 - Área interna com destaque para entrada do apartamento	42
Figura 30 – Living do apartamento	42
Figura 31 - Circulação e quartos do apartamento.....	43
Figura 32 - Corredor do apartamento	44
Figura 33 - Banheiro do apartamento	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CIE	Commission Internationale de L'éclairage (Comissão Internacional de Iluminação)
CLA	Luz Circadiana
CS	Estímulo Circadiano
DNA	Ácido desoxirribonucleico – complexo orgânico com instruções genéticas
ipRGCs	Intrinsically photosensitive retinal ganglion cell (células ganglionares intrinsecamente fotossensíveis)
LED	Lighting Emitting Diode - Tipo de lâmpada com tecnologia de iluminação Diodo Emissor de Luz
lux	Unidade de iluminância que mede a quantidade de luz que chega em uma superfície
nm	Nanômetro. É uma unidade de medida de comprimento do sistema métrico, correspondente a 10^{-9} metro

SUMÁRIO

1.	Introdução.....	10
1.1.	Justificativa	11
1.2.	Objetivos.....	11
1.2.1.	Objetivo Geral.....	11
1.2.2.	Objetivo Específico	11
1.3.	Metodologia	12
1.4.	Estrutura do trabalho	12
2.	A iluminação centrada no humano	12
2.1.	Anatomia do olho e fisiologia da visão.....	12
2.2.	Sistema não visual.....	16
2.3.	O ritmo circadiano.....	17
2.4.	Sensibilidade espectral do sistema não visual.....	20
2.5.	O impacto da luz na saúde humana	21
3.	Repensando o projeto de iluminação	23
3.1.	A arquitetura e a iluminação residencial	23
3.2.	Fatores importantes a serem considerados no projeto de iluminação residencial 25	
3.3.	Função estímulo circadiano (CS) / Luz circadiana (CLA)	37
3.4.	Iluminação integrativa	39
4.	Conclusão.....	45
	Referências	47

1. Introdução

A evolução na Terra se apresenta em ciclos e a luz solar integra um dos ciclos mais significativos da vida: o dia biológico e a noite biológica.

A história nos mostra como havia uma rotina de acordar ao nascer do sol, trabalhar ao ar livre, sob a luz natural e deitar quando o sol se punha. A luz do sol chega a 100.000 lux (SHIRANI; LOUIS, 2009) com alta temperatura de cor, e aparência mais azulada, provocando um estado de alerta necessário para as atividades do dia. Ao longo do dia o sol vai diminuindo gradativamente sua intensidade e tomando uma aparência amarelada, nos induzindo ao relaxamento. A luz do sol é o exemplo de iluminação ideal (FIGUEIRO,2010).

Porém, transformações na sociedade provocaram transformações no comportamento humano, atualmente permanecemos grande parte do dia dentro de escritórios, salas de aula... ambientes internos com pouca ou sem nenhuma luz natural, se fazendo necessário o uso da iluminação artificial. Além disso, desempenhamos atividades noturnas, ondem também utilizamos iluminação artificial.

Essas mudanças trouxeram alterações no ciclo dia biológico e noite biológica, trazendo oscilações no ritmo circadiano e consequentemente na produção da melatonina à noite.

FIGUEIREDO (2010, p.9) aponta que:

Essa coordenação entre o relógio biológico do cérebro e os relógios biológicos periféricos é extremamente importante para que cada órgão do corpo humano execute a tarefa correta na hora correta. Hoje sabemos que a perda desta sincronia entre os relógios biológicos está ligada a problemas de saúde como o câncer, cardiopatias, diabete, obesidade.

Em 2002 a descoberta de um sistema não visual que contribui para a ritmicidade de marcadores temporais internos, em ciclos, que regulam a fisiologia dos seres humanos trouxe uma evolução em relação a luz e saúde.

O projeto luminotécnico antes orientado a extrair informações visuais do ambiente está sendo cada vez mais orientado ao usuário. A partir desse momento a qualidade de vida e o conforto humano passaram a ser considerados em conjunto com as estratégias de economia de energia como fatores importantes para o projeto.

1.1. Justificativa

Durante este curso de Arquitetura e Urbanismo pouco se estudou sobre o impacto da iluminação para a saúde dos indivíduos. Conforme Bosboom (2016) a iluminação tem um importante papel na forma como nos sentimos ou reagimos e isso varia conforme temperatura e intensidade da cor, além disso existem um conjunto de evidências de que a iluminação pode trazer benefícios para o sono e a acuidade visual, assim como a luz azul pode suprimir a produção de melatonina, incentivando a produção de dopamina, serotonina e cortisol aumentando o estado de alerta de um indivíduo.

Segundo Lopes (2019) o correto funcionamento do ritmo circadiano é absolutamente necessário para preservar os mecanismos fisiológicos celular e conforme sua pesquisa estes ritmos influenciam a farmacologia e tolerabilidade de medicamentos oncológicos, de forma que os períodos de sono interrompidos geralmente são concomitantes à fadiga associada a doença e afetam todos os aspetos da vida dos doentes.

Baseado nisso, justifica-se o presente trabalho no âmbito acadêmico pela necessidade de contextualizar e apresentar novas discussões em relação a forma que a iluminação pode contribuir para a saúde das pessoas de maneira física e psicológica. A fim de contribuir com profissionais e estudantes de desenho industrial, design de interiores e arquitetura, esse trabalho aborda através de uma base teórica a importância de considerar aspectos físicos e fisiológicos nos projetos residências.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

Devido muitos processos biológicos essenciais funcionarem sob o controle circadiano e a luz ter grande influência no mesmo, o objetivo será demonstrar por meio de pesquisas em fontes teóricas a influência da iluminação artificial no ritmo circadiano e como ela pode gerar impactos na saúde e bem-estar dos seres humanos.

1.2.2. Objetivo Específico

- Estudar as relações de ciclo circadiano e saúde.

- Demonstrar como podemos usar a iluminação artificial de forma a não prejudicar o funcionamento do 'relógio biológico'.

1.3. Metodologia

Pesquisa qualitativa exploratória, usando de instrumentos de coleta a revisão de literatura, estudos de obras, vídeos e projetos de referência.

Pesquisa qualitativa: é quando o autor do trabalho analisa criticamente os dados coletados sobre o tema. Na pesquisa qualitativa, estamos falando sobre a visão do autor do trabalho sobre uma questão escolhida para abordar. Aqui, os dados são subjetivos, porque aborda motivações, comportamentos ou emoções que não podem ser quantificadas numericamente. (Significados, 2021)

1.4. Estrutura do trabalho

O presente trabalho foi dividido em quatro capítulos. Sendo o capítulo 1 a introdução sobre o tema abordado, os objetivos e justificativa do mesmo, a metodologia utilizada e a estrutura do trabalho.

O capítulo 2 é destinado a uma melhor compreensão do tema abordado e a relação deste com os seres humanos.

O capítulo 3 destina-se a apresentações e definições relacionadas aos conceitos de iluminação e fatores importantes a serem considerados no projeto de iluminação residencial, contribuindo para a saúde humana.

O capítulo 4 apresenta as conclusões identificadas através de estudo bibliográfico.

Nas referências são apresentados os materiais consultados para a realização deste trabalho.

2. A iluminação centrada no humano

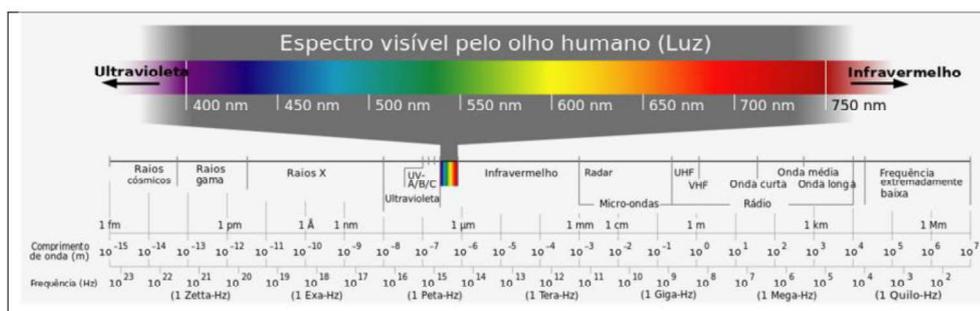
2.1. Anatomia do olho e fisiologia da visão

Conforme Ramos (2016) o olho é formado por um complexo conjunto de elementos, mas de forma simplificada as estruturas responsáveis para captação da luz e sua codificação são: córnea, íris, pupila, cristalino, retina, esclera e nervo ótico.

O CIE (2014) define luz como energia radiante capaz de excitar o sistema visual humano e Santos (2017) menciona que a radiação visível ocupa a região de

comprimento de onda delimitada pela faixa UV (Ultravioleta) e IR (Infravermelho), ficando entre aproximadamente entre 400nm e 750nm. Enquanto visível, Santos (2017) deixa claro que apenas uma parte dessa energia ativa determinados receptores para se tornar visível dentro do olho humano.

Figura 1 – Espectro Eletromagnético



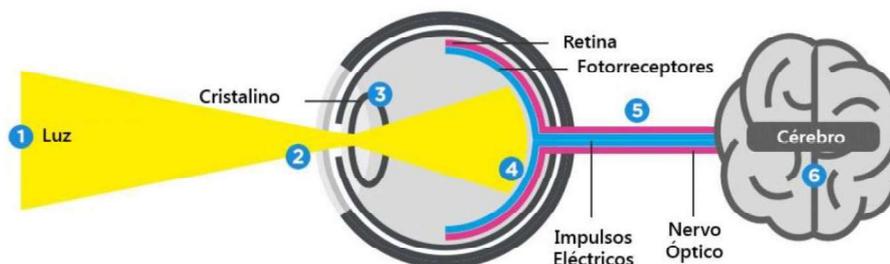
Fonte: Por Original Horst Frank, com algumas modificações por Jailbird. Tradução da versão de Alebergen. - Obra derivada de imagem: Electromagnetic_spectrum-es.svg, 15:39, 5 May 2011., CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=18122584>

Ramos (2016) explica conforme abaixo como a luz é percebida e interpretada pelo cérebro:

1. Ao chegar no olho, a luz sofre refração passando pela córnea até chegar à retina. A córnea é a primeira camada que a luz atinge.
2. A íris é a porção colorida do olho, logo atrás da córnea. Possui músculos para aumentar ou diminuir a pupila, a fim de controlar a quantidade luz conforme as condições de luminosidade. A pupila é a abertura central da íris, a “bolina preta” do olho, através da qual a luz passa para alcançar o cristalino.
3. O cristalino funciona como uma lente de câmera, se movimentando para atingir a refração ideal, gerando uma acomodação diferente para objetos mais longes ou mais próximos.
4. A retina recebe a luz focalizada pelo cristalino e essa luz é capturada por células fotorreceptoras da retina, os cones e os bastonetes. Os bastonetes são responsáveis pela visão noturna (visão escotópica), enquanto os cones pela visão diurna (visão fotópica), com maior resolução e com cores.

5. O nervo óptico converte os impulsos elétricos da retina para o córtex occipital do cérebro.
6. No cérebro ocorre a interpretação do senso de visão, criando assim a imagem.

Figura 2- Olho humano



Fonte: Essilor, sem data.

A retina apresenta 5 milhões de cones e 110 milhões de bastonetes. Apesar de os bastonetes serem numericamente maiores que os cones, os cones se localizam em maior concentração na fóvea (área que fica no eixo visual do olho) e em seu entorno, conseguindo perceber detalhes e outras características das imagens.

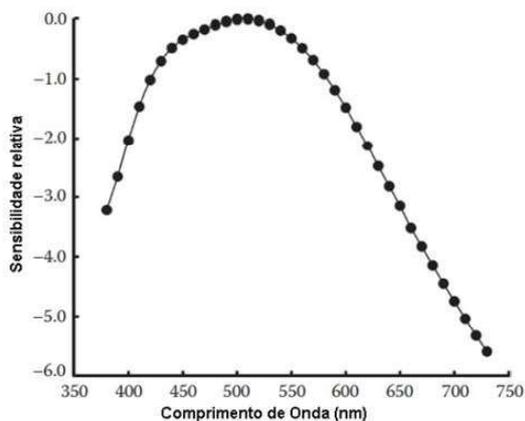
Os bastonetes não fazem distinção de cor e são sensíveis a uma ampla faixa de comprimentos de onda, com pico de sensibilidade em 504nm (Figura 2).

Conforme Soares (2018) a capacidade de distinguir as cores se dá pela existência de três tipos de cones sensíveis a comprimentos de ondas diferentes:

- os cones S são sensíveis a comprimentos de onda curtos, correspondente a cor azul e com pico de sensibilidade em 450nm (Figura 3);
- os cones M são sensíveis a comprimentos de ondas médias, correspondente a cor verde e com pico de sensibilidade em 525nm, (Figura 3);
- os cones L são sensíveis a comprimentos de ondas longas, correspondente amarelo e com pico de sensibilidade em 575nm (Figura 3).

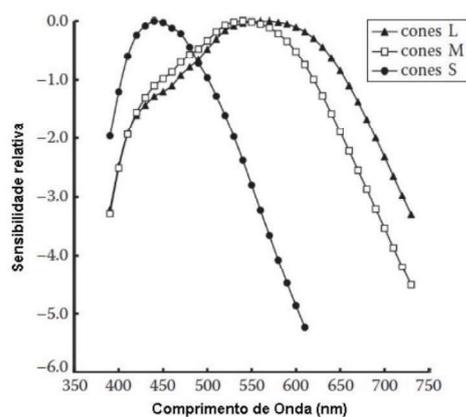
Por isso estímulos verdes parecerão mais fortes em comparação com os azuis, pois eles são capazes de estimular mais as fibras nervosas visuais.

Figura 3- Curva de sensibilidade espectral dos bastonetes, estabelecida pelo CIE 1988.



Fonte: BOYCE, 2014, p. 48.

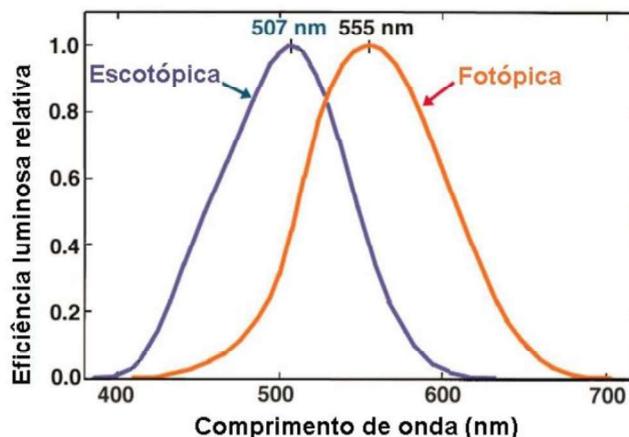
Figura 4- Curva de sensibilidade espectral dos cones, estabelecida por Kaiser, P.K. e Boynton, R.M. em Human Color Vision, 1996.



Fonte: BOYCE, 2014, p. 49.

Esses 4 tipos de fotorreceptores em ação conjunta dão origem às curvas de sensibilidade espectral específicas, chamadas de função de eficiência luminosa. Soares (2018) menciona que também são estabelecidos pelo CIE a função de $V(\lambda)$, fotópica (visão diurna), conhecida como $V(\lambda)$, possuindo o pico de sensibilidade espectral em 555nm e a função de eficiência luminosa escotópica (visão noturna), conhecida como $V'(\lambda)$, possuindo pico de sensibilidade espectral em 507nm (Figura 4).

Figura 5- Curvas de eficiência luminosa, estabelecidas pelo CIE.



Fonte: SOARES, 2018, p. 24.

2.2. Sistema não visual

Ciclos ambientais determinam movimentos do planeta, como as marés, as 24h do dia, os dias no ano, as fases da lua, ciclos de migração, reprodução e hibernação.

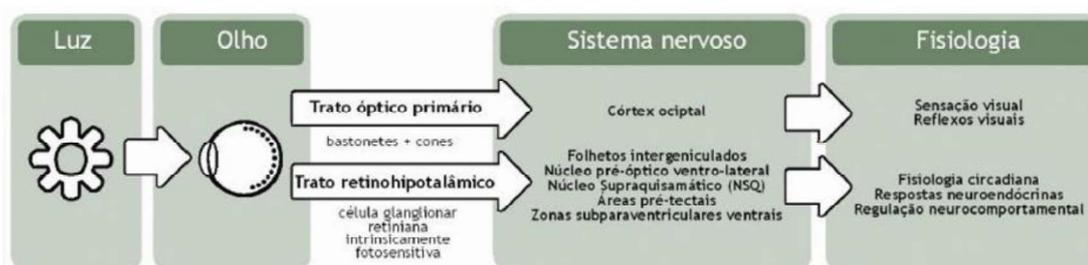
A variação entre claro e escuro ambiental regula também funções biológicas como “as oscilações da temperatura corporal, secreção de hormônios, sono, estado de alerta, além de oscilações ao nível celular como mitose e reparo de danos ao DNA (REA; BIERMAN; FIGUEIRO, 2008).

Segundo Hedlund (2020) pessoas, animais, plantas e até algumas bactérias e organismos unicelulares têm um relógio interno. Um sistema endógeno de aproximadamente 24h que regula as oscilações rítmicas na fisiologia e comportamento destes organismos. Os pesquisadores chamam isso de ritmo circadiano, do latim *circa diem* – "cerca de um dia".

Conforme explica Soares (2018), em 2002 pesquisadores descobriram na retina células ganglionares intrinsecamente fotossensíveis, ou ipRGCs. Ao receber a incidência da luz, por meio de um fotopigmento chamado melanopsina, ocorre a transdução da radiação eletromagnética visível em sinais nervosos; estes são conduzidos através de uma via neural denominada trato retino-hipotalâmico até os núcleos supraquiasmáticos do hipotálamo. Dos núcleos supraquiasmáticos do hipotálamo esses sinais nervosos são transmitidos por uma via neural até o gânglio cervical superior da coluna vertebral e transporta a informação não visual até a glândula pineal que circadianamente produz o hormônio melatonina, responsável pelo controle da nossa fisiologia noturna.

Esse fenômeno explica como pessoas funcionalmente cegas, em que os cones e os bastonetes são inativos, ainda são capazes de responder fisiologicamente à presença de luz (SHIRANI; LOUIS, 2009). Esse novo fotorreceptor, composto por ipRGC, confere ao olho a existência de um sistema não formador de imagens, um sistema não visual que é o principal responsável pelo sincronismo dos ritmos biológicos ao dia solar.

Figura 6- 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.



Fonte: MARTAU, 2019.

Soares (2018) explica que a partir daí consolidou-se a ideia de que a relação da luz com os seres humanos vai além de simplesmente propiciar auxílio à visão, passando a também ser entendido o olho como um órgão da percepção temporal.

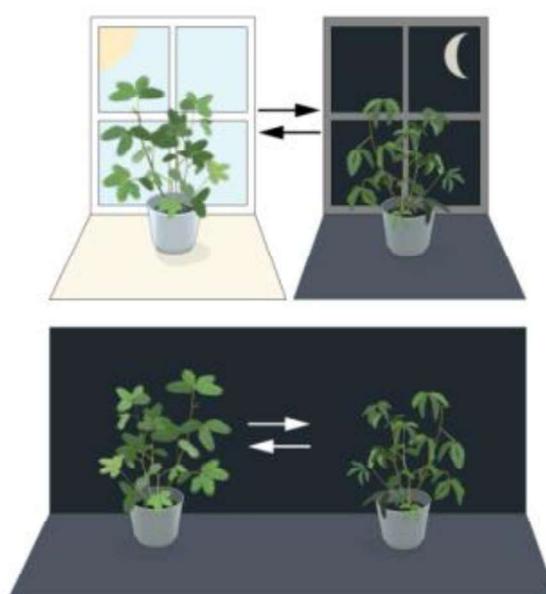
2.3. O ritmo circadiano

Segundo Schildknecht (1983), em 325 a.C. Andróstenes de Tasos, um almirante sob o comando de Alexandre O Grande, viajou ao longo do Norte da África a Índia e descreveu que as folhas do tamarindo (*Tamarindus indica*) exibiam um ciclo diário de movimento, no qual as folhas erguiam-se durante o dia e baixavam durante a noite. Este constituiria no primeiro registro documentado da possível existência de um sistema de temporização atuante em um ser vivo, denominado ritmo biológico.

De Mairan (1729) observou que as folhas da mimosa e seu pedículo dobravam-se ao pôr do sol, da mesma forma que quando tocamos ou sacudimos a planta e se abrem durante o dia tendo seus ramos e folhas sempre direcionados para a maior quantidade de luz. Como experimento colocou a planta em um baú e percebeu que a luz não era necessária para as oscilações da mimosa, tal mecanismo ocorria mesmo na ausência da luz, o que é uma forte evidência de que o ritmo é endógeno (interno).

No entanto apesar da repetibilidade do experimento, não pode descartar outros fatores que pudessem contribuir para a dobragem das folhas: ciclos de temperatura, vazamentos de luz ou mudanças em outros parâmetros meteorológicos.

Figura 7- Configuração claro-escuro versus configuração escura constante



Fonte: The Nobel Prize, 2017.

Na discussão dos resultados, De Mairan (1729) traçou um paralelo interessante com pessoas doentes que podem sentir o dia ou a noite de sua cama sem realmente ver a luz. Com este simples comentário, insinuou que os humanos também podem ter um relógio biológico endógeno.

Após anos, vários estudos acerca do ciclo biológico foram feitos. A presença dessas oscilações regulares relacionadas ao ciclo de iluminação presente na sequência dia/noite, constituiu a base empírica de uma nova área na Biologia, a cronobiologia.

Lopes (2019) cita Jürgen Aschoff, Franz Halberg, e Colin Pittendrigh como os principais pesquisadores que colocaram a cronobiologia como disciplina formal e grande parte do conhecimento de ciclo circadiano obtido através de estudo das moscas da fruta. Aschoff descobriu que além do relógio circadiano endógeno (interno), certos elementos exógenos, aos quais ele chamou de zeitgeber (do alemão “doadores de tempo”), influenciam o timing dos relógios internos.

Segundo Lopes (2019) a luz é o zeitgeber mais estudado e por ser exclusivamente captada pelos olhos é bastante comum, pessoas completamente

cegas sofrerem de distúrbios da fase de sono devido à falta da sincronização com o ciclo de luz e escuridão, ao longo de 24 horas.

A mais recente descoberta a respeito do ritmo circadiano foi divulgada pela The Nobel Prize (2017), os norte-americanos Jeffrey C. Hall, Michael Rosbash e Michael W. Young receberam o Nobel de Medicina e Fisiologia de 2017, juntos, eles conseguiram isolar o gene que regula o ritmo circadiano, descreveram o funcionamento da proteína produzida por ele e mostraram um mecanismo de "feedback" responsável pela regulação de todo o sistema.

Conforme Dr. Drauzio Varella explica em vídeo, no seu canal do You Tube, a partir dessa descoberta iniciaram várias pesquisas e hoje conseguimos estabelecer quais os principais hormônios e proteínas são formadas em função desse ritmo circadiano.

É importante ressaltar que diversos fatores podem influenciar o ritmo circadiano, como o espectro de radiação óptica e a sua magnitude, ou seja, a quantidade de energia absorvida, o tempo de exposição e em que horário do dia esse tempo de exposição aconteceu. “Quanto maior for a exposição à radiação óptica durante o dia menor será a sensibilidade do sistema circadiano durante a noite.” (SANTOS, 2017, p.28).

Isso diferirá o horário de repouso de cada indivíduo e fará com que eles tenham horários de funcionamento biológico um pouco diferente, sendo inclusive categorizados como matutinos (relógios biológicos ligeiramente atrasados) ou vespertinos (relógios biológicos ligeiramente avançados). Por repouso entende-se o início da produção do hormônio melatonina que induz o corpo ao relaxamento e ao repouso, não estando relacionado a qualidade.

Figura 8- O relógio circadiano antecipa e adapta nossa fisiologia às diferentes fases do dia



Fonte: The Nobel Prize, 2017.

2.4. Sensibilidade espectral do sistema não visual

As ipRGCs são mais sensíveis a luz de comprimentos de onda curtos, na região do espectro azul (LOCKEY, 2009), com curva de sensibilidade espectral apresentando pico em 480nm (LUCAS et al., 2014) sendo assim qualquer fonte de luz que possua azul em sua composição espectral, dependendo da intensidade, poderá sinalizar ao sistema visual que é dia.

Figueiredo (2019) cita que comprimentos de onda longos, como o da luz vermelha não exercem atividade sobre o sistema circadiano. Ou seja, as células ganglionares intrinsecamente fotossensíveis são estimuladas diretamente pela luz azul, presente em abundância na luz natural e em outras fontes de iluminação. Isto significa que pode ocorrer uma desorganização temporal devido a exposição constante à luz azul, afetando o ritmo circadiano e consequentemente à secreção ou inibição da melatonina.

The Nobel Prize (2017) ao conceder o prêmio aos laureados afirmou: “Nosso relógio biológico ajuda a regular os padrões de sono, o comportamento alimentar, a liberação de hormônios, a pressão arterial e a temperatura corporal”.

A alteração no ritmo circadiano está relacionada a distúrbios do sono, déficit de atenção, alterações de humor, depressão sazonal, câncer, obesidade, diabetes e

problemas cardíacos, além de prejudicar o rendimento no desempenho de tarefas e no aprendizado (TOSINI; FERGUSON; TSUBOTA, 2016).

2.5. O impacto da luz na saúde humana

Conforme publicado pelo The Nobel Prize (2017) “Desde as descobertas seminais pelos três laureados, a biologia circadiana se tornou um campo de pesquisa vasto e altamente dinâmico, com implicações para nossa saúde e bem-estar”.

Segundo Lacy (1996) o uso da luz elétrica tem causado efeitos nocivos. Pessoas que trabalham em ambiente fechados e ficam expostas a iluminação artificial durante todo tempo muitas vezes ficam estafadas e com dificuldades de concentração.

Lacy (1996) cita o estudo de iluminação de espectro total em escolas para melhora do desempenho dos alunos e o banho de luz solar para tratamento de tuberculose como exemplos de que a luz usada pela maioria das pessoas em casa não tem o espectro do qual precisamos para nos manter saudáveis.

Segundo Soares (2017) a incidência da luz está relacionada a produção do hormônio melatonina, esta é sintetizada a noite em condições de ausência de luz e possui funções anti-inflamatórias, antitumorais, antioxidantes e cronobióticas.

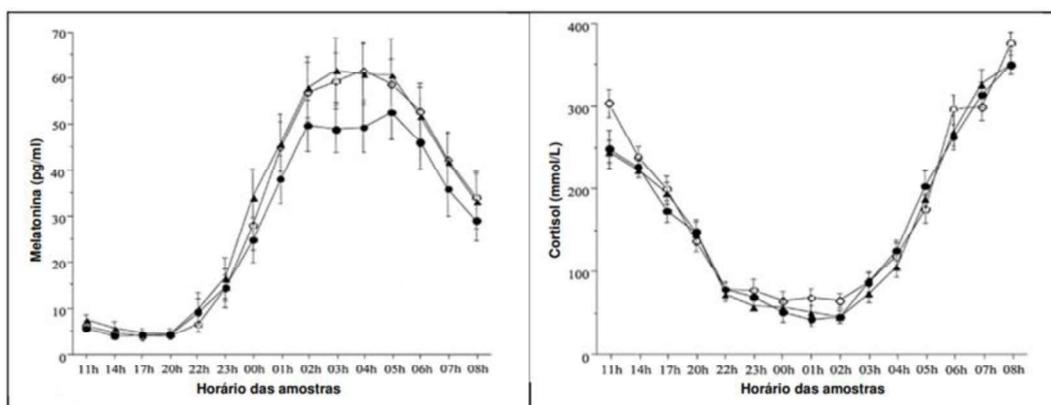
Como esclarece Soares (2018, p.27):

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.

Em 2003, Yvan Touitou publicou um artigo intitulado “Reprodutibilidade dos ritmos circadianos de sérum cortisol e melatonina em indivíduos saudáveis”, onde analisou a capacidade e estabilidade de repetição do ritmo circadiano em 31 homens entre 20 e 30 anos.

Todos os indivíduos ficavam em repouso entre 23hs e 08hs e em atividade das 08hs às 23hs. As medições foram feitas com intervalos de 3hs entre 11hs e 23hs e de 1 hora em 1 hora das 23hs às 08hs através de cateter. Durante o repouso eles não eram acordados para coleta e repousaram em um local com menos de 30lx (sem descrição da fonte de luz e seu espectro) e utilizando veda olhos.

Figura 9 - Secreção de melatonina e cortisol



Fonte: Touitou, 2003.

Santos (2017) menciona o estudo da Eng. Kimberly Mercier, em 2008 ela realizou uma pesquisa de campo na casa de repouso St. Francis, localizada em Stella Niagara, NY – EUA. Lâmpadas fluorescentes tubulares ficavam acesas durante a noite para monitoramento dos 32 quartos onde viviam idosos saudáveis e portadores de demência, separados por andar. Foram adicionados filtros vermelhos em 1/6 das lâmpadas, as quais ficavam acesas durante o período de repouso, desligando as demais lâmpadas.

Figura 10 - Experimento realizado usando luz vermelha durante a noite, na casa de repouso St. Francis



Fonte: SANTOS, 2017.

Após a troca do sistema de iluminação, notou-se que os residentes aumentaram o tempo de sono durante a noite e reduziram os cochilos durante o dia. Outros benefícios ainda foram observados, como explica Santos (2017, p.32):

... redução de períodos de doenças como gripes e resfriados, redução de pesadelos e redução de incidência de insônia. Alucinações cessaram, a diminuição de comportamentos agressivos a melhoria da lucidez e o aumento da participação em atividades sociais pelos residentes.

Dentro do apresentado vemos que de fato a luz alinhada com o estímulo apropriado do sistema circadiano melhora a saúde e o bem-estar.

3. Repensando o projeto de iluminação

3.1. A arquitetura e a iluminação residencial

Tradicionalmente, a iluminação arquitetônica é planejada de modo a prover luz que proporcione melhor desempenho visual (ABNT, 2013). Porém, existe uma diversidade inimaginável de residências, diferentes tipologias, usuários, mobiliários, acabamentos e iluminação.

Faz-se necessário entendermos alguns conceitos:

- Iluminância - “A iluminância é definida como sendo o fluxo luminoso incidente por unidade de área iluminada, ou ainda, em um ponto de uma superfície, a densidade superficial de fluxo luminoso recebido” (BORTONI et al., 2012, p.127).
- Fluxo luminoso “Fluxo luminoso é a quantidade de luz produzida pela lâmpada, emitida em todas as direções, que pode produzir estímulo visual. Unidade: lúmen – lm” (BORTONI et al., 2012, p.126).
- Luminância - é o fenômeno que permite a visualização de objetos, quando iluminados (VIANA, 2019).

Atualmente o Brasil segue a norma internacional ISO 8995-1 de 2002, apresentada pelo site da ABNT como NBR ISO 8995-1 2013. A NBR 8995 traz novos requisitos de qualidade para sistemas de iluminação: índice de ofuscamento unificado (UGR) e índice de reprodução de cor (Ra). Esta manteve o nível de iluminância, porém não cita valores referenciais de iluminância para ambiente residenciais, focando apenas em ambientes de trabalho. Sua antecessora, a NBR 5413 de 1992 disponibilizava níveis de iluminância para ambientes residenciais conforme abaixo.

Figura 11 - Tabela de iluminâncias em lux para residências da antiga NBR5413

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
- hall, escadas, despensas, garagens:	
. geral	75 - 100 - 150
. local	200 - 300 - 500
- banheiros:	
. geral	100 - 150 - 200
. local (espelhos)	200 - 300 - 500

Fonte: NBR 5413, 1992.

Por se tratar de ambientes tão variáveis é difícil que possa existir uma padronização de níveis de iluminação, principalmente quando baseados apenas em iluminância, sendo coerente que a ISO CIE 8995-1 2002 não cite tais valores.

Outro ponto que afeta as residências é a luz intrusa, conforme citado por Novaes (2018), ela consiste em uma luz projetada para iluminar um determinado espaço ou objeto acaba se estendendo para outro espaço, assim como luzes de postes e outdoors.

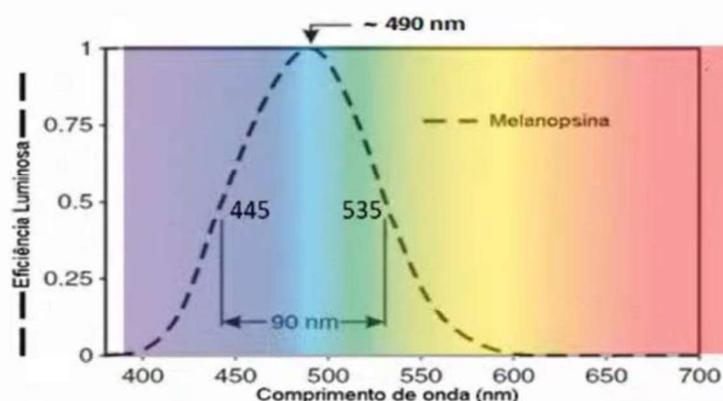
Sendo assim precisamos pensar o projeto residencial de forma que o mesmo possa trazer conforto e bem-estar aos usuários durante o dia e a noite, conectando o ambiente externo e interno e se possível eliminando fontes que gerem desconforto ou impactos na saúde e bem-estar dos indivíduos.

3.2. Fatores importantes a serem considerados no projeto de iluminação residencial

3.2.1. A iluminação natural

A NBR ISO 8995-1: 2013 menciona que a luz natural varia em nível e composição espectral com o tempo. Conforme Soares explica em palestra concedida no Youtube para o canal Luz, Decor & Ação! de maneira simples, o nosso organismo ao longo de sua evolução passou a entender a luz azul como um sinal de que é dia. Podemos observar que a curva de sensibilidade espectral da Melanopsina é mais sensível ao azul em torno de 490nm, o que equivale ao azul ciano.

Figura 12 - Curva de sensibilidade da Melanopsina

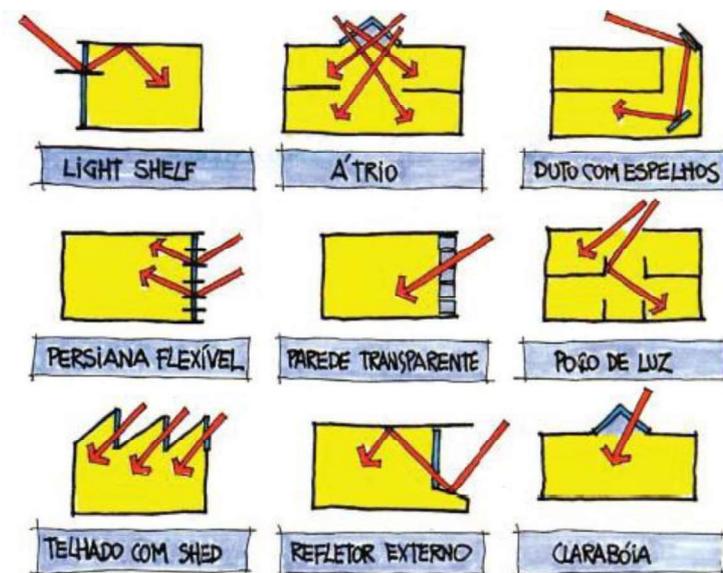


Fonte: SOARES, 2022.

Sendo assim a melhor luz é a recebida através da iluminação natural, a iluminação do céu.

Em artigo publica em 2012, Marcela Fontes aborda os tipos de iluminação natural como direta, quando a luz é vinda diretamente do sol; difusa, neste caso sua luz é proveniente do céu; indireta, é o caso da luz refletida pelo entorno; zenital, onde ocorre uma uniformidade na distribuição de luz, conforme a ABNT (1998) é a porção de luz natural produzida pela luz que entra através dos fechamentos superiores dos espaços internos; e lateral, sua principal característica está na desuniformidade de distribuição da luz no ambiente, pois quanto mais distante um determinado ponto do ambiente está da janela, menor será o nível de iluminância encontrada no local (Vianna & Gonçalves, 2004 *apud* FONTES, 2012, p.103).

Figura 13 - Sistemas de iluminação natural



Fonte: FONTES, 2012.

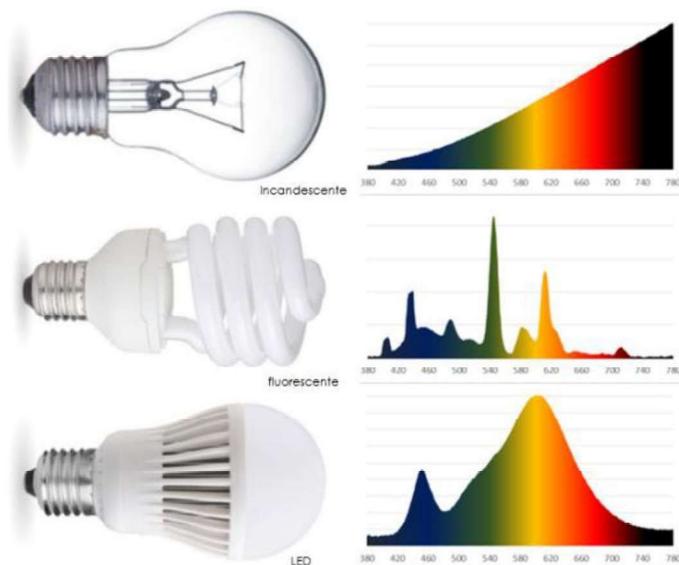
Além de contribuir para o ritmo circadiano a iluminação natural vai gerar uma economia de energia.

3.2.2. Composição espectral

“Ao se comparar duas fontes de luz, aquela capaz de emitir luz cuja composição espectral se aproxime da sensibilidade espectral do sistema não visual (ou seja, aquela que emita mais luz azul em torno de 480nm) terá maior eficácia circadiana” (AL-ENEZI et al., 2011 *apud* SOARES, 2018) e exigirá um menor pacote de luz para alcançar os mesmos efeitos fisiológicos que uma fonte com menos luz azul (ANDERSEN; GOCHENOUR; LOCKEY, 2013 *apud* SOARES, 2018).

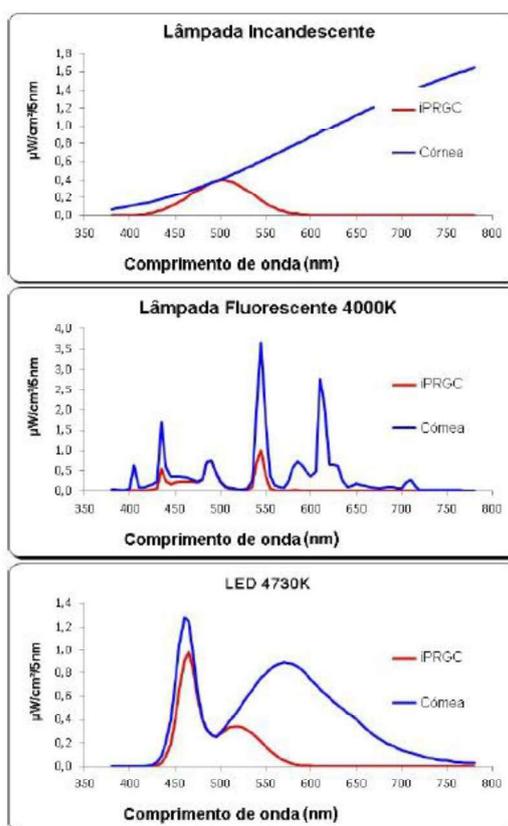
Existe uma diversidade de fontes de luz comercializadas, os 3 tipos de tecnologia que emitem radiação dentro do espectro visível e mais comuns são as lâmpadas de filamento, as lâmpadas de descarga (fluorescentes ou vapores metálicos) e as lâmpadas de LED (diodo emissor de luz).

Figura 14 - Medições realizadas com espectrômetro Everfine SPIC-200 a 1m.



Fonte: SANTOS, 2017.

Figura 15 - Comparação entre a composição espectral de três diferentes fontes de luz (linha azul) e sua capacidade de estimular a fotorrecepção circadiana (linha vermelha).



Fonte: Gráficos gerados no "toolbox" mencionado em (LUCAS et al., 2014 *apud* SOARES, 2018, p. 41)

Conforme Sores (2022) explica, dos 3 tipos de lâmpada analisados a curva de emissão espectral da luz da lâmpada de LED com a do fotorreceptor circadiano praticamente se coincidem, portanto podemos dizer que o LED tem estímulo biológico significativo, ou seja, maior capacidade para causar a supressão pineal do hormônio melatonina, precisando de atenção em sua utilização.

Algumas recomendações para o projeto luminotécnico residencial com LEDs são feitas por Soares (2018) com base em resultados obtidos durante estudo de caso.

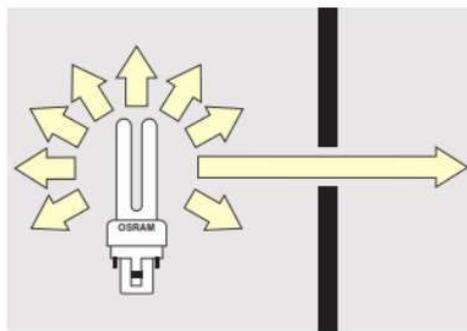
- Utilizar LEDs com baixas temperaturas de cor nos ambientes da área social e da área íntima;
- Utilizar LEDs com médias ou elevadas temperaturas de cor nos ambientes da área funcional de utilização diurna;
- Utilizar sistemas que possibilitem a troca de temperatura de cor nos ambientes em que haja o desempenho de tarefas visuais diurnas e noturnas, como cozinhas, lavanderias e escritórios;
- Priorizar o uso de sistemas de iluminação indireta e/ou difusa;
- Evitar fontes de luz aparentes;
- Utilizar sistemas eletrônicos para controle dos níveis de luz;
- Inserir luz noturna (para evitar o acendimento de luzes ao longo da noite) que não contenha azul em sua composição espectral;
- Verificar, para cada projeto residencial, os níveis de Luminância projetados pelos sistemas de iluminação nos olhos dos usuários, especialmente nos ambientes de maior permanência à noite.

3.2.3. Intensidade da luz (I)

A intensidade luminosa é a quantidade de luz emitida por uma fonte luminosa em uma determinada direção, ou seja, a luz dirigida em um fecho. Sua unidade de medida é a candela (cd).

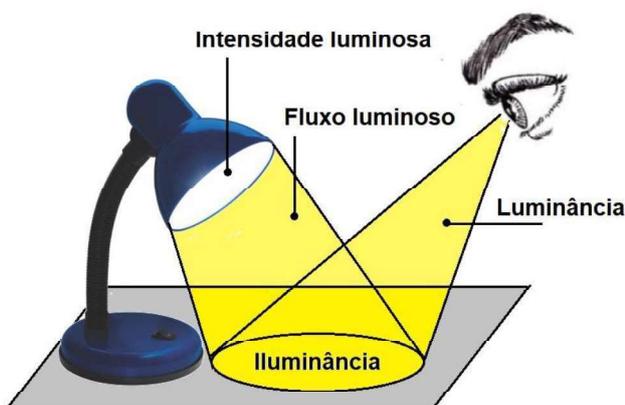
A intensidade luminosa é medida para entender como as lâmpadas vão distribuir a luz e é útil para avaliar adequadamente se um espaço tem ou não condições de iluminação adequadas.

Figura 16 - Intensidade Luminosa



Fonte: Manual Lumínotécnico Prático Osram *apud* LOPES 2016.

Figura 17 - Intensidade luminosa x fluxo luminoso x iluminância x luminância



Fonte: VIANA, 2019.

No experimento de Soares (2018, p.74), foi constatado que:

...para o sistema não visual circadiano, a avaliação dos níveis de Luminância é mais importante que dos níveis de Iluminância, pois houve casos em que estes eram extremamente baixos, mas aqueles projetavam nos usuários intensidades luminosas elevadas, causando impacto nas variáveis biológicas aqui aferidas.

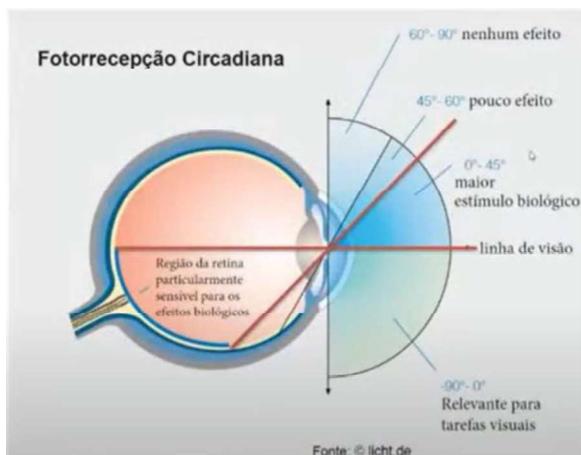
A intensidade da luz artificial de ambientes fechados, deve variar gradualmente ao longo do dia, assim como o ciclo solar.

3.2.4. Ângulo de incidência da luz

A luz que vem de todos os lados não fornece a informação que é dia. Soares (2022) explica que existe um maior estímulo biológico entre 0° e 45° a partir da linha de visão horizontal, ou seja, a luz que incidir nesse ângulo de visão, a depender da

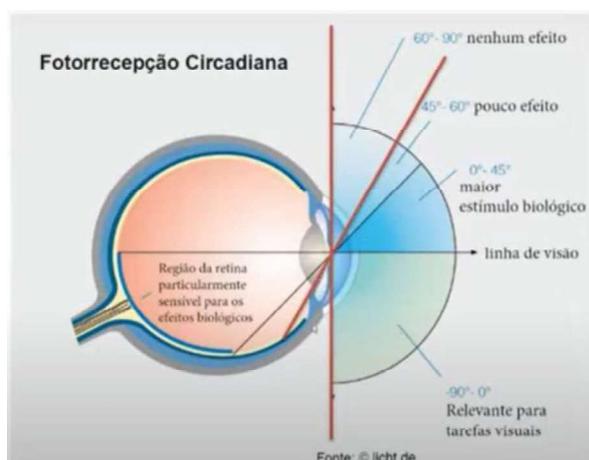
quantidade de luz azul, dará a informação que é dia porque as células ganglionares intrinsecamente fotossensíveis estão concentradas na área inferior da retina.

Figura 18 - Fotorrecepção circadiana em ângulo de 0° a 45°



Fonte: SOARES, 2018.

Figura 19 - Fotorrecepção circadiana em ângulo de 45° a 60°



Fonte: SOARES, 2018.

Sendo assim podemos utilizar essa informação como uma estratégia de projeto para iluminar o ambiente a noite sem fazer com que o cérebro entenda essa luz como dia.

3.2.5. Temperatura de Cor [K]

Expressa a aparência da cor da luz. Importante ressaltar que a temperatura de cor não está relacionada a Eficiência Energética da lâmpada, ou seja, a impressão de que quanto mais clara mais potente é a lâmpada está incorreta.

Figura 20 - Grupos de temperatura de cor

Aparência da cor	Temperatura de cor correlata
quente	abaixo de 3 300 K
intermediária	3 300 K a 5 300 K
fria	acima de 5 300 K

Fonte: NBR ISO 8995-1: 2013.

Para a NBR ISO 8995-1: 2013 “a escolha da aparência da cor é uma questão psicológica, estética e do que é considerado natural”.

Um estudo realizado por Chellappa (2011) expôs 16 homens jovens saudáveis, a diferentes condições de iluminação: lâmpadas fluorescentes compactas com 40lux a 6500K e 2500K e lâmpadas incandescentes de 40lux a 3000K. A cada 40 minutos amostras de saliva eram coletadas para análise. Na lâmpada de 6500K com uma intensidade luminosa de 40lux ocorreu uma supressão de melatonina em 20%, comparada a lâmpada com a mesma intensidade luminosa e 3000K de temperatura de cor. Durante esse estudo percebeu-se que a temperatura de cor 2500K aumenta a sonolência e 6500K aumenta a percepção de bem-estar, o que relaciona a supressão de melatonina e demonstra que mesmo com uma intensidade luminosa relativamente baixa, devido a variação da temperatura da cor das lâmpadas, ocorre interferência no ciclo circadiano.

A partir de tecnologias de iluminação a temperatura de cor pode variar ao longo do dia e ser usado como estratégia de projeto para proporcionar bem-estar e melhorar o sono dos usuários, assim como aumentar a concentração e o desempenho durante outras atividades.

Sendo assim deve-se evitar o uso continuado da luz amarela em áreas de serviço e de circulação de idosos, pois ela poderá levar ao relaxamento, podendo contribuir para acidentes.

Figura 21 - Temperatura de cor para determinados ambientes



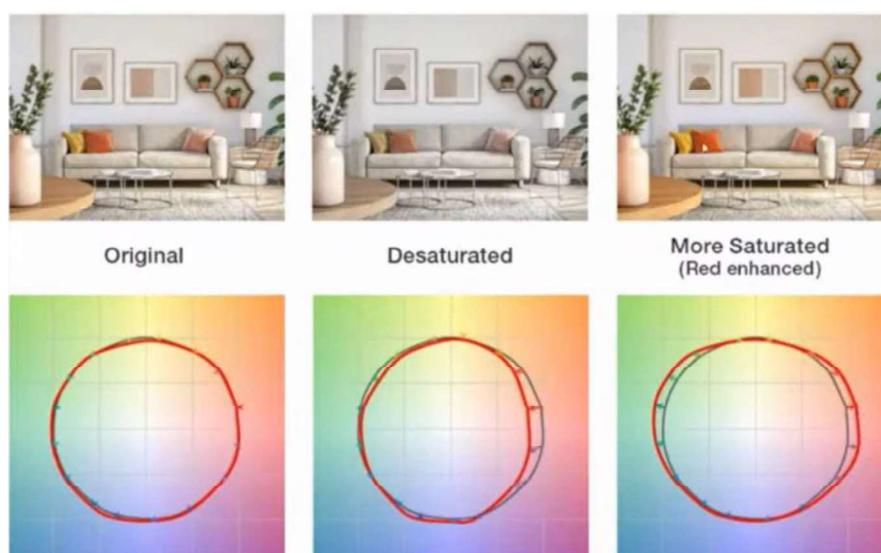
Fonte: EMPALUX, 2015 *apud* LOPES 2016.

3.2.6. Índice de Reprodução de Cores (IRC, CRI ou Ra)

Conforme a NBR ISO 8995, a reprodução da cor é importante tanto para o desempenho visual quanto para a sensação de conforto e bem-estar. Seu número varia de 0 a 100 e classifica a qualidade relativa de reprodução de cor de uma fonte, identificando a aparência de como as cores dos objetos e pessoas serão percebidas quando iluminados pela fonte de luz em questão.

“Não se recomenda da utilização de lâmpadas com Ra inferior a 80 em interiores onde as pessoas trabalham ou permanecem por longos períodos.” (NBR ISO 8995-1: 2013, p.9).

Figura 22 - Saturação conforme índice de reprodução de cor



Fonte: SOARES, 2022.

3.2.7. Faixa etária dos usuários

Na entrevista de Soares (2020, 2022) ele explica que a sensibilidade espectral muda de acordo com a faixa etária.

A degeneração macular da retina devido uma exposição constante a luz azul ao longo da vida resulta na lesão progressiva da mácula e, conseqüentemente, na perda gradual da visão central.

Terry McGowan, diretor de engenharia e tecnologia da Associação Americana de Iluminação (ALA) em 2018 fez a seguinte observação:

Depois dos 60 anos, as alterações nos olhos e no sistema visual aceleram de forma que menos luz atinge o olho. Portanto, as pessoas precisam de mais luz para ver detalhes. Como o olho perde a capacidade de se acomodar, seus músculos precisam trabalhar mais. Os olhos se cansam mais rápido, especialmente quando realizam tarefas difíceis, como dirigir à noite ou ler letras pequenas. A solução é tornar a visão mais fácil. Isso significa não apenas ler livros impressos com letras grandes, mas sim, ajustar o brilho e configurar uma iluminação especial para áreas de tarefas.

A iluminância adequada proporciona segurança visual para executar tarefas e atende as necessidades de desempenho visual. Na antiga NBR 5413 a idade era um dos fatores determinantes para uma iluminância adequada.

Figura 23 - Fatores determinante da iluminância adequada

Características da tarefa e do observador	Peso		
	-1	0	+1
Idade	Inferior a 40 anos	40 a 55 anos	Superior a 55 anos
Velocidade e precisão	Sem importância	Importante	Crítica
Refletância do fundo da tarefa	Superior a 70%	30 a 70%	Inferior a 30%

Fonte: NBR 5413: 1992.

Giro (2018) explica que ao envelhecer os ocorrem alterações nos números de bastonetes, endurecimento ou amarelamento da lente do olho, diminuição do tamanho da pupila e doenças oculares. Tais fatores reduzem a quantidade de luz que entra no olho para a formação da visão e aumenta a sensibilidade ao brilho. O olho também se torna menos sensível ao espectro de luz azul. Por tudo isso a capacidade de enxergar luz na faixa fria é diminuída, ou seja, a utilização de luz mais fria, como lâmpadas de Led de 5.000K ou 6.000K, pode ajudar a aumentar a capacidade dos olhos mais velhos distinguirem melhor as cores.

Giro (2018) também faz um alerta importante:

Muitos lares de idosos e asilos têm níveis de luz fraca, principalmente os com iluminação fluorescente (não adequada para clínicas e residências), que podem causar perturbações nos ritmos circadianos do corpo e levar a efeitos negativos na saúde - a cintilação destas lâmpadas também pode ser muito prejudicial, especialmente para pessoas com tendências ao mal de Alzheimer ou as que sofrem de epilepsia, enxaquecas, catarata ou glaucoma.

Como segurança e para evitar que as luzes fiquem acessas a noite toda, sugerimos conectar a iluminação sensores de presença ou de movimento em pontos estratégicos como os caminhos para o banheiro. Além disso luzes de emergência em LED são indispensáveis para pessoas idosas, a fim de prevenir acidentes em caso de quedas súbitas de energia.

Outro fator importante é que os idosos apresentam o seu contraste de visão mais fraco, adaptando-se mais lentamente às mudanças no nível de luz dos ambientes e isso prejudica sua movimentação segura. Giro (2018) recomenda não usar luminárias que criam muitos efeitos e contrastes, priorizando uma iluminação uniforme e consistente. Especialistas em luminotécnica sugerem cerca de 30 lumens por metro quadrado nos quartos e corredores.

A iluminação externa é mais brilhante que a existente dentro da residência, sendo assim recomenda-se no hall de entrada, sacadas cobertas ou varandas níveis de luz mais altos que o do interior da residência, para facilitar a transição na diferença de iluminação aos olhos dos idosos.

Para evitar acidente e até a fadiga ocular, Giro (2018) sugere usar iluminação indireta no teto, a fim de criar uma fonte de iluminação mais difusa, evitando assim o ofuscamento nos olhos dos idosos.

3.2.8. Hora de exposição

Em um espaço arquitetônico a geometria primária que afetará o tempo de incidência de luz natural e esta é de extrema importância para a manutenção do ritmo circadiano. Do mesmo modo que ocorre o ciclo de luz natural precisamos planejar a luz artificial considerando intensidade, espectro, duração e tempo corretos (ANDERSEN; GOCHENOUR; LOCKEY, 2013 *apud* SOARES, 2018).

Soares (2022) explica que uma iluminação de 500lux por exemplo pode fazer sentido em determinado cômodo se acessa durante o dia, mas a noite, no ciclo natural, não haveria luz, portanto, uma luz com essa intensidade dependendo do tempo de

exposição poderia ser prejudicial. Ou seja, determina luz pode ser muito importante para a luz do dia, mas não funciona da mesma maneira a noite.

3.2.9. Distúrbios neurológicos

A iluminação é um estímulo sensorial que algumas pessoas recebem de maneira mais ou menos intensa. Algumas pessoas desenvolvem Transtorno de Processamento Sensorial e a luz muito intensa é prejudicial.

A neuropediatra Dra. Paula Giroto explica que o Transtorno de Processamento Sensorial (TPS) se trata de uma condição em que, tanto o cérebro, quanto o sistema nervoso apresentam dificuldades para processar estímulos do ambiente, portanto é importante trabalhar com uma menor intensidade da iluminação para quem é hipersensível a luzes.

Soares (2022) também lembra da trepidação de luz não visível, esta pode provocar desde incômodos em pessoas autistas, portadores de demência, Alzheimer a ataques epiléticos em pessoas fotossensíveis.

Portanto entreviste os moradores da residência antes de fazer o projeto e procure saber se algum deles tem hipersensibilidade a luz.

3.2.10. Gravidez

Souza (2022) explica que durante o desenvolvimento do feto a mãe é responsável pela sincronização do ritmo circadiano do bebê, sendo importante manter o ciclo claro escuro da mãe para preparar o bebê para quando estiver em ambiente extrauterino.

Os bebês ainda não têm a glândula pineal totalmente desenvolvida acarretando a produção da melatonina de forma bastante irregular e dependendo do leite materno para que o bebê recebe mais melatonina e tenha um ciclo de sono mais regular.

Em artigo publicado por Martau (2021) foi citado um estudo de fatores que podem influenciar o ritmo circadiano dos bebês e notou-se que recém-nascidos alimentados no peito, meninas e ser o primeiro filho se destacaram como fatores responsáveis pelo desenvolvimento do ciclo circadiano quando comparado aos outros bebês.

Martau (2021) também cita um estudo sobre bebês prematuros onde foi usada a iluminação com padrões de claro e escuro em UTI neonatal, os bebês apresentaram

um aumento no tempo de sono e ganho de peso comparando com os bebês mantidos em UTI com sistema de iluminação convencional (iluminação constante e com alta intensidade).

Sendo assim o ciclo claro e escuro é tão importante para a mãe quanto para o bebê sugere-se então:

- Evitar a iluminação continuada e com alta intensidade;
- Evitar manter iluminação elétrica durante a noite, a luminária infantil apesar de muito atrativa afeta o ritmo circadiano das crianças;
- Utilize iluminação com comprimentos de onda mais altos, como amarelo e vermelho durante amamentação e trocas de fralda noturna;
- Estabelecer um padrão de exposição do bebê à luz diurna (preferencialmente luz natural);
- Evitar expor bebês a fontes e luz com alto contraste azul após o entardecer.

Figura 24 - Luminária infantil



Fonte: Martau, 2021.

3.3. Função estímulo circadiano (CS) / Luz circadiana (CL_A)

Existe uma discussão sobre qual métrica seria adequada para representar o sistema circadiano no desenvolvimento de projetos de iluminação. Na dissertação de Chaves (2020) observamos que o estímulo circadiano (CS) é a única curva de sensibilidade espectral que leva em consideração todo o sistema de fotorreceptores que compõem a retina, enquanto as demais baseiam suas métricas exclusivamente na sensibilidade espectral do ipRGC.

Esse “modelo hipotético” da fototransdução do sistema circadiano humano foi publicado por Mark Rea em um artigo em 2005 na busca de quantificar a luz para o sistema não visual. Em 2011 um novo artigo foi publicado citando uma evolução do método.

O modelo matemático CS prevê a capacidade das fontes de luz artificial em suprimir a síntese de melatonina noturna. As duas novas unidades são a CL_A é a sensibilidade espectral e o CS, a sensibilidade absoluta do sistema circadiano humano.

Chaves (2020, p.137) aborda em sua dissertação a relação funcional entre CS e CL_A e esclarece:

O estímulo circadiano (CS) é a transformação da luz circadiana (CL_A) em uma escala relativa do valor mínimo para a ativação (CS = 0,1) e para a saturação (CS=0,7) de resposta do sistema circadiano equivalente à supressão noturna de melatonina em porcentagem (10% a 70%) após a exposição de uma hora à luz.

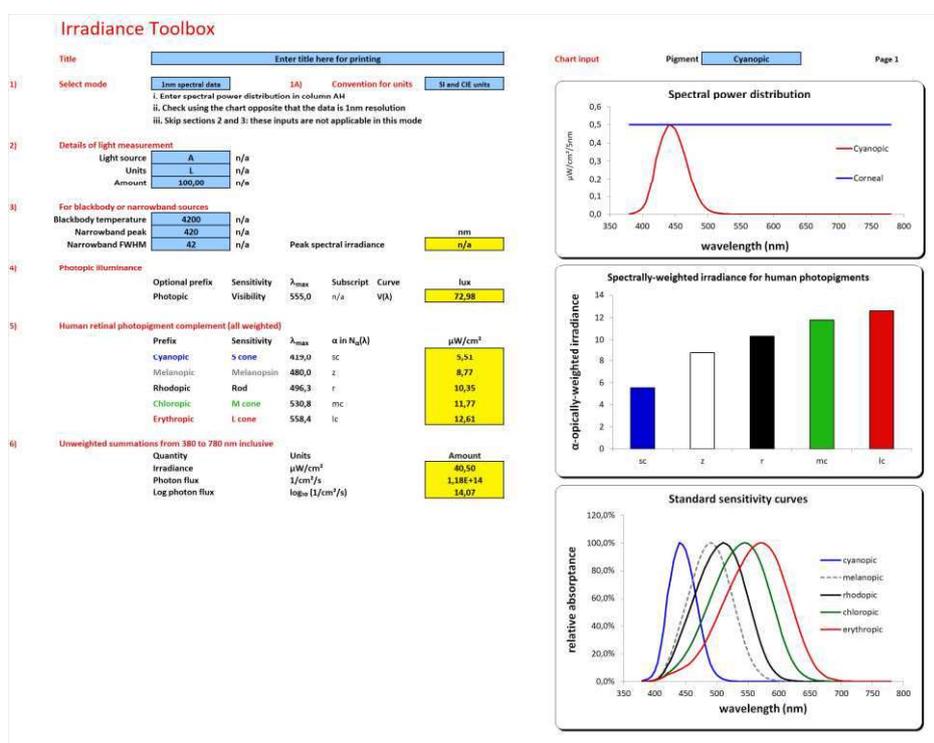
Chaves (2020) ainda aborda o conceito de Luz Circadiana (CL_A) segundo Rea e Figueiro (2018) como “a irradiância na córnea ponderada para refletir a sensibilidade espectral do sistema circadiano humano, medida pela supressão aguda da melatonina após uma hora de exposição à luz”.

Soares (2018) explica que o método CS ainda não é recomendado pela Comissão Internacional de Iluminação por não ser ainda reconhecido pelo Sistema Internacional de Unidades, mas a métrica CS tem sido continuamente aperfeiçoada e validada por vários estudos de laboratório.

Uma calculadora denominada Circadian Stimulus Calculator disponível para download na página eletrônica do Centro de Pesquisas em Iluminação Instituto do Politécnico Rensselaer dos Estados Unidos, em <www.lrc.rpi.edu/programs/lightHealth/>.

A Comissão Internacional de Iluminação reuniu cientistas e pesquisadores da área de medicina e de iluminação na Universidade de Manchester (Reino Unido), em janeiro de 2013 para o primeiro Workshop Internacional sobre Fotometria Circadiana e Neurofisiológica. Embora as discussões promovidas pelo evento não tenham conduzido à formulação de uma métrica, a comissão desenvolveu uma calculadora denominada Irradiance Toolbox (Figura 25), disponível para download na página da CIE em <http://files.cie.co.at/784_TN003_Toolbox.xls>.

Figura 25 - Toolbox disponibilizado a partir do First International Workshop on Circadian



Fonte: CIE-TN-003:2015, 2013.

Observamos um avanço no que se refere ao desenvolvimento de projetos de iluminação visando o sistema circadiano, mas existe uma diferença entre as métricas propostas tanto em função de sensibilidade espectral quanto em conceitos e, por consequência, apresentam diferença no projeto de iluminação, sendo necessário ainda mais estudos.

3.4. Iluminação integrativa

Segundo Melo (2015) um bom projeto de iluminação tem por objetivo estabelecer o melhor sistema de iluminação para uma dada aplicação. Esse objetivo é alcançado quando unem boas condições de visibilidade a uma boa reprodução de cor, com baixo preço de instalação, economia de energia elétrica e menores custos de manutenção.

Bosboom (2016) cita o estudo feito pela Philips Lighting onde a iluminação de uma sala de aula era ajustada para contribuir com o início do ciclo diurno, aumento do desempenho e efeito calmante nas crianças conforme as necessidades ao longo do dia e que através da tecnologia LED pode-se desenvolver luminárias dinâmicas onde é possível fazer com que os ambientes internos apresentem variação de mesma temperatura de cor que o dia, o que pode auxiliar no alinhamento adequado do relógio interno.

(...) desenvolvimento de técnicas e ferramentas para gerar, no ambiente interno, atmosferas propícias ao convívio particular e social, estimulando o prazer ou a excitação, motivando a descontração ou facilitando a concentração, a depender da atividade destinada e do desejo do cliente. Ter bastante luz passou a não ser necessariamente sinônimo de uma iluminação adequada. (NASCIMENTO, 2014, p. 5)

Chaves (2019) demonstra que conhecer o espectro das lâmpadas e suas características de distribuição é fundamental para novos projetistas e que a muito que desenvolver no que se refere a prática de projetos considerando a luz circadiana.

O termo Iluminação Integrativa foi trazido pela Comissão Internacional de Iluminação (CIE) no atual glossário de termos técnicos publicado em 2020, onde o conceito de iluminação integrativa contempla os aspectos visuais, psicológicos e biológicos da luz nos usuários.

Figura 26 - Iluminação integrativa



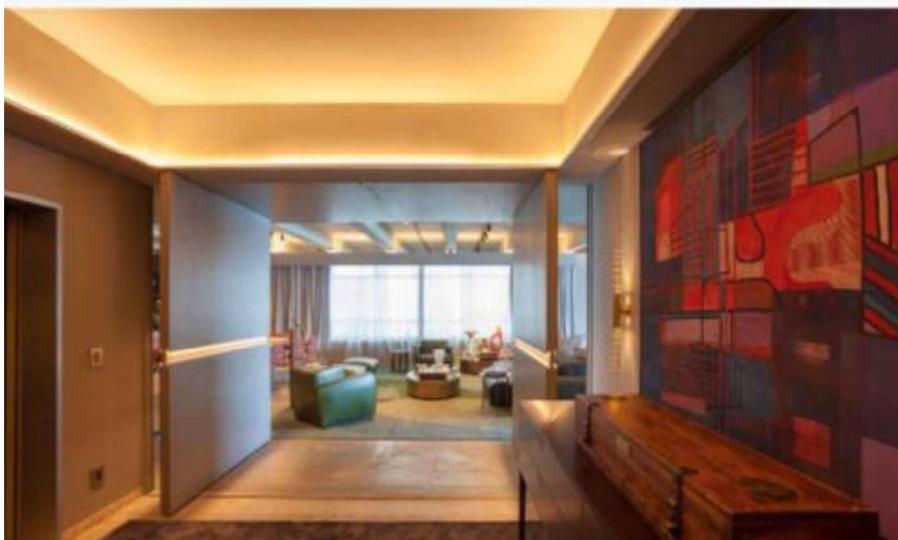
Fonte: SOARES, 2020.

O projeto de iluminação de um apartamento no Rio de Janeiro, assinado por Ruy Soares e Daniel Castillo, do WeLight Projetos, teve como base esse conceito. Foi adotado iluminação geral indireta na maioria dos ambientes, com elementos de destaque para revelar a arquitetura e direcionar o olhar, a temperatura de cor predominante foi de 2700K. Este projeto foi vencedor do IX Prêmio Abilux Projetos de Iluminação e será o estudo de caso para se considerar em um ambiente residencial.

Conforme matéria publicada na revista Lume Arquitetura em 2020, o apartamento conta com muita incidência de luz natural, garantindo a informação espectral necessária aos aspectos fisiológicos de luz aos usuários.

No hall de acesso aos elevadores, perfis lineares de alumínio com difusor leitoso equipados com fitas de LED de 1080lm/m a 2700k (14,4W/m) estão na margem superior proporcionando luz indireta, a ideia era criar uma atmosfera de amanhecer e entardecer, coincidindo com os horários de saída e chegada dos usuários.

Figura 27 - Hall dos elevadores do apartamento

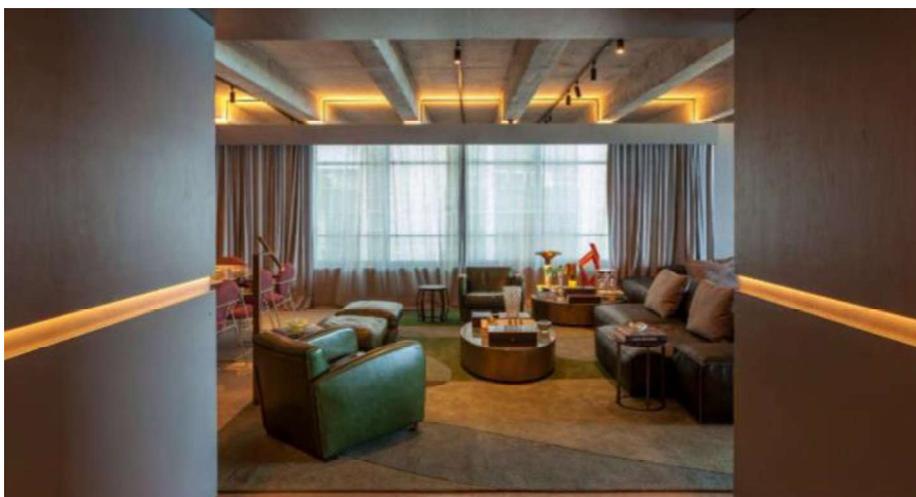


Fonte: Foto de Tuca Reinés para Revista Lume Arquitetura, 2020.

A porta de entrada é feita em marcenaria com puxador em forma de um rasgo central iluminado internamente com perfil linear de alumínio com difusor leitoso equipado com fita de LED de 630lm/m 2700K (7,2W/m), instalado na parte superior o corte com a proposta de ser um convite a entrar.

Na área interna o sistema de iluminação é controlado por iluminação, na área externa por sensores de presença e todas as luminárias foram escolhidas a fim de evitar ofuscamento e impactos deletérios à saúde.

Figura 28 - Detalhe do puxador da porta de entrada do apartamento



Fonte: Foto de Tuca Reinés para Revista Lume Arquitetura, 2020.

A área do living conta com vigas horizontais aparentes alongadas. Uma luz indireta contornando as vigas se dá por perfis lineares de alumínio com difusor leitoso, equipados com fitas de LED 1080lm/m a 2700K (14,4W/m), a mesma foi aplicada sobre o revestimento das paredes, no sentido contrários às vigas.

Figura 29 - Área interna com destaque para entrada do apartamento



Fonte: Foto de Tuca Reinés para Revista Lume Arquitetura, 2020.

A iluminação de destaque, assim como a da iluminação de tarefa da cozinha integrada a área social, é realizada por trilhos eletrificados trifásicos sobrepostos sobre as vigas e spots equipados com lâmpadas MR16 de 880cd/36° (6W) e de 1755cd/24° (4,8W).

Figura 30 – Living do apartamento



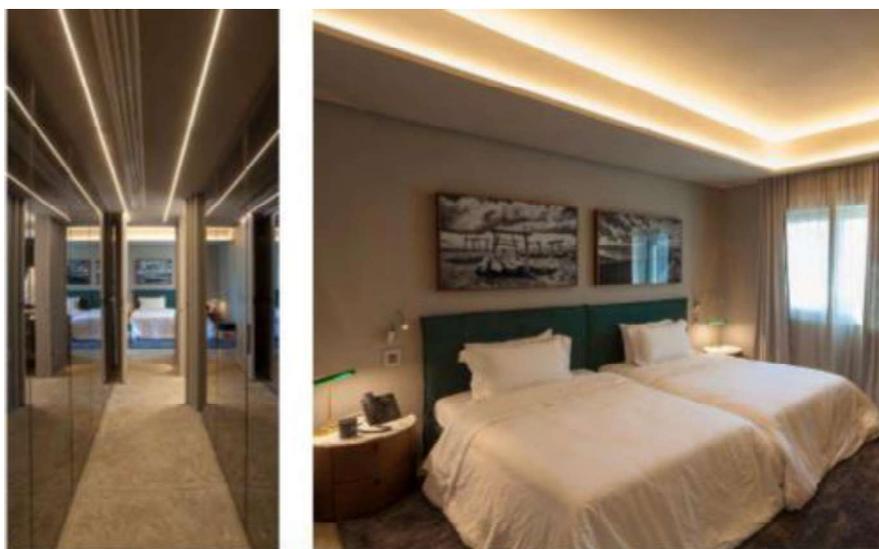
Fonte: Foto de Tuca Reinés para Revista Lume Arquitetura, 2020.

As suítes receberam sistema de iluminação indireta com sancas em “L” com perfis lineares de alumínio com difusor leitoso equipado com duas fitas de LED cada, totalizando 2160lm/m a 2700K (2 x 14,4W).

O closet master possui iluminação geral difusa por meio de duas luminárias lineares de LED de 650lm/m a 2700K (12W/m) cada, embutidas no forro.

O closet funciona como trajeto para o banheiro, sendo assim sua luz possui IRC 80, não sendo adequada para experimentar roupas. A luz para experimentar roupas tem IRC 90 e maior intensidade, estando dentro dos armários.

Figura 31 - Circulação e quartos do apartamento



Fonte: Foto de Tuca Reinés para Revista Lume Arquitetura, 2020.

Nas suítes e nas circulações foram instalados balizadores de 82lm a 2700K (0,75W) com luz projetada para o piso, evitando o ofuscamento. As portas das áreas de circulação possuem luz embutida de teto no frame de 1677cd/15° a 2700K (3W).

Figura 32 - Corredor do apartamento



Fonte: Foto de Tuca Reinés para Revista Lume Arquitetura, 2020.

A cozinha possui iluminação geral difusa por meio de perfis lineares de alumínio com difusor leitoso, equipados com barras de LED de 1634lm/56cm a 3000K (12W), com eficácia de 140lm/W.

Os espelhos dos banheiros possuem perfis lineares de alumínio com difusor leitoso equipados com fitas de LED de 1080lm/m a 2700K (7W), para iluminação indireta vertical. Os embutidos de teto no frame são equipados com lâmpadas MR16 de 1755cd/36° a 2700K (7W) e módulos LED de 1677CD/15° a 2700K (3W), proporcionando uma luz mais decorativa que funcional.

Os dois lavabos possuem luz embutida nos espelhos por meio de perfis lineares de alumínio com difusos leitoso equipados com fita de LED de 750lm/m a 2700K (7,5W/m) e iluminação geral direta por meio de embutidos recuados no frame com lâmpadas MR16 de 1755cd/36° a 2700K (7W).

Figura 33 - Banheiro do apartamento



Fonte: Foto de Tuca Reinés para Revista Lume Arquitetura, 2020.

Ruy Soares ressalta durante a matéria que todas as escolhas de projeto aconteceram a partir o perfil dos clientes, do conceito de arquitetura e do conceito de iluminação, sendo esse o primeiro projeto no qual implementaram o conceito de iluminação integrativa.

4. Conclusão

No decorrer do trabalho, através de embasamento teórico observou-se a importância da luz como contribuinte para a regulação do ciclo circadiano. A luz controla processos bioquímicos, fisiológicos e psicológicos no corpo humano e a presença ou ausência prolongadas desta pode acarretar desde leves desconfortos até sérios distúrbios, afetando a saúde dos indivíduos, então considera-se necessário repensar a forma de projetar espaços, considerando o impacto da iluminação nos seres humanos.

Muitos produtos surgiram no mercado usando o nome “luminária circadiana”, onde ocorre uma variação da temperatura de cor ao longo do dia, mas apenas isso não é uma solução efetiva para atender às necessidades do sistema circadiano dos seres humanos.

Apesar de alguns trabalhos relacionados ao tema iluminação e saúde, ainda não há normas técnicas nem consenso sobre a métrica para aferir o impacto da luz sobre os usuários. As normas de iluminação contemplam apenas o sistema de visão fotópica, não há ainda padrões normativos que considerem os efeitos não visuais da luz, mediados principalmente pelo fotopigmento melanopsina. A Comissão Internacional de Iluminação e os pesquisadores continuam a buscar um novo padrão, ou uma nova grandeza, que quantifique luz para o ciclo circadiano e para as respostas neurofisiológicas e neurocomportamentais em humanos.

Enquanto isso, nos resta projetar de forma a respeitar os ciclos naturais da luz natural e utilizar a luz artificial de maneira favorável, considerando a composição espectral, a intensidade da luz, o ângulo de incidência da luz, a faixa etária dos usuários, o tempo de exposição e condição de saúde dos usuários (distúrbios neurológicos, doenças degenerativas, gravidez...).

As luminárias e lâmpadas são essenciais para o desenvolvimento de um projeto luminotécnico de qualidade, mas aplicar o conhecimento de iluminação integrativa é necessário para projetar espaços pensados para os usuários.

Uma iluminação inteligente é definida por Melo (2015) como aquela obtida através da junção de conforto ambiental, psicologia das cores e eficiência energética. Portanto uma iluminação saudável precisa de controle e com as novas tecnologias de Led, o uso da automação e dimmer (variador de luminosidade) aliados aos conceitos de iluminação integrativa podemos proporcionar mais saúde, conforto, economia e bem-estar.

Referências

ABNT. NBR 5413 - Iluminâncias de interiores. [S.I.], 1992.

ABNT. NBR ISO/CIE 8995-1 - Iluminação de ambientes de trabalho Parte 1: Interior. [S.I.], 2013.

BORTONI, E. et al. **Eficiência Energética: Fundamentos e Aplicações**. Campinas, SP: UNIFEI, 2012

BOSBOOM, David H. A iluminação centrada no humano. Os efeitos da intensidade e temperatura de cor no novo ciclo circadiano do homem. **Revista Lume Arquitetura**. 69.ed. São Paulo, p. 44 a 48, jun. 2016.

BOYCE, P. R. **Human factors in Lighting**. 3. ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2014.

CIE-TN-003:2015. Report oh the first international workshop on circadian and neurophysiological photometry. **CIE - Commission Internationale de l'Eclairage**, 2013.

CHAVES, Nathali Pimentel. **Novos Processos De Projeto: Explorando A Iluminação Integrativa**. Dissertação (mestrado)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Arquitetura. Porto Alegre, 2020.

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. p. 532-543. DOI <https://doi.org/10.14393/sbqp19050>.

CHELLAPPA, Sarah Laxhmi et al. **Non-Visual Effects of Light on Melatonin, Alertness and Cognitive Performance: Can Blue-Enriched Light Keep Us Alert?** Plos One, São Francisco, v. 6, p.1-11, jan. 2011.

Como fazer a metodologia para o TCC? **Significados**. Fev. 2021. Disponível em: <https://www.significados.com.br/como-fazer-metodologia-tcc/>. Acesso em 14/06/2021

COMO FUNCIONA O OLHO? O que afeta os olhos. **Essilor**. Disponível em: <https://www.essilor.pt/a-sua-visao/o-que-afeta-os-olhos/como-funciona-o-olho>. Acesso em: 05 ago. 2021.

DE CANDOLLE, A. **Physiologie végétale**. Paris: Becket Jeune, 1832. v.2.

DE MAIRAN, J. Observation botanique. In: **Histoire de l'Academie Royale des Sciences**, 1729. p. 35-36.

FIGUEIRO, M. A luz e sua relação com a saúde. **Revista Lume Arquitetura**, ed. 44, p. 8–12, jul. 2010.

FONTES, Marcela de Carvalho. Projetos de iluminação residencial: Como torná-los energeticamente eficientes. **Revista Lume Arquitetura**, ed.55 p.102-108, mai. 2012.

GIRO, Robson. Iluminação em Led para Idosos: recomendações importantes! **Codlux**. São Paulo, 2018. Disponível em: <https://codlux.blogspot.com/2018/07/iluminacao-em-led-para-idosos.html>. Acesso em: 16 jun. 2022.

GIROTTI, Paula. Transtorno de Processamento Sensorial. **Blog de Neuropediatria**. Disponível em: <https://drapaulaGIROTTI.com.br/transtorno-de-processamento-sensorial/>. Acesso em: 16 jun. 2022.

GOBI, Erlei. Apartamento no Rio de Janeiro. **Revista Lume Arquitetura**, ed.105 p.17-20, set 2020.

GURGEL, Miriam. **Projetando Espaços**: Guia de Arquitetura de Interiores para áreas residenciais. 5.ed. São Paulo: Senac, 2002.

HEDLUND, Fredrik. Curious about circadian rhythm. **Karolinska Institutet**, Estocolmo, 29 set. 2020. Disponível em: <https://ki.se/en/research/curious-about-circadian-rhythm>. Acesso em: 18 jul. 2021.

LACY, Marie Louise. **O poder das cores**: no equilíbrio de ambientes. São Paulo: Pensamento, 1996.

LOCKEY, S. W. **Circadian rhythms**: Influence of light in humans. *Encyclopedia of Neuroscience*, v. 2, p. 971–988, 2009.

Lopes, Carlos Ruggiere Cardoso. **Eficiência energética em residências**- estudo de caso. Monografia (Graduação) – Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2016.

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

MANAIA, Mariele Berbel. Luz, cor e percepção: A influência da iluminação no comportamento humano. **Revista Lume Arquitetura**. 53.ed. São Paulo, p. 72-78, dez.2011/jan.2012. Disponível em: http://lumearquitectura.com.br/pdf/ed53/ed_53%20At%20-%20Linguagem%20visual%20e%20psicoterapia.pdf. Acesso em: 26 jul. 2021.

MARTAU, B. T. **A luz além da visão**: iluminação e sua relação com a saúde e bem-estar de funcionárias de lojas de rua e de shopping centers em Porto Alegre. Tese (Doutorado) — Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2009.

MATAU, B. T. Iluminação, ritmos circadianos e recém nascidos. **Revista Lume Arquitetura**, ed.107, p. 20-26, jan. 2021.

MELO, Luan Pacheco Cunha. **Iluminação inteligente: psicologia e eficiência energética**. 2015. 61 f. Monografia (Graduação Em Engenharia de Controle e Automação) – Departamento de Controle e Automação- Universidade Federal De Ouro Preto, Ouro Preto, 2015.

NASCIMENTO, Cristhian Augusto Furquim do. **Iluminação artificial e seu impacto no ser humano: uma ferramenta indispensável aos arquitetos e projetistas de interiores**. Revista Especialize On-line IPOG, Goiânia, v. 1, p. 1-14, dez. 2014.

Novaes, Guilherme Henrique Rimbano. **Análise dos Impactos Provocados pela Poluição Luminosa no Município de Cerro Largo**. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal Da Fronteira Sul, 2018.

RAMOS, André. **Fisiologia da Visão: Um estudo sobre o “ver” e o “enxergar”**. Rio de Janeiro. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-Rio, 2016.

REA, M. S. et al. **A model of phototransduction by the human circadian system**. Brain Research Review, n. 50, p. 213–228, 2005.

REA, M. S.; BIERMAN, A.; FIGUEIRO, M. G. **A new approach to understanding the impact of circadian disruption on human health**. Journal of Circadian Rhythms, v. 6, n. 7, 2008.

SANTOS, Eder Ferreira. **A Influência Dos Espectros Da Luz Em Usuários Residenciais**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade De São Paulo, São Paulo, 2017.

SCHILDKNECHT, H. **Tugorins, hormones of the endogenous daily rhythms of higher organized plants – detection, isolation structure, synthesis, and activity**. Angew. Chem. Int. Ed., England, n. 22, p. 695-710, 1983.

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

SOARES, Ruy. Efeitos da luz na saúde humana. **Revista Lumière**. 228.ed. p.74-78. jun. 2017. Disponível em: [welight.com.br/wp-content/uploads/2017/05/Revista Lumiere 228.pdf](http://welight.com.br/wp-content/uploads/2017/05/Revista_Lumiere_228.pdf). Acesso em 23 jun. 2021.

Soares, Ruy B. **Resposta humana à luz: alterações não visuais e o projeto luminotécnico residencial com LEDs** / Ruy B Soares; orientador Leonardo Marques Monteiro. – São Paulo, 2018. 152f.

Soares, Ruy B. Saiba Qual a Influência da Luz na Vida das Pessoas. 17 mai. 2022. Youtube: Luz, **Decor & Ação!** Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=g0JUyzI9EpM>. Acesso em 16 jun.2022.

Soares, Ruy B. Webinar | Luz e Saúde: A importância da iluminação na qualidade de vida. 08 abr. 2020. Youtube: **Interlight Iluminação**. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=oEzTbHXkNzc>. Acesso em 16 jun.2022.

SOBEL, Jonathan. **Botanical Observation**. 14. Mar. 2019. Blog: Green CPU. Disponível em: <https://jonathansobel1.net/2019/03/14/botanical-observation/>. Acesso em: 01 ago. 2021.

The 2017 Nobel Prize in Physiology or Medicine – Press Release. **The Nobel Prize**. Out.2017. Disponível em: https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/2017/press.html. Acesso em: 08 jul. 2021.

TOSINI, G.; FERGUSON, I.; TSUBOTA, K. **Effects of blue light on the circadian system and eye physiology**. *Molecular Vision*, n. 22, p. 61–72, 2016.

Touitou, Yvan; Reinberg, Alain; Touitou, David. **Association between light at night, melatonin secretion, sleep deprivation, and the internal clock: Health impacts and mechanisms of circadian disruption**. *Life Sciences* 173 p. 94–106, Fevereiro 2017.

VARELLA, Drauzio. **Prêmio Nobel de Fisiologia ou Medicina 2017**. 06 out. 2017. Youtube: Drauzio Varella. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=kmo-qvfkzP8>. Acesso em 20 jun.2021.

VIANA, Dandara. Entenda o que é luminotécnica. **Guia da Engenharia**. Disponível em: <https://www.guiadaengenharia.com/luminotecnica/>. Acesso em: 17 jun. 2022.