

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC**  
**CENTRO DE ARTES – CEART**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN**

**BÁRBARA LAURA CIDRAL**

**EFEITOS NÃO VISUAIS DA ILUMINAÇÃO E O TRABALHO NOTURNO:**  
**UMA ANÁLISE DO AMBIENTE CONSTRUÍDO E ESTADO DE ALERTA DO**  
**TRABALHADOR**

**FLORIANÓPOLIS**  
**2021**

**BÁRBARA LAURA CIDRAL**

**EFEITOS NÃO VISUAIS DA ILUMINAÇÃO E O TRABALHO NOTURNO:  
UMA ANÁLISE DO AMBIENTE CONSTRUÍDO E ESTADO DE ALERTA DO  
TRABALHADOR**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Design pelo Programa de Pós-Graduação em Design do Centro de Artes – Ceart, da Universidade do Estado de Santa Catarina – Udesc.  
Orientador: Prof. Dr. Milton José Cinelli

**FLORIANÓPOLIS**  
**2021**

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da  
Biblioteca Central/UEDESC,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Cidral, Barbara Laura  
EFEITOS NÃO VISUAIS DA ILUMINAÇÃO E O  
TRABALHO NOTURNO : UMA ANÁLISE DO AMBIENTE  
CONSTRUÍDO E ESTADO DE ALERTA DO TRABALHADOR  
/ Barbara Laura Cidral. -- 2021.  
134 p.

Orientador: Milton José Cinelli  
Coorientador: Elton Moura Nickel  
Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de  
Santa Catarina, Centro de Artes, Programa de  
Pós-Graduação em Design, Florianópolis, 2021.

1. Iluminação. 2. Ergonomia da Iluminação. 3. Efeitos não  
visuais da Iluminação. 4. Estado de alerta. 5. Trabalho  
noturno. I. Cinelli, Milton José. II. Nickel, Elton Moura. III.  
Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Artes,  
Programa de Pós-Graduação em Design. IV. Título.

Às pesquisadoras brasileiras.



## **AGRADECIMENTOS**

À minha mãe, Patrícia, padrasto Marcelo e irmão Bernardo por serem a melhor equipe que eu consigo conceber. Agradeço por todas as vezes que entraram em campo, estando ao meu lado. Também a paciência pelos momentos em que o que pude oferecer foi apenas a posição de reserva. Seja dentro ou fora de campo, agradeço a torcida animada, engraçada e presente. Pelo incentivo nos momentos de cansaço e pelo acolhimento em momentos de incerteza. Este é, até o momento, o projeto mais desafiante no qual escolhi investir meu tempo. E, apesar de todo o esforço, ele ficou mais fácil ao lado de uma família como a nossa. Também a minha companheira, Gisele, pelo incentivo e carinho que me ajudaram a concluir o trabalho com tranquilidade.

Ao meu orientador e amigo, professor Milton José Cinelli, por guiar este trabalho com ousadia, ao apostar em um tema desafiador, com confiança, ao acreditar em mim, e pela generosidade ao reconhecer as minhas necessidades para além das acadêmicas. Levarei comigo desde os momentos simples e divertidos às conversas profundas e conselhos. Obrigada também a me inspirar a ser uma pesquisadora cada vez melhor.

Ao professor Elton Moura Nickel, por acompanhar este trabalho desde o princípio, quando projeto de graduação, e por despertar em mim a curiosidade e senso crítico através da pesquisa. Também, por ter feito parte da banca e revisado tão atentamente a pesquisa. À professora Maíra, pela cumplicidade ao compartilhar experiências acadêmicas, por aceitar participar dessa banca e pelos excelentes apontamentos que contribuíram para um aprimoramento da dissertação.

Ao companheiro de pesquisa, Petrus Semprebom Massabki, por toda a disposição, parceira, inerente curiosidade e empenho também expressos neste trabalho. Às amigas, Kalina, Maria Cecília, Luiza Terra que acompanharam o desenvolvimento desta pesquisa e muito ouviram-me falar sobre o tema, sempre mostrando encantamento. Eu sei que posso contar sempre com vocês. Aos meus amigos para além do ambiente trabalho Ivan, Carol e Daniel pelo companheirismo, incentivo e bom humor de sempre.

Ao apoio financeiro do CNPQ e material do Laboratório de Conforto Ambiental (LabCon) do curso de arquitetura da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Agradeço ao querido e saudoso professor Dr. Murilo Scoz que através da sua lucidez, simplicidade e elegância expressou em um desenho a contribuição de pesquisas científicas para o avanço da ciência. Levarei sempre comigo tanto o desenho como a minha primeira aula por ele ministrada no curso de design. A minha vó Vanda, que hoje habita o meu coração, mas que quando soube da aprovação no curso de mestrado não escondeu seu orgulho.

Aos que participaram da pesquisa, por meio das entrevistas ou respondendo e divulgando o questionário, inclusive as organizações que permitiram sua aplicação. A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para o desenvolvimento da pesquisa.

## RESUMO

Muitos aspectos da fisiologia e comportamento humano são influenciados pela iluminação da retina, e recentemente descoberto que enquanto a capacidade fotorreceptora da mesma é dominada por cones e bastonetes, alguns neurônios nela contidos (células ganglionares) também são diretamente fotossensíveis. Isso significa que a luz atua como um estimulante neurofisiológico responsável por uma série de respostas, conhecidas por efeitos não visuais. Um dos efeitos mais estudados é o reajuste de fase do relógio circadiano endógeno induzido pela luz e o estado de alerta. O objetivo deste trabalho foi o de estabelecer recomendações ergonômicas dos efeitos não visuais da iluminação para trabalhadores noturnos, uma vez que a sua capacidade de sincronizar o padrão do sono é afetado pela jornada de trabalho. Foram entrevistados 27 trabalhadores noturnos, majoritariamente atuantes na cidade de Florianópolis, e identificado o nível estado de alerta relatado ao longo da noite de trabalho além do padrão de ciclo de sono. Os dados não paramétricos são apresentados por distribuição de frequências e indicam perfis distintos de profissionais trabalhando neste turno além de um padrão de ciclo de sono irregular. Nível de estado de alerta decresce ao longo da jornada de trabalho, indicando a faixa de horário entre 04 e 06 horas da manhã como sendo o mais vulnerável quanto ao estado de alerta. Também foi avaliado o nível de luminância de 4 estações de trabalho em um ambiente de escritório e outro reservado para descanso. A análise foi realizada através da técnica de fotografia e processamento de imagem HDR. Resultados indicam que o nível de iluminação ocular nas estações de trabalho está bastante abaixo do necessário para que haja estímulo circadiano. Por fim são apresentadas recomendações ergonômicas e oportunidades de melhoria.

**Palavras-chave:** Iluminação. Ergonomia da Iluminação. Efeitos não visuais da Iluminação. Estado de alerta. Trabalho noturno.

## ABSTRACT

Many aspects of human physiology and behavior are influenced by retinal illumination, and it has recently been discovered that while the retina's photoreceptor capacity is dominated by cones and rods, some of the neurons it contains (ganglionic cells) are also directly photosensitive. This means that light acts as a neurophysiological stimulant responsible for a series of responses, known as non-visual effects. The most studied effects are the light-induced endogenous circadian clock phase readjustment and impact on alertness. The objective of this work was to establish ergonomic recommendations for the non-visual lighting effects for night workers, since their ability to synchronize the sleep cycle is affected by the working hours. Twenty-seven night workers were interviewed, mostly working in the city of Florianópolis, and the level of alertness reported throughout the night of work was identified, in addition to the sleep cycle pattern. Non-parametric data are presented by frequency distribution and indicate different profiles of professionals working during this shift in addition to an irregular sleep cycle pattern. Alertness level decreases throughout the working hours, indicating the time range between 4 am and 6 am as being the most vulnerable in terms of alertness. The luminance level of 4 workstations in an office environment and one reserved for rest was also evaluated. The analysis was performed using the technique of photography and HDR image processing. Results indicate that the ocular illumination level in the workstations is far below what is needed for circadian stimulation. Finally, ergonomic recommendations and improvement opportunities are presented.

**Keywords:** Lighting. Lighting Ergonomics. Non-Visual Effects of Lighting. Alert state. Night work.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Representação da citoarquitetura da retina .....	20
Figura 2 – Sensibilidade espectral dos cones e bastonetes .....	21
Figura 3 - Funções da eficiência luminosa fotópica relativa do padrão CIE.....	22
Figura 4 – Morfologia de células ganglionares.....	30
Figura 5 – Caminhos visuais e biológicos no cérebro .....	32
Figura 6 – Ciclo de liberação de hormônios .....	35
Figura 7 – Curvas de Brainard e Thapan (2001).....	41
Figura 8 – Supressão de melatonina prevista .....	44
Figura 9 – Dispositivos individuais .....	50
Figura 10 – Relação entre CS e supressão de melatonina.....	55
Figura 11 – Exemplo de oásis de iluminação.....	59
Figura 12 – Exemplo de partições em espaços de trabalho .....	60
Figura 13 – Estruturação das fases da pesquisa .....	64
Figura 14 – Equipamentos necessários à calibração.....	69
Figura 15 – Etapas de calibração.....	70
Figura 16 – Número de entrevistados por faixa de idade.....	74
Figura 17 – Principais categorias de profissão.....	75
Figura 18 – Nível do estado de alerta por horário de trabalho .....	79
Figura 19 – Padrão de sono individualizado .....	80
Figura 20 – Avaliação da qualidade do sono .....	81
Figura 21 – Nível de consumo de estimulantes .....	82
Figura 22 – Espaço de trabalho I .....	87
Figura 23 - Espaço de trabalho II .....	88
Figura 24 - Espaço de trabalho III .....	89
Figura 25 - Espaço de trabalho IV.....	90
Figura 26 – Ambiente de descanso.....	90
Figura 27 – Espaço de trabalho simulado 1 .....	91
Figura 28 - Espaço de trabalho simulado 2.....	92
Figura 29 - Espaço de trabalho simulado 3.....	92
Figura 30 - Espaço de trabalho simulado 4.....	93
Figura 31 - Espaço de trabalho simulado 5.....	93
Figura 32 - Espaço de trabalho simulado 6.....	94

Figura 33 - Espaço de trabalho simulado 7 .....	94
---	----

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Unidades fotométricas.....	22
Quadro 2 – Comparação entre características dos fotorreceptores.....	31
Quadro 3 – Instrumentos utilizados.....	65
Quadro 4 – Característica das cenas .....	86

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Especificações NBR ISO/CIE 8995-1.....	27
Tabela 2 – Valores processados e medidos das cenas .....	86



## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
EV	Iluminância vertical
EH	Iluminância horizontal
NBR	Normas Técnicas Brasileiras
NM	Nanômetro
UDESC	Universidade do Estado de Santa Catarina
mm	Milímetro
POT	Trato óptico primário
RHT	Trato retino-hipotalâmico
SCN	Núcleos supraquiasmáticos
EML	Lux melanópico equivalente
DLMO	Luz fraca no início do ciclo da melatonina
UGR	Índice de ofuscamento unificado

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO .....	15
1.2	CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA .....	16
1.3	OBJETIVOS .....	17
<b>1.3.1</b>	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>17</b>
<b>1.3.2</b>	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>17</b>
1.4	JUSTIFICATIVA .....	17
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	18
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>19</b>
2.1	ERGONOMIA DA ILUMINAÇÃO NO AMBIENTE DE TRABALHO .....	19
<b>2.1.1</b>	<b>O sistema visual humano .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Fotometria tradicional .....</b>	<b>21</b>
<b>2.1.3</b>	<b>Diretrizes para a iluminação o ambiente construído de trabalho .....</b>	<b>23</b>
2.1.3.1	<i>Iluminância .....</i>	24
2.1.3.2	<i>Distribuição da luminância .....</i>	24
2.1.3.3	<i>Ofuscamento .....</i>	25
2.1.3.4	<i>Qualidade de cor da lâmpada .....</i>	26
2.1.3.5	<i>Iluminação natural .....</i>	26
2.1.3.6	<i>Diretrizes para espaços de trabalho estilo escritório .....</i>	27
2.1.3.7	<i>Outras estratégias .....</i>	28
2.2	SISTEMA BIOLÓGICO NÃO VISUAL .....	29
<b>2.2.1</b>	<b>IpRGCs .....</b>	<b>29</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Rotas de resposta .....</b>	<b>32</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Ciclo circadiano .....</b>	<b>33</b>
<b>2.2.4</b>	<b>Ajuste ou sincronização da fase circadiana .....</b>	<b>35</b>
<b>2.2.5</b>	<b>Estado de alerta .....</b>	<b>36</b>
<b>2.2.6</b>	<b>Estado atual da iluminação e saúde .....</b>	<b>38</b>
2.3	ERGONOMIA PARA OS EFEITOS NÃO VISUAIS DA ILUMINAÇÃO ....	40
<b>2.3.1</b>	<b>Sensibilidade espectral .....</b>	<b>41</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Iluminância .....</b>	<b>42</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Outras características .....</b>	<b>44</b>
<b>2.3.4</b>	<b>Métricas utilizadas .....</b>	<b>46</b>

2.3.5	<b>Dispositivos para medir a iluminação .....</b>	<b>48</b>
2.3.6	<b>Recomendações ergonômicas para os efeitos não visuais.....</b>	<b>54</b>
2.3.6.1	<i>Recomendações baseadas no Estímulo Circadiano (CS) .....</i>	<i>54</i>
2.3.6.2	<i>Recomendações baseadas no Lux melanópico equivalente (EML).....</i>	<i>57</i>
2.3.7	<b>Novas abordagens .....</b>	<b>58</b>
2.4	<b>ILUMINAÇÃO E TRABALHO NO PERÍODO NOTURNO .....</b>	<b>61</b>
2.4.1	<b>Efeitos não visuais da iluminação e o trabalho noturno .....</b>	<b>62</b>
3	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>64</b>
3.1	<b>CONDIÇÕES DE TRABALHO .....</b>	<b>65</b>
3.1.1	<b>Questionário .....</b>	<b>65</b>
3.2	<b>ANÁLISE DA LUMINÂNCIA DO AMBIENTE DE TRABALHO .....</b>	<b>67</b>
3.2.1	<b>Técnica de fotografia HDR.....</b>	<b>67</b>
3.2.1.1	<i>Processo de calibração .....</i>	<i>68</i>
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>73</b>
4.1	<b>RESULTADO DAS CONDIÇÕES DE TRABALHO .....</b>	<b>73</b>
4.1.1	<b>Caracterização geral da amostra .....</b>	<b>73</b>
4.1.2	<b>Caracterização do trabalho noturno.....</b>	<b>75</b>
4.1.3	<b>Descrição e avaliação da iluminação .....</b>	<b>77</b>
4.1.4	<b>Estado de alerta e ciclo circadiano do sono.....</b>	<b>78</b>
4.1.5	<b>Estado de saúde física e mental .....</b>	<b>82</b>
4.1.6	<b>Análise geral qualitativa .....</b>	<b>83</b>
4.2	<b>RESULTADO DA ANÁLISE DE LUMINÂNCIA DO AMBIENTE DE TRABALHO .....</b>	<b>84</b>
4.2.1	<b>Ambiente analisado.....</b>	<b>84</b>
4.2.2	<b>Geração e processamentos das imagens HDR.....</b>	<b>85</b>
4.2.3	<b>Avaliação das cenas .....</b>	<b>86</b>
4.2.4	<b>Simulação em ambiente de escritório .....</b>	<b>90</b>
5	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>96</b>
5.1	<b>RECOMENDÇÕES ERGÔMICAS PARA SISTEMA VISUAL E NÃO VISUAL PARA TRABALHADORES NOTURNOS.....</b>	<b>97</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>99</b>
	<b>APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO.....</b>	<b>103</b>
	<b>APÊNDICE B – ESTADO DE SAÚDE FÍSICA E MENTAL.....</b>	<b>132</b>



## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Muitos aspectos da fisiologia e comportamento humano são influenciados pelo fluxo luminoso incidente na retina e, avanços recentes mostram que embora os cones e bastonetes sejam os fotorreceptores primários para a formação da imagem, algumas células ganglionares também são diretamente fotossensíveis. Isso significa que a luz atua como um estimulante neurofisiológico responsável por uma série de respostas, que ficaram conhecidas por efeitos não visuais da iluminação. Dentre as respostas mais estudadas estão a alteração de fase do relógio circadiano<sup>1</sup> e o aumento do estado de alerta.

Quando a exposição a ciclos claros-escuros de iluminação torna-se assíncrona com os ritmos biológicos, como pode ocorrer com viagens através de fusos horários ou trabalho noturno, ocorre a disrupção ou desalinhamento circadiano. A disrupção pode levar a problemas como sono e desempenho precários, bem como aumento do risco de doenças mais graves, como diabetes, obesidade e até câncer. Ainda, a deterioração da qualidade do sono ou sua privação estão relacionados a falha na memória, a piora da coordenação e das funções cognitivas. Tais efeitos podem levar a um maior número de acidentes e redução da produtividade, aumento de erros, absenteísmo, rotatividade e redução da produtividade. Estima-se que mais da metade da população nas sociedades modernas tenha ritmos circadianos defasados com suas programações diárias (PAPATSIMPA et al., 2020). Observa-se um acentuado desalinhamento circadiano quando as pessoas viajam em vários fusos horários, trabalham no período noturno ou em turnos rotativos que se alteram rapidamente (BOYCE, 2014).

Os padrões de sono e performance de trabalhadores noturnos em especial podem ser afetados pela disrupção do ciclo circadiano. É observado que esses trabalhadores apresentam um período de sono reduzido e com qualidade comprometida em relação aos trabalhadores diurnos. Ainda, algumas tarefas são mais sensíveis ao efeito do trabalho noturno do que outras. Uma

---

<sup>1</sup> O conjunto de ritmos biológicos como o do sono, de temperatura corpórea e secreção hormonal que se repetem ao longo de um dia.

delas é a complexidade cognitiva envolvendo a manipulação mental de informação, por exemplo, ao analisar problemas complexos e encontrar uma solução. A outra é a tarefa de vigilância, na qual a atenção tem que ser voltada a informações em cenários estáveis para tomada de ação rápida caso algo possa acontecer, mas raramente acontece, por exemplo em serviços de vigia (ŁASZEWSKA et al., 2018). É provável que pessoas como pilotos de avião, comissários de bordo e trabalhadores noturnos nunca tenham um ambiente iluminado de maneira ideal, mas pesquisadores podem usar análises para investigar maneiras de minimizar a interrupção e, portanto, melhorar a saúde e o bem-estar (FIGUEIRO et al., 2018).

Há uma necessidade na sociedade moderna de introduzir luz em ambientes escuros, principalmente durante o dia. Somado a isso, é preciso estender o dia solar até a noite, para acomodar a vida profissional e social, sem afetar as medidas da fase do ciclo biológico. A questão é que, até agora, a luz teve um propósito: a visão. Embora pesquisas estejam longe de serem conclusivas e as métricas e padrões ainda estejam em desenvolvimento, incorporar esses princípios à vida diária teria um impacto significativo na saúde e no bem-estar. (RANSLEY, 2020)

## 1.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Como contextualizado, a luz influencia funções biológicas, para além do seu papel formador de imagem. Dentre os efeitos mais estudados está o reajuste de fase do relógio circadiano e o aumento do estado de alerta.

Já existem recomendações ergonômicas da iluminação para os efeitos não visuais, porém elas dependem de características específicas do trabalhador, trabalho e ambiente. Uma atualização e adequação das atuais recomendações de acordo com a realidade dos trabalhadores noturnos que desempenham suas atividades em ambiente de escritório com o foco no estímulo do estado de alerta pode contribuir para uma maior produtividade e redução de erros. Sendo assim, questiona-se:

A iluminação do ambiente construído em escritório é adequada para o estímulo do estado de alerta do trabalhador durante sua jornada de trabalho noturna?

Observa-se o desalinhamento do ciclo circadiano esperado entre os trabalhadores noturnos? Qual o estado de alerta relatado deste público ao longo da jornada de trabalho noturna? E por fim: Qual a contribuição da Ergonomia da Iluminação no auxílio da manutenção do estado de alerta do trabalhador noturno?

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 Objetivo Geral

Propor recomendações ergonômicas da iluminação de escritórios para os efeitos não visuais destinadas ao estímulo do estado de alerta dos trabalhadores noturnos.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar variação do estado de alerta relatado de trabalhadores noturnos ao longo da jornada de trabalho;
- Analisar o padrão de sono relatado entre os trabalhadores noturnos para identificar o desalinhamento/ sincronização do ciclo circadiano de sono;
- Medir a iluminação de estações de trabalho tipo escritório para verificar se o trabalhador noturno está recebendo estímulo suficiente para permanecer em estado de alerta;

### 1.4 JUSTIFICATIVA

A área destinada ao estudo da relação entre o indivíduo e a iluminação é conhecida como Ergonomia da Iluminação. Ela é estudada dentro do design, e, está em intensa expansão. De acordo com Boyce (2014), existem três rotas pelas quais a iluminação pode afetar o trabalho: através do sistema visual, do sistema de temporização circadiano (ou não visual) e através do humor e motivação. O sistema visual já é bem compreendido, porém, direcionamentos dos efeitos não visuais para ambientes de escritório atualmente são generalistas e não levam em conta aspectos como o ciclo do sono e estado de alerta dos indivíduos que serão expostos a essa iluminação. Sem conhecer a realidade de

trabalho e padrão individual de sono e estado de alerta não se pode propor recomendações que atinjam o propósito de projeto almejado.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

A presente pesquisa divide-se em 5 capítulos, que são: Introdução, Fundamentação Teórica, Materiais e Métodos, Resultados e Discussão e Conclusão. Na Introdução buscou-se contextualizar o tema de pesquisa, apontando a lacuna de conhecimento que se deseja preencher e os objetivos geral e específicos do trabalho. Também é apresentada a justificativa, a partir da qual se analisa a relevância, tanto acadêmica quanto social, da pesquisa realizada. Na Fundamentação Teórica são apresentados e definidos os principais conceitos nos quais a pesquisa está apoiada, partindo de quatro tópicos principais: ergonomia da iluminação, sistema biológico não visual, ergonomia para os efeitos não visuais e por fim, iluminação e trabalho noturno. O capítulo Materiais e Métodos descreve os procedimentos utilizados durante a pesquisa, detalhando as etapas de criação e aplicação de questionário para público-alvo, além do processo de calibração dos equipamentos e registro de medidas ambientais da iluminação. No capítulo intitulado Resultados e Discussões são apresentados os resultados obtidos a partir da análise das respostas do questionário e do processamento das imagens dos espaços de trabalho. Finalmente na Conclusão, são trazidas breves observações sobre o desempenho da pesquisa e o cumprimento dos objetivos definidos previamente, além de sugestões para trabalhos futuros.



## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Este capítulo busca amparar a pesquisa, do ponto de vista teórico, por meio da conceituação dos principais temas que a envolvem, bem como a análise de estudos afins. Inicialmente conceitos da ergonomia da iluminação são resgatados e normas técnicas para iluminação de ambientes de trabalho em vigência no Brasil são apresentadas. Em seguida, descobertas recentes que inauguraram uma nova área de estudo, a dos efeitos não visuais da iluminação, são embasadas. O próximo tema envolve a conceituação das principais características da iluminação que influenciam tais efeitos, além de equipamentos e métricas utilizados em pesquisas e potencialmente em campo. Nesse último tema, algumas recomendações ergonômicas atualizadas com essa nova área de estudo são apresentadas. Finalmente, os principais desafios envolvendo o trabalho no período noturno, além da realidade desta categoria no Brasil, são identificados.

### **2.1 ERGONOMIA DA ILUMINAÇÃO NO AMBIENTE DE TRABALHO**

A ergonomia da iluminação no ambiente de trabalho, baseado na fotometria tradicional, tem fornecido a base para diretrizes e normas que buscam um adequado conforto visual para a realização das tarefas. Ela está primeiramente alicerçada no estudo do sistema visual humano.

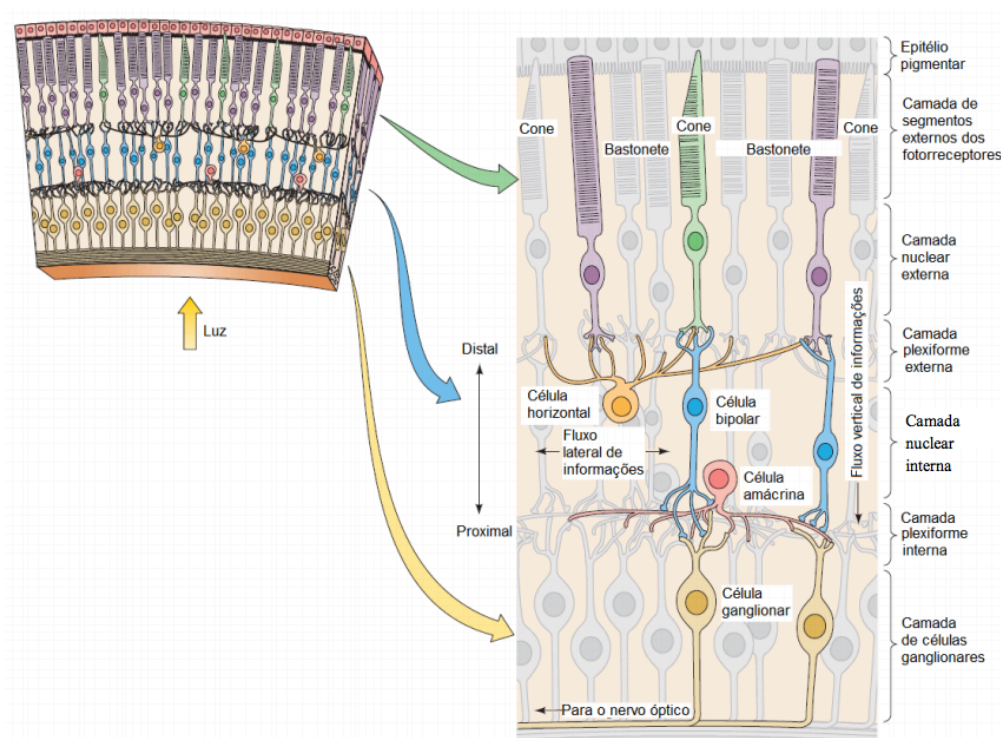
#### **2.1.1 O sistema visual humano**

O sistema visual humano detecta e processa a luz na faixa de 380 e 780 nanômetros (nm) através do órgão sensorial, o olho, e parte do sistema nervoso central. Apesar de ser muito frequentemente associado a uma câmera, ele é um sistema onde olho e cérebro trabalham em conjunto.

Na retina, a luz é absorvida e convertida em sinais elétricos. A retina é uma estrutura complexa que possui três camadas: a de fotorreceptores visuais, a de células coletoras que fornecem ligações entre vários fotorreceptores e uma camada de células ganglionares, algumas das quais são fotossensíveis e alimentam o sistema não formador de imagem como apresentado na página 29. A luz que atinge a retina passa pelas camadas de células ganglionares e

coletoras antes de atingir os fotorreceptores visuais, como apresentado na Figura 1 – Representação da citoarquitetura da retina (BOYCE, 2014).

Figura 1 – Representação da citoarquitetura da retina

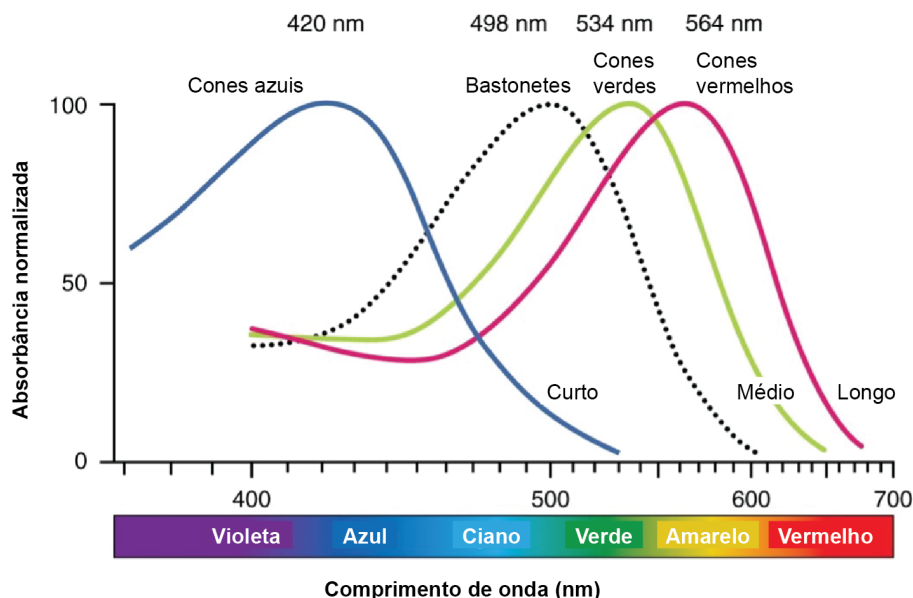


Fonte: Costa (2018, p.22).

A retina é uma extensão do cérebro, deriva do mesmo tecido e as células danificadas não são substituídas. O sistema visual tem quatro tipos de fotorreceptores visuais na retina, cada um contendo um fotopigmento diferente. Esses quatro tipos são agrupados convencionalmente em duas classes, bastonetes e cones, nomes derivados de sua aparência ao microscópio. Todos os fotorreceptores bastonetes são iguais, contendo o mesmo fotopigmento, rodopsina e, portanto, tendo a mesma sensibilidade espectral. Os outros três tipos de fotorreceptores são todos cones, cada um com um fotopigmento diferente (BOYCE, 2014). A Figura 2 – Sensibilidade espectral dos cones e bastonetes mostra a função de sensibilidade espectral da luz para os três tipos de fotorreceptores de cone: cones de comprimento de onda curto (S-), médio (M-) e longo (L-). Além de terem uma maior sensibilidade em regiões diferentes do espectro, os cones e bastonetes são distribuídos na retina em diferentes proporções. Os cones ficam concentrados em uma pequena área no eixo visual

do olho, chamada fóvea. Por fim, os axônios das células ganglionares formam o nervo óptico que por onde os sinais elétricos são transmitidos ao cérebro (BOYCE, 2014).

Figura 2 – Sensibilidade espectral dos cones e bastonetes



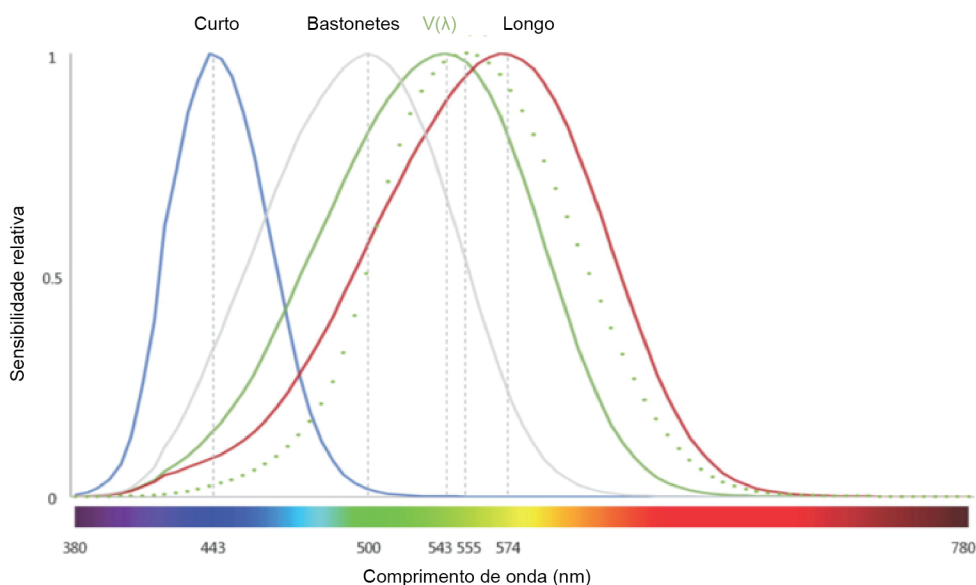
Fonte: Adaptado de Bowmaker & Dartnall (1980, p. 505)

### 2.1.2 Fotometria tradicional

Como apresentado, a luz percebida pelo sistema visual humano difere de outro tipo de radiação eletromagnética pela sensibilidade específica dos fotorreceptores, cones e bastonetes. Para traduzir a potência radiante é necessário aplicar um sistema de ponderação, ou função de eficiência luminosa. Ou seja, a resposta do sistema visual humano não é a mesma os comprimentos de onda dentro do espectro visível (380 - 780nm). Essa ponderação é geralmente feita de acordo com um dos dois modelos do sistema visual: visão fotópica (cones) e escotópica (bastonetes) (RANSLEY, 2020). A curva de resposta do Observador Padrão da CIE (Comissão Internacional de Iluminação, sigla em inglês),  $V(\lambda)$ , que define a eficácia espectral da visão fotópica, foi adotada em 1924 para 28 campos visuais (Figura 3). A sensibilidade máxima para curva fotópica é de 555 nm enquanto a escotópica é a 507 nm. Essas curvas são a base de conversão de quantidades radiométricas para fotométricas,

quantidades usadas para caracterizar a luz em unidades de iluminação, fotômetros e métricas atuais (Quadro 1) (BOYCE, 2014).

Figura 3 - Funções da eficiência luminosa fotópica relativa do padrão CIE



Fonte: Jung & Inanici (2017 p. 07)

Quadro 1 – Unidades fotométricas

Medida	Definição	Unidade
Fluxo luminoso	A quantidade de fluxo radiante que expressa a capacidade de produzir sensação visual.	Lumens (lm)
Intensidade luminosa	Fluxo luminoso emitido em um cone muito estreito contendo a direção dada dividida pelo ângulo sólido do cone, ou seja, fluxo / ângulo sólido unitário.	Candela (cd)
Iluminância	O fluxo luminoso / área unitária em um ponto de uma superfície.	Lumen/metro <sup>2</sup> = Lux
Luminância	O fluxo luminoso emitido em uma determinada direção dividido pelo produto da área projetada do elemento fonte perpendicular à direção e o ângulo sólido contendo essa direção, ou seja, intensidade luminosa / área unitária.	Cd/m <sup>2</sup>

Refletância	A proporção do fluxo luminoso refletido de uma superfície para o fluxo luminoso incidente nela	-
Fator de luminância	A proporção da luminância de uma superfície refletora vista de uma determinada direção em relação a uma superfície branca perfeita uniformemente difusa e identicamente iluminada.	-

Fonte: Adaptado de Boyce (2014)

### 2.1.3 Diretrizes para a iluminação o ambiente construído de trabalho

A Agência Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através da norma NBR ISO/CIE 8995-1, apresenta diretrizes para a iluminação de ambientes de trabalho. Segundo a norma, a iluminação deve assegurar o conforto visual, desempenho e a segurança ao olhar ao redor e detectar perigos. Ainda, uma boa iluminação requer igual atenção para a quantidade e qualidade da luz emitida. Portanto, a iluminância suficiente para a realização da tarefa não é o único ponto de atenção, mas também as características da cor da fonte de luz e da superfície em conjunto com o nível de ofuscamento do sistema. Também devem ser levadas em consideração as propriedades intrínsecas da tarefa como o tamanho, forma, posição, cor e refletância do detalhe e do fundo, além da capacidade oftálmica do operador. Os aspectos mais relevantes da norma para a iluminação de espaços de trabalho estilo escritório serão apresentados nos próximos tópicos (ABNT, 2013).

Outra referência utilizada quanto aos aspectos visuais é a do padrão de construção WELL (segunda versão piloto) do Instituto Internacional de Edifícios WELL (IWBI - sigla em inglês). Ele oferece algumas recomendações para o projeto de ambientes que complementam as atuais diretrizes no que tange ao projeto de iluminação. Destaca-se especialmente por já estar em conformidade com algumas recomendações acerca dos efeitos não visuais que serão apresentados nos próximos tópicos. Os códigos e diretrizes de iluminação fornecem recomendações para diferentes ambientes, derivados dos requisitos relacionados às atividades típicas realizadas (assim como ocorre na norma NBR 8995-1). Esses padrões foram criados por grupos técnicos como a Illuminating Engineering Society (IES) e garantem uma boa acuidade visual em uma variedade de tarefas de maneira a evitar fadiga ocular e minimizar perdas de produtividade e dores de cabeça. (WELL, 2020)

### 2.1.3.1 *Iluminância*

Os valores de iluminância são especificados na norma NBR ISO/CIE 8995-1 de acordo com o tipo da tarefa de maneira a proporcionar desempenho e segurança visual. Ainda, é apresentado o valor de iluminância mantida ( $E_m$ ) que é o valor abaixo do qual não convém que a iluminância média da superfície (ou seja, iluminância horizontal) especificada seja reduzida. Esses valores são apresentados à frente, na Tabela 1. Apesar dos valores absolutos, convém que a iluminância seja aumentada quando houverem contrastes excepcionalmente baixos, quando o trabalho visual for crítico e a correção dos erros for onerosa ou a exatidão e alta produtividade forem almejadas. Também convém um aumento na iluminância quando a capacidade de visão dos trabalhadores estiver abaixo do normal. Por outro lado, a iluminância mantida pode ser reduzida quando os detalhes estiverem em um tamanho excepcionalmente grande, de alto contraste ou quando a tarefa for realizada por um tempo excepcionalmente curto. A iluminância no entorno imediato deve estar relacionada e bem balanceada com a iluminância da área de tarefa. Mudanças drásticas nas iluminâncias ao redor da área de tarefa podem levar a um esforço visual estressante e ao desconforto, assim, a iluminância deve se alterar gradualmente. Segundo esta norma, a uniformidade da iluminância (razão entre o valor mínimo e o valor médio de iluminância) não pode ser inferior a 0,7 na tarefa e a 0,5 no entorno imediato (ABNT, 2013).

### 2.1.3.2 *Distribuição da luminância*

A exposição à luz ocorre principalmente de duas maneiras: diretamente de fontes luminosas e indiretamente pelas superfícies refletidas. Como a maior parte da luz encontrada nos edifícios é refletida, a qualidade das superfícies afeta muito a quantidade de luz que chega ao olho (WELL, 2020). A distribuição da luminância no campo de visão controla o nível de adaptação dos olhos, o qual afeta a visibilidade da tarefa e conforto visual. Convém que sejam evitadas luminâncias muito altas ou contrastes de luminâncias que podem levar ao ofuscamento (discutido no próximo tópico) e fadiga visual devido à contínua readaptação dos olhos. Por outro lado, luminâncias e contrastes de luminância

muito baixos resultam em um ambiente sem estímulo e tedioso. As luminâncias de todas as superfícies são importantes e são determinadas pela refletância e pela iluminância nas superfícies (ABNT, 2013). Superfícies com valores de refletância mais baixos (LRVs) resultam em menor intensidade geral de luz, enquanto valores mais altos significam que a superfície reflete mais a luz da fonte, resultando em intensidade máxima de luz (WELL, 2020).

#### 2.1.3.3 *Ofuscamento*

A ocorrência de contrastes muito acentuados tanto de luminâncias quanto de iluminâncias, dentro do campo de visão, pode ocasionar o ofuscamento. Essa sensação visual produzida por áreas brilhantes dentro do campo de visão é ainda segmentada como ofuscamento desconfortável e inabilitador, de acordo com a intensidade do efeito. Em locais de trabalho, o ofuscamento desconfortável geralmente surge diretamente de luminárias ou janelas, porém, também pode ser causado por reflexões em superfícies especulares, o que é conhecido por reflexões veladoras ou ofuscamento refletido. O índice de ofuscamento unificado (UGR) é uma definição da Comissão Internacional de Iluminação (CIE) para o nível de desconforto por ofuscamento permitido, juntamente com o índice limite de ofuscamento unificado (UGRL) que define um valor máximo permitido para uma instalação de iluminação. O ofuscamento inabilitador é mais comum na iluminação exterior, mas também pode ser experimentado em iluminação pontual ou fontes brilhantes intensas. De maneira geral, se os limites referentes ao ofuscamento desconfortável forem atendidos, o ofuscamento inabilitador não representa um grande problema (ABNT, 2013). O padrão Well recomenda que, para evitar o efeito de ofuscamento entre os ambientes ou salas principais e espaços auxiliares, como corredores e escadarias, pode-se estabelecer que, embora ainda mantendo a diferença de iluminação, uma sala principal não deva exibir 10 vezes mais ou menos luminância do que um espaço auxiliar. Em relação a maneira como o brilho é distribuído pelos tetos a mesma taxa para a uniformidade de luminância pode ser utilizada (10 vezes), evitando tanto os pontos escuros quanto os excessivamente brilhantes e potencialmente ofuscantes (WELL, 2020). Ainda, é recomendado que os tetos tenham o valor de

refletância da iluminação (LRV) médio de 0,8 (80%) ou mais para pelo menos 80% da área de superfície em espaços regularmente ocupados.

A cintilação<sup>2</sup> e os efeitos estroboscópicos<sup>3</sup> também são indesejados causando distração e possivelmente efeitos fisiológicos como dores de cabeça e podem levar a situações de perigo pela mudança da percepção de movimento de rotação. Convém que o sistema de iluminação seja projetado para evitar a cintilação e os efeitos estroboscópicos (ABNT, 2013).

#### 2.1.3.4 *Qualidade de cor da lâmpada*

A qualidade da cor de uma lâmpada é caracterizada por dois atributos: a aparência de cor da própria lâmpada e sua capacidade de reprodução de cor, que afeta a aparência dos objetos e das pessoas iluminadas. As lâmpadas normalmente são divididas em três grupos, de acordo com suas temperaturas de cor correlata (Tcp ou CCT - sigla em inglês). As conhecidas pela aparência de cor quente, possuem o CCT abaixo de 3300 K. Já as intermediárias, entre 3300 e 5300 K e acima desse valor são conhecidas pela aparência de cor fria. Para fornecer uma indicação objetiva das propriedades de reprodução de cor de uma fonte de luz, foi introduzido o índice geral de reprodução de cor IRC ou Ra. O valor máximo de Ra é 100 e ele diminui com a redução da qualidade de reprodução de cor. Ainda, sobre a cor de uma lâmpada ou espectro, a norma NBR 8995-1 diz o seguinte:

A escolha da aparência da cor é uma questão psicológica, estética e do que é considerado natural. A escolha depende da iluminância, cores da sala e mobiliário, clima e aplicação. Em climas quentes geralmente é preferencial a aparência da cor de uma luz mais fria, e em climas frios é preferencial a aparência da cor de uma luz mais quente. (ABNT– Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013, p. 9).

#### 2.1.3.5 *Iluminação natural*

A luz natural pode fornecer parte ou toda a iluminação necessária para execução de tarefas visuais e varia em nível e composição espectral com o tempo. As janelas podem também fornecer um contato visual com o mundo

---

<sup>2</sup> Quando rápidas variações no brilho aparente acontecem.

<sup>3</sup> Efeito que ocorre quando uma fonte de luz pulsante ilumina um objeto em movimento.



exterior, porém, é importante evitar o contraste excessivo e desconforto térmico causados pela exposição à luz solar direta em áreas de trabalho. Pode-se fazer isso utilizando um sistema de controle de incidência de luz adequado, de tal forma que a luz não atinja diretamente os trabalhadores e/ou as superfícies no interior do ambiente que estejam dentro campo de visão do trabalhador. Em interiores com janelas laterais, a disponibilidade da luz natural diminui rapidamente com o distanciamento da janela. Recomenda-se que uma iluminação suplementar seja fornecida para garantir a iluminância adequada no local de trabalho e o balanceamento da distribuição da luminância no interior da sala. Um acionamento automático (também apresentado em 2.1.3.7) ou manual e/ou um sistema de dimerização pode ser utilizado para garantir uma integração apropriada entre a luz artificial e a natural (ABNT, 2013).

#### 2.1.3.6 Diretrizes para espaços de trabalho estilo escritório

São determinados valores pela NBR ISO/CIE 8995-1 para os aspectos apresentados de iluminância, ofuscamento e índice de reprodução de cor para ambientes de escritórios, conforme tabela abaixo:

Tabela 1 – Especificações NBR ISO/CIE 8995-1

Tarefa/ Ambiente	Iluminância mantida ( <i>Em</i> )	Índice de ofuscamento unificado (UGR)	Índice de reprodução de cor mínimo ( <i>Ra</i> )
Arquivamento, cópia, circulação etc.	300 lux	19	80
Escrever, teclar, ler, processar dados	500 lux	19	80
Estações de projeto assistido por computador	500 lux	19	80
Salas de reunião e conferência	500 lux (controlável)	19	80
Recepção	300 lux	22	80

Arquivos

200 lux

25

80

Fonte: Adaptado de ABNT (2013, pg. 19)

O padrão Well indica que um sistema de iluminação ambiente deve ser capaz de manter uma intensidade média de 215 lux ou mais, medida no plano de trabalho horizontal e ainda que 300 lux seriam suficientes para a maioria das tarefas (WELL, 2020).

Complementarmente, a iluminação em estações de trabalho com terminais de exibição visual (VDT) ou telas de monitores deve ser ajustada para garantir uma apropriada realização de tarefas tanto na própria tela quanto fora dela. Reflexões de alto brilho na tela podem causar ofuscamento e devem ser evitadas (ABNT, 2013). O padrão Well determina que, para lidar com o ofuscamento entre as superfícies de tarefas e as adjacentes, incluindo VTD, deve-se limitar a diferença de luminância em até 3 vezes. O ajuste do ângulo em que a luz atinge a superfície ou monitores de computador pode evitar que ela seja refletida diretamente no olho. Ainda, o controle de refletividade das superfícies também pode ser observado de maneira a reduzir o efeito indesejado do ofuscamento. As superfícies, por sua vez, podem apresentar um valor de refletância da luz médio de 0,7 (70%) ou mais para pelo menos 50% da área de superfície diretamente visível (WELL, 2020). Para os locais de trabalho onde são utilizadas telas de visualização que estão na vertical ou inclinadas em um ângulo de até 15°, são estabelecidos os limites de luminância para o fluxo descendente das luminárias que possam refletir nas telas VDT para direções normais de visualização. Para telas classificadas com uma qualidade boa ou média a luminância média das luminárias deve ser igual ou inferior a 1000 cd/m<sup>2</sup>. Já para telas com qualidade pobre, igual ou inferior a 200 cd/m<sup>2</sup> ABNT, 2013).

#### 2.1.3.7 Outras estratégias

A iluminação direcionada ou focalizada pode fornecer uma quantidade complementar de luz nos espaços de trabalho individualmente sem influenciar diretamente os espaços vizinhos. Isso permite a personalização do usuário e uma boa acuidade visual, ao mesmo tempo que fornece uma luz de fundo mais

adequada. (WELL, 2020) Porém, segundo a norma NBR 8995-1, não é recomendado que a iluminação seja tão direcional a ponto de poder produzir fortes sombras, nem convém que seja tão difusa de maneira que o efeito da modelagem se perderia por completo, resultando em um ambiente luminoso monótono (ABNT, 2013).

Controles automatizados de sombreamento ou escurecimento podem ajudar a garantir que sistemas de iluminação para a captação de luz natural operem continuamente conforme pretendido, com a prevenção de reflexos e redução do consumo de energia. Definir um ajuste automático pode também contribuir para o conforto e um melhor desempenho da tarefa, visto que os usuários não teriam que interromper suas tarefas para ajustar as condições de iluminação do local. Além disso, toda a iluminação, exceto luminárias decorativas, podem ter a capacidade de serem programadas para adequarem-se continuamente em resposta à luz do dia (WELL, 2020).

## 2.2 SISTEMA BIOLÓGICO NÃO VISUAL

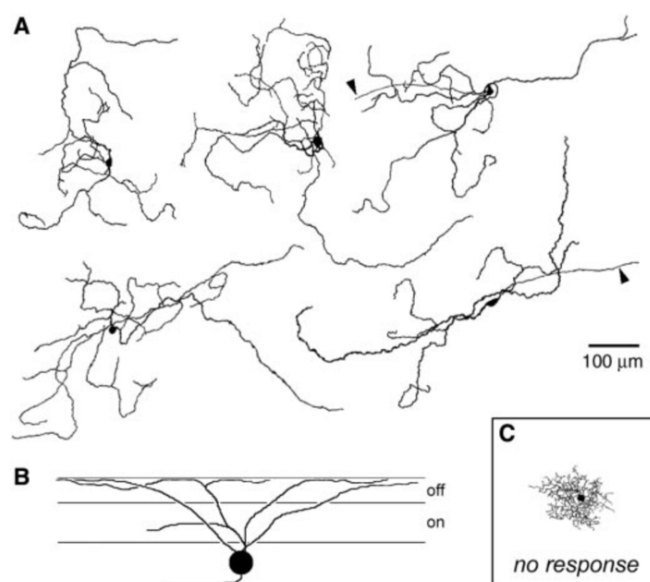
A luz atua, para além da visão, como um estimulante neurofisiológico responsável por efeitos não visuais. Ambos, o sistema visual e o sistema biológico não visual, respondem através da sensibilidade dos fotorreceptores contidos no olho humano, porém, embora as rotas de respostas possam estar interligadas em algum nível, diferem e desencadeiam a liberação de diferentes hormônios e efeitos no corpo. Neste tópico são apresentadas as principais descobertas sobre o novo fotorreceptor, além das aplicações da iluminação para promover efeitos que evitem a disrupção circadiana ou promovam o estado de alerta.

### 2.2.1 IpRGCs

Berson et al. (2002) mostraram que células ganglionares se despolarizam em resposta à luz, mesmo quando todas as entradas sinápticas para os cones e bastonetes estavam bloqueadas. Através do entupimento fótico de praticamente todos os fotorreceptores conhecidos, a despolarização persistiu em camundongos transgênicos funcionalmente cegos. Essa pesquisa inaugurou a análise de um novo grupo de neurônios que foram chamados de células

ganglionares retinais intrinsecamente fotossensíveis (ipRGCs). As ipRGCs não estão localizadas no mesmo nível da retina no qual se encontram os cones e bastonetes, usados pelo sistema visual (como apresentado no tópico anterior) (LUCAS et al., 2003). Elas são menos sensíveis que os fotorreceptores clássicos e muito mais lentas, com latências de resposta de até um minuto (BERSON et al., 2002). A morfologia de células ganglionares fotossensíveis, revelada por coloração intracelular é apresentada na Figura 4. Em (A) são mostradas as pontas de setas que indicam os axônios. Em (B) há um resumo esquemático da estratificação de dendritos das células. A barra de escala se aplica a todos os painéis (C).

Figura 4 – Morfologia de células ganglionares



Fonte: Berson et al. (2002, pg. 1072)

A melanopsina, um tipo de fotopigmento pertencente à família de proteínas da retina sensíveis à luz chamadas opsinas (codificadas pelo gene *Opn4*), é o fotopigmento nas células ipRGC (KUMBALASIRI & PROVENCIO, 2005). Quando o gene da mesma foi deletado via técnicas transgênicas em camundongos, as células ganglionares retinais não mais puderam responder diretamente à luz (LUCAS et al., 2003). Ainda, esse fotopigmento está localizado não apenas em seus corpos celulares, mas também em seus axônios proximais e ao longo dos dendritos. Isso satisfaz um critério importante para o fotopigmento

nas ipRGCs, porque seus dendritos são independentemente fotossensíveis (LUCAS et al., 2003).

A presença da melanopsina está restrita a um pequeno subconjunto de células retinais ganglionares distribuídas de maneira ampla e esparsa ao longo da superfície da retina. Além disso, elas são conhecidas por projetarem-se para os núcleos supraquiasmáticos (SCN) do cérebro (KUMBALASIRI & PROVENCIO, 2005).

Outra característica marcante desse tipo de células foi evidenciada por Berson et al. (2002), quando elas respondiam à iluminação em escalas de tempo bastante longas e exibiam pouca adaptação a estímulos breves. A polarização de tais células após estímulos intensos exigiu vários minutos e foi pontuada por despolarizações espontâneas e intervalos com duração de até um minuto. Além disso, as ipRGCs não estão diretamente envolvidas na construção das imagens, não sendo, portanto, visuais, apesar de poderem desempenhar um papel secundário (KUMBALASIRI & PROVENCIO, 2005). Demais características podem ser contrastadas com as células cones e bastonetes para a visão, na tabela a seguir:

Quadro 2 – Comparação entre características dos fotorreceptores

Característica	Cones e bastonetes	ipRGCs
Localização	Camada nuclear externa	Camadas das células ganglionares (raramente na camada nuclear interna)
Saída/Output	Retina (células bipolares e horizontais)	Cérebro (por exemplo núcleo supraquiasmático)
Resposta à luz	Hiperpolarização rápida	Despolarização lenta
Potenciais de ação	Não	Sim
Papel do epitélio pigmentar da retina	Essencial para a regeneração do fotorreceptor	Aparentemente desnecessário para a regeneração do fotorreceptor
Sensibilidade	Moderada (cone) ou alta (bastonete)	Baixa
Campo receptivo	Muito pequeno	Muito grande
Fotopigmento	Rodopsina e opsina cone	Melanopsina
Elementos fotossensíveis	Segmento externo	Corpo celular e dendritos (e axônios?)

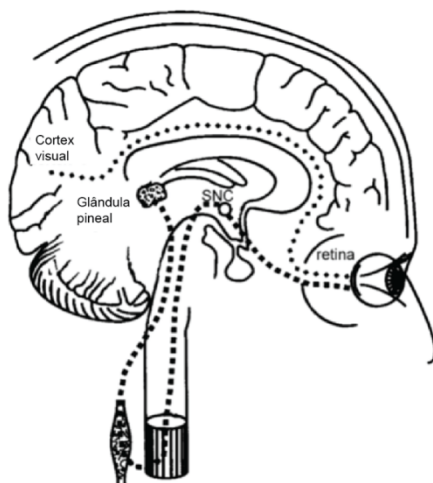
Fonte: Traduzido e adaptado de Lucas et al. (2003)

Outro aspecto relevante relaciona-se com o processo de adaptação da pupila que, até recentemente, presumia-se ser impulsionado por sinais apenas dos fotorreceptores de cones e bastonetes. Porém, quando esses sinais eram bloqueados, a resposta da pupila era mantida durante a iluminação contínua. Essa descoberta que implica que as ipRGCs desempenham um papel na determinação do tamanho da pupila. O que não deve significar que o tamanho da pupila seja controlado apenas pelas ipRGCs. Em vez disso, significa que todos os três tipos de fotorreceptores, bastonetes, cones e ipRGCs, estão envolvidos em diferentes combinações, dependendo da quantidade e do tempo após a mudança no nível de luz (BOYCE, 2014).

### 2.2.2 Rotas de resposta

A luz que entra no olho é convertida em sinais neurais que passam pelo nervo óptico através de duas rotas que foram mais amplamente estudadas. O trato óptico primário (POT, sigla em inglês), que é alimentado com sinais dos fotorreceptores cones e bastonetes e leva ao córtex visual, e o trato retino-hipotalâmico (RHT, sigla em inglês), que por sua vez é alimentado por sinais das ipRGCs e leva sinais aos SCN (BOYCE, 2014). Na Figura 5 são apresentadas as conexões nervosas entre a retina e o córtex visual (linha pontilhada pequena) as ipRGCs, e o SNC e glândula pineal (linha pontilhada em negrito).

Figura 5 – Caminhos visuais e biológicos no cérebro



Fonte: Adaptado de Van Bommel (2006, p.462)

O SCN é reconhecido como o relógio mestre em mamíferos, incluindo humanos (BOYCE, 2014). Eles são responsáveis por sincronizar muitos diferentes estímulos fisiológicos no corpo, incluindo reparo de DNA e a produção de alguns tipos de hormônios através da conexão nervosa com a glândula pineal (VAN BOMMEL, 2006). Ainda, o SCN está conectado a muitas outras partes do cérebro. Dentre esses locais estão o folheto intergeniculado (LGN) e os núcleos pré-retais olivares, ambos envolvidos na avaliação dos níveis de iluminação ambiente. A zona subparaventricular ventral e a área pré-óptica ventrolateral, que são estruturas envolvidas na regulação do comportamento e do sono, também recebem informações das ipRGCs (BOYCE, 2014). Ainda, com tão poucas células projetando-se para tantos locais, é possível que muitos desses locais recebam projeções colaterais das mesmas ipRGCs (KUMBALASIRI & PROVENCIO, 2005).

Apesar dos caminhos neurais apresentados pelas duas rotas serem separados em algum nível, essa separação não é total. Em vez disso, verificou-se que as ipRGCs recebem entradas dos fotorreceptores cones e bastonetes e que as saídas das ipRGCs são conhecidas por se projetarem aos centros cerebrais que controlam a resposta da pupila. Também há evidências para a troca de sinais entre o SCN e o LGN do POT (BOYCE, 2014). Ou seja, as atividades no sistema visual de processamento de imagens e no sistema não visual alimentado pela retina estão mescladas em algum grau (CAJOCHEN et al., 2004).

### **2.2.3 Ciclo circadiano**

A vida dos seres vivos é caracterizada por mudanças de comportamento que ocorrem regularmente ao longo de um ciclo de 24 horas, como por exemplo, o ciclo sono-vigília. Essas mudanças são chamadas de ritmos circadianos, das palavras latinas *circa*, cerca de e *dies*, dia - cerca de um dia. (BOYCE, 2014) Quase todas as criaturas expostas a ciclos claros-escuros de um dia, aos quais se adaptaram, desenvolveram ritmos biológicos regulados pelo SCN (FIGUEIRO et al., 2018). Os ritmos circadianos são impulsionados por um relógio endógeno, que por sua vez é estimulado por um sinal exógeno, como a alteração da luz e

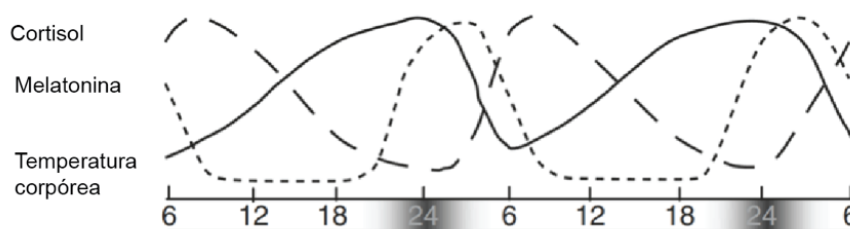
da escuridão. Isso também significa que as interrupções do ciclo normal de claro-escuro mudam a fase do relógio, quando ocorre a disrupção ou desalinhamento circadiano. Porém, a exposição à luz não é o único estímulo exógeno para o ser humano, sendo que sinais sociais, atividade noturna e exercício também podem interferir na sincronização circadiana (BOYCE, 2014).

O sistema circadiano é responsável por controlar ritmos como do sono, temperatura do corpo, secreção hormonal dentre outros parâmetros fisiológicos incluindo funções cognitivas e respostas imunológicas. O ritmo circadiano mais extensamente estudado em seres humanos é o sistema de temporização circadiana baseado em medições do hormônio melatonina. Na fase escura do ciclo claro-escuro de 24h, a glândula pineal sintetiza o hormônio melatonina, que então circula por todo o corpo através da corrente sanguínea, e de lá é recebido por outros relógios periféricos. A melatonina é facilmente absorvida pela corrente sanguínea e, portanto, atua como um mensageiro químico por todo o corpo indicando o período de descanso. O papel essencial da melatonina é sincronizar a ativação de muitas outras funções fisiológicas ao longo de um período médio, que é ligeiramente superior a 24h. Portanto, na ausência de estímulos externos, essas fases seriam alteradas ao longo de vários dias, o que é conhecido como *free-running* (BOYCE, 2014).

A liberação do hormônio cortisol, através da glândula pituitária anterior ao córtex adrenal, também atua em um sistema de temporização circadiana. O papel do cortisol é liberar a energia necessária para realizar a transição da inatividade para a atividade, como uma rotina ou uma resposta ao estresse. O hormônio cortisol, assim como a melatonina, tem um ritmo circadiano claro. Há um pico de concentração em torno da hora de acordar, que diminui lentamente até atingir seu menor valor na primeira parte da noite, o que se mantém até o amanhecer (Figura 6). Também é possível que o despertar desencadeie a liberação do hormônio, pois há um aumento acentuado na concentração de cortisol cerca de 30 minutos após o despertar (BOYCE, 2014).



Figura 6 – Ciclo de liberação de hormônios



Fonte: Van Bommel (2006, pg. 462)

Quando ocorre a disrupção circadiana, a direção da mudança de fase (antecipação ou atraso) depende do tempo de exposição à luz. A disrupção pode levar a problemas como sono e desempenho precários, bem como aumento do risco de doenças mais graves, como diabetes, obesidade e até câncer. Ainda, a deterioração da qualidade do sono ou sua privação estão relacionados à falha na memória, à piora na coordenação e deterioração de funções cognitivas; ainda, todos os efeitos podem levar a um maior número de acidentes e redução da produtividade, aumento de erros, absenteísmo, rotatividade e redução da produtividade (LOCKLEY et al., 2007). Ainda, a disrupção também pode acontecer mesmo que em níveis mais leves com pessoas que apresentam cronótipos tardios que são particularmente propensas a sofrer de um problema conhecido como *jetlag social*. Quando ele ocorre, as pessoas não conseguem ajustar seu tempo circadiano às demandas da sociedade (RANSLEY, 2020). Além disso, o advento da iluminação elétrica rompeu com padrões de exposição da luz natural, e agora reflete gosto pessoal e pressões sociais. Ela permite operações de 24 horas e que os indivíduos permaneçam acordados à noite, quando o relógio biológico lhes diz para dormir. A exposição à luz artificial à noite, quando nosso sistema de tempo circadiano está mais vulnerável, também tem a capacidade de modificar ritmos de sono e, portanto, funções neurocomportamentais (BOYCE, 2014).

#### 2.2.4 Ajuste ou sincronização da fase circadiana

O ajuste ou sincronização circadiana é uma adaptação que permite que os organismos preparem sua fisiologia e comportamento para as mudanças associadas às transições do amanhecer e do anoitecer, de modo sincronizado

com o padrão de iluminação natural. A exposição à luz pode mudar a fase (avancar ou atrasar) do relógio biológico. A exposição à luz policromática após acordar fará com que a pessoa vá para a cama mais cedo e acorde mais cedo, ou seja, antecipe a fase. Já a exposição a essa mesma luz antes de dormir fará com que a pessoa vá para a cama mais tarde e acorde mais tarde, atrasando a fase (FIGUEIRO et al., 2018). O momento crítico em que há mudança de um atraso para um avanço de fase é em torno da temperatura corporal central mínima (que ocorre 1-2h antes do despertar), porém, o efeito dessa mudança de fase só se torna evidente muitas horas após a exposição. Por outro lado, um efeito mais imediato e agudo da exposição à luz à noite é a supressão da síntese de melatonina. A alteração no ciclo de produção do hormônio, que é natural no período da noite, é uma medida imediata da alteração de fase do ciclo circadiano do sono. Isso também resulta em um aumento no estado de alerta, medido por uma mudança na natureza do padrão do eletroencefalograma (EEG), pelo aumento da temperatura corporal central e por sentimentos relatados de alerta. A exposição à luz também pode afetar agudamente o cortisol da mesma forma que suprime a melatonina, mas a magnitude e a direção do efeito ainda são incertos (BOYCE, 2014).

### **2.2.5 Estado de alerta**

Além de alterar a fase do relógio biológico, a luz também pode afetar as suas saídas do relógio biológico de maneira aguda, através de alterações na produção hormonal, nos níveis de desempenho e no estado de alerta. O grau em que um ou outro efeito é observado ainda não está muito consolidado individualmente e é possível que eles ocorram simultaneamente. Porém, as características da iluminação que provocam esses efeitos podem ser diferentes daquelas que promovem o ajuste ou sincronização de fase. Segundo pesquisa apresentada por Figueiro et al. (2018), a luz também pode provocar um efeito de alerta agudo nas pessoas, semelhante a uma "xícara de café". Ou seja, um efeito intenso imediato que duraria por um certo tempo, mas que não alteraria a fase do relógio biológico. Esse efeito está sob intensa investigação e seus resultados ainda não se mostraram conclusivos.

Os níveis de luz necessários para influenciar as medidas do estado de alerta podem ser bastante reduzidos quando é utilizada a luz na faixa azul do espectro, ao invés da luz branca policromática. Isso sugere que as ipRGCs mediam, pelo menos em parte, os efeitos de alerta da luz à noite e que a supressão da melatonina pode de fato desempenhar um papel no estímulo do estado de alerta em humanos, fazendo o corpo pensar que é dia (FIGUEIRO et al., 2018). Os efeitos da luz nas medidas de alerta e desempenho também foram medidos durante o dia, quando os níveis de melatonina estão baixos. Ressonância magnética funcional mostra que a luz branca intensa (superior a 7000lux), bem como com nível mais baixo (7,5lux) de luz de comprimento de onda curto (pico próximo a 473 nm), foram mais eficazes na ativação de regiões do cérebro associadas ao estado de alerta do que permanecer sob luz fraca ou ser exposto a níveis mais elevados (24,5 lux) de luz com comprimento de onda da 527 nm. Esses resultados sugerem que a supressão da melatonina não é necessária para afetar as medidas de alerta, embora, no entanto, indiquem que os efeitos da luz nas medidas de alerta durante o dia ainda podem ser mediados, pelo menos em parte, pelas respostas das ipRGCs (FIGUEIRO et al., 2018).

Até o momento, o ritmo circadiano do cortisol foi discutido como se fosse simplesmente o inverso da melatonina, porém, essa abordagem tem se mostrado parcial. Enquanto a produção de melatonina se concentra em momentos de escuridão para criaturas diurnas e noturnas, a produção de cortisol está concentrada no início da atividade, que é ao nascer do sol para criaturas diurnas como seres humanos e ao pôr do sol para animais noturnos como ratos. Além disso, a concentração de cortisol pode ser dramaticamente aumentada quando ocorrem eventos estressantes, sendo eles sensoriais ou psicológicos. Desta forma, o aumento da concentração de cortisol pode ocorrer de maneira repentina a qualquer momento. A existência de uma resposta rápida a qualquer momento pode ser impulsionada por todos os sentidos, não apenas pela visão, sugerindo que deve haver outras vias para além do SCN pelas quais a concentração de cortisol pode ser impactada. Esta possibilidade é apoiada pela descoberta de que a radiação de comprimento de onda curto e longo pode aumentar a concentração de cortisol (FIGUEIRO & REA, 2010), mas apenas a radiação de comprimento de onda curto suprime a melatonina (BOYCE, 2014).

Ainda, essa nova linha de estudo demonstrou que a luz de comprimento de onda longo (vermelha, pico próximo a 630nm) pode aumentar as medidas objetivas e subjetivas do estado de alerta à noite e durante o dia. Dado que as ipRGCs não são sensíveis à luz de comprimento de onda longo, os resultados desses estudos sugerem que os cones de comprimento de onda longo são responsáveis por intermediar os efeitos de alerta causados pela luz vermelha. Embora as funções de sensibilidade espectral e absoluta para o estado de alerta agudo não tenham sido estabelecidas, esses resultados apontam ainda que as vias no cérebro associadas ao alerta agudo diferem daquelas associadas à supressão aguda de melatonina. Através da luz filtrada para remover o conteúdo de comprimento de onda curto também foi possível mostrar que a supressão aguda da melatonina não é necessária para manter o estado de alerta subjetivo. A própria cor pode afetar uma gama de respostas fisiológicas, psicológicas e comportamentais em seres humanos. O efeito preciso provocado pela cor da luz em seres humanos, no entanto, permanece em debate. Enquanto alguns estudos afirmam que a cor vermelha é mais excitante que a cor azul, outros não mostraram nenhuma diferença significativa entre o estímulo fisiológico provocado pelas duas cores. Estudos futuros investigando os efeitos de luzes coloridas saturadas em seres humanos, entretanto, devem levar em consideração esses possíveis efeitos psicológicos (FIGUIERO et al., 2018).

### **2.2.6 Estado atual da iluminação e saúde**

Os últimos 50 anos testemunharam um grande corpo de pesquisas sobre como a luz afeta a saúde e o bem-estar, e que cresceu ainda mais nos 15 anos que se passaram desde a descoberta da melanopsina e das ipRGCs (FIGUEIRO et al., 2018).

No momento, o quadro geral do sistema de não formação de imagem é como um quebra-cabeça parcialmente concluído. Algumas partes estão começando a fazer sentido, mas outras ainda são um mistério, com muitas peças não conectadas ainda a serem colocadas em posição (Boyce, 2014, pg. 108).

Uma dessas partes a serem esclarecidas é o efeito da exposição à luz sobre o hormônio serotonina, que está ligado ao humor. O fato de a serotonina ter um ritmo circadiano implica que ela pode ser influenciada pela exposição à luz. É importante notar também que, além dos sinais da retina, o SCN é

conhecido por receber sinais do núcleo geniculado lateral e da rafe no tronco encefálico onde a serotonina é produzida. Entretanto, até o sistema de temporização circadiano ainda possui algumas características que requerem respostas. A quantidade de luz necessária para produzir uma determinada intensidade de supressão de melatonina, por exemplo, é conhecida por ser influenciada pela exposição anterior à luz. Além disso, os fotorreceptores envolvidos podem variar com a quantidade e a duração da exposição, podendo haver inclusive variações na sensibilidade espectral ao longo das 24h. Outro ponto de interesse envolve a distribuição irregular das ipRGCs na parte superior e inferior da retina. Existem ainda, diferenças individuais que devem ser consideradas (BOYCE, 2014). Em geral, os pesquisadores concentraram as pesquisas na sensibilidade espectral do sistema circadiano humano (como será apresentado no próximo tópico), mas esse aspecto não é tudo. Trabalho adicional é necessário para entender melhor os aspectos temporais da iluminação, visto que são elementos-chave na especificação de iluminação para o sistema circadiano (FIGUEIRO et al., 2018)

Até que tais aspectos fundamentais e aplicados do sistema de não formação de imagem sejam totalmente compreendidos, seria bom não tentar implementar amplamente as aplicações práticas. Existem vários motivos para cautela (Boyce, 2014, pg. 109).

O primeiro motivo que nos leva a ter cautela é a possibilidade de efeitos colaterais adversos a longo prazo produzidos pela manipulação de diferentes partes do sistema não formador de imagem, visto que o sistema de tempo circadiano opera em um nível muito básico da fisiologia. Um exemplo das preocupações envolvendo a exposição à luz intensa à noite é a possibilidade de que ela possa estar associada a um aumento da probabilidade de câncer de mama (BOYCE, 2014). Outro aspecto limitante para o avanço das pesquisas que considerem os efeitos não visuais está nas diferentes maneiras de medir os efeitos causados pela exposição à luz. Ainda, as medições dos efeitos realizados em diferentes períodos do dia interfere também na concentração de hormônios (FIGUEIRO & REA, 2010), levando a alterações desde nos padrões de atividade cerebral, temperatura corporal central e tamanho da pupila, à sensação de sonolência e estado de alerta e até mesmo no desempenho de tarefas (FIGUEIRO & REA, 2010; BOYCE, 2014).

Outro desafio para os pesquisadores e profissionais de iluminação é que estão ligados ao pensamento sobre um edifício específico, ou seja, um único lugar onde é necessário identificar tarefas e perceber o ambiente instantaneamente. A questão é que a disrupção circadiana não é instantânea, mas cumulativa. Hoje, como as pessoas têm telas luminosas acessíveis e vidas ativas que alteram seu padrão de 24 horas de luz e escuridão, elas não têm uma única fonte de iluminação que é responsável pelos padrões totais de exposição, ao longo das 24 horas. Além disso, é importante a investigação da robustez dos impactos da luz na saúde e bem-estar fora das condições de laboratório e também a publicação de resultados negativos, pois podem ser igualmente reveladores. Será um desafio tornar esses estudos reproduzíveis, mas uma melhor especificação do estímulo e o uso de dispositivos de medição de campo calibrados serão fundamentais para estudos bem-sucedidos (FIGUEIRO et al., 2018)

Por fim, Boyce, (2014) afirma que embora seja aconselhável cautela, seria igualmente insensato negligenciar o potencial que o uso da luz desempenha para manipular o sistema de não formação de imagem e melhorar a saúde e o desempenho humanos. Está bem estabelecido que um padrão claro-escuro regular de 24 horas minimiza a interrupção circadiana, que por sua vez minimiza os resultados negativos de saúde e desempenho (FIGUEIRO et al., 2018). Uma abordagem mais geral, que teria benefícios práticos, seria buscar condições de trabalho e iluminação existentes que levassem à disrupção circadiana, e alterá-las. Uma aplicação possível é usar a capacidade de mudar a fase do sistema circadiano para se ajustar rapidamente à necessidade de trabalhar nos momentos em que normalmente se estaria dormindo, por exemplo, ao iniciar ou terminar o trabalho noturno (BOYCE, 2014).

### 2.3 ERGONOMIA PARA OS EFEITOS NÃO VISUAIS DA ILUMINAÇÃO

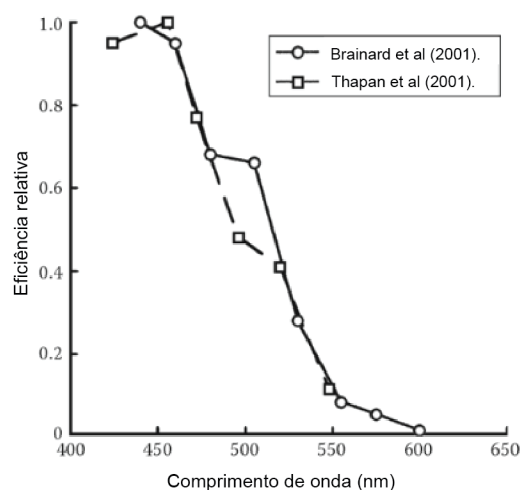
Como visto, a iluminação pode ser usada para atenuar diversos problemas causados pela vida moderna, através da mudança ou ajuste na fase circadiana e promoção do estado de alerta. Esse capítulo apresenta as principais características da exposição à iluminação, que podem ser controladas de

maneira a atingir o efeito não visual almejado, além de métricas e dispositivos para comparar medidas tanto em laboratório quanto em campo.

### 2.3.1 Sensibilidade espectral

Como já apresentado, Berson et al., (2002) reconheceram que os ipRGCs são fotossensíveis tendo seu pico de sensibilidade espectral no comprimento de onda azul (484 nm). Em dois estudos anteriores, porém, Brainard et al., (2001) e Thapan et al., (2001) mediram independentemente a sensibilidade espectral expondo participantes a diferentes fontes de luz de faixa estreita discretas em múltiplas intensidades à noite. O período noturno foi escolhido por ser o momento de maior liberação do hormônio melatonina e sua supressão é considerada o melhor marcador não invasivo disponível do relógio interno em humanos (ŁASZEWSKA et al., 2018). Eles mediram a queda nos níveis de melatonina no sangue para cada comprimento de onda e intensidade (Figura 7). Apesar de diferenças no tempo total de exposição e dias de controle entre os dois estudos, os dados resultantes correlacionaram-se e os autores forneceram faixas para o pico de supressão da melatonina semelhantes: 446-477nm em Brainard et al. (2001) e 457-462nm em Thapan et al. (2001) - ambos azuis, conforme percebidos pelo sistema fotópico (RANSLEY, 2020).

Figura 7 – Curvas de Brainard e Thapan (2001)



Fonte: (Boyce, 2014 pg. 101)

Porém, quando essas curvas foram usadas para prever o efeito da luz policromática na supressão da melatonina, a resposta do sistema circadiano

diferiu da resposta a fontes de luz de faixa estreita. Foi levantada por Figueiro et al., (2018) a hipótese de que o sistema circadiano humano exibia comportamento oponente espectral. Subaditividade é uma característica dos canais de cor oponentes espectrais, por meio dos quais a resposta à luz policromática não pode ser prevista pela soma das respostas fracionárias dos espectros componentes. Portanto, um espectro de ação desenvolvido usando fontes de luz monocromáticas não era esperado para prever a resposta do sistema circadiano a fontes de luz policromáticas. Para superar esse problema, um modelo não linear para fototransdução circadiana adequado para luz de banda estreita e policromática foi desenvolvido (REA et al., 2005). O modelo é projetado para ser consistente com os fotopigmentos e fisiologia da retina humana, incluindo a absorção espectral da lente, assim como ajustar os dados de Brainard et al. (2001) e Thapan (2001).

Esses estudos indicam que o sistema circadiano humano, medido pela supressão aguda da melatonina e mudança de fase do ciclo da melatonina com luz fraca (DLMO, sigla em inglês), é um detector de 'céu azul' com um pico de sensibilidade espectral próximo a 460 nm. Já  $V(\lambda)$  é baseado nas respostas de cones de comprimento de onda médio com pico na região "verde-amarelo" (555 nm) (FIGUEIRO et al., 2018). Portanto, medidas fotópicas não são a maneira correta de quantificar o estímulo da luz no sistema circadiano. O que é necessário é uma medida diferente com base na sensibilidade espectral do sistema circadiano humano.

### 2.3.2 Iluminância

Além da qualidade espectral, a quantidade de luz, ou iluminância, tem sido foco de extensa pesquisa. Ainda, apesar de serem abordadas separadamente e até estudadas em pesquisas específicas, ambas são características que influenciam os efeitos não visuais concomitantemente.

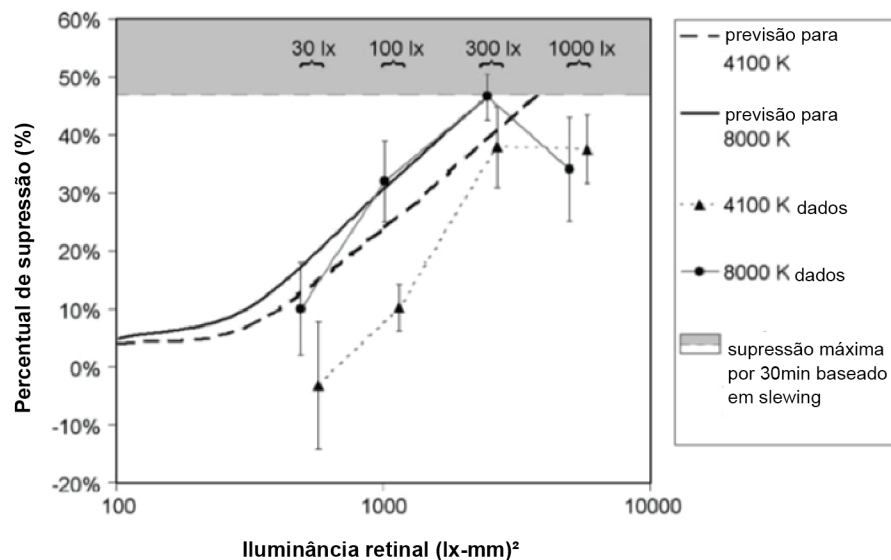
Em 1987, Lewy et al., demonstraram que uma hora de exposição a níveis intensos (2500 lux na córnea de uma fonte incandescente) de luz à noite (LAN) suprimiu significativamente a produção de melatonina em indivíduos saudáveis. Após esta publicação, uma série de estudos foi realizada para entender melhor as sensibilidades da supressão aguda de melatonina (FIGUEIRO et al., 2018).



Para uma exposição de 60 minutos à luz à noite (LAN), os níveis mínimos de luz para a supressão aguda da melatonina eram 350 lux no olho. Usando, porém, exposições mais longas de 120 minutos, descobriu-se que níveis de apenas 285 lux eram suficientes. No entanto, esses estudos mediram apenas a supressão aguda da melatonina, em vez de quaisquer efeitos de mudança de fase do ciclo circadiano subsequentes. Para determinar o efeito na mudança de fase, é necessário expor os sujeitos à LAN e, em seguida, medir a mudança na fase circadiana. Uma maneira de fazer isso é medir a diferença no início do ciclo da melatonina sob luz fraca (DLMO) entre uma noite de controle e a noite imediatamente após a intervenção da LAN. Empregando essa metodologia, foi descoberto que LAN tão baixo quanto 100 lux por 6,5 horas era capaz de atrasar o início do ciclo da melatonina, bem como suprimir agudamente a melatonina (RANSLEY, 2020).

É possível usar os dados de Brainard et al. (2001), Thapan et al. (2001), Rea et al. (2002) e Figueiro et al. (2004) para prever quanta luz é necessária para suprimir a melatonina. A Figura 8 mostra a supressão de melatonina percentual prevista que ocorre para uma exposição de 1h à noite a diferentes iluminâncias no olho fornecida por uma lâmpada incandescente e uma lâmpada fluorescente D65 simulando a luz do dia (BOYCE, 2014). A sensibilidade espectral usada para quantificar o estímulo circadiano fornecido pelos dois espectros da lâmpada é o modelo não linear de Rea et al., (2005). As duas fontes de luz têm curvas diferentes porque as duas fontes de luz têm espectros diferentes, a fluorescente D65 tendo mais potência na extremidade do comprimento de onda curto do espectro visível do que a incandescente. Com 1 hora de exposição à luz, a saturação da supressão de melatonina parece seguir uma função não linear com saturação em cerca de 1000lx e meia saturação em cerca de 300lx. O limiar para supressão de melatonina sugerido usando lâmpadas incandescentes, uma fonte de luz ainda muito usada para iluminação em residências, é de 30lux no olho por 30min (BOYCE, 2014; FIGUEIRO et al., 2018).

Figura 8 – Supressão de melatonina prevista



Fonte: Mariana G. Figueiro et al., (2006, pg. 296)

Embora essas implicações sejam importantes para a compreensão do impacto das instalações de iluminação no sistema circadiano, a iluminância mostrada não deve ser tratada como definitiva devido à dificuldade de medir a exposição à luz em situações realistas. Além disso, medir a luz recebida na córnea é apenas o início do problema, visto que a quantidade que importa para alterar o sistema circadiano é, na melhor das hipóteses, uma aproximação da irradiância da retina, ignorando o efeito do tamanho da pupila e a transmitância da mídia ocular (BOYCE, 2014).

Dada toda essa incerteza, não é possível afirmar com precisão quanta luz é necessária para influenciar o sistema de temporização circadiano para um determinado tempo de exposição, embora, com base nos dados atualmente disponíveis sobre supressão aguda de melatonina, o limite de 30 lux por 30 minutos de uma lâmpada incandescente proposta por Figueiro et al. (2006) parece uma hipótese de trabalho plausível. Apesar da incerteza, o que fica claro é que o que importa é a irradiação da retina. Se essa irradiação se origina de luz natural ou elétrica é irrelevante, embora o espectro real seja importante. (Boyce, 2014, pg. 105)

### 2.3.3 Outras características

Para além da sensibilidade espectral e quantidade de iluminação, outras características da exposição à luz também influenciam o sistema biológico não

visual. O impacto direto sobre os efeitos não visuais nem sempre pode ser observado e a maneira mais indicada de medir e controlar tais características ainda está em discussão.

As ipRGCs foram descritas como detectores de céu azul por sua sensibilidade à luz azul, não apenas em termos de cor, mas também em termos de distribuição vertical no campo visual. Ao expor apenas a retina superior, que é responsável por ver abaixo do horizonte, a 200 lux à noite, a supressão da melatonina não se mostrou significativamente diferente de uma condição totalmente escura. Isso significa que, se a LAN for mantida na metade inferior do campo visual, a disrupção circadiana será significativamente reduzida. Além disso, a iluminância que atinge a retina pode variar dramaticamente dependendo da distribuição da luz, dos reflexos das superfícies que formam o espaço e a direção do olhar. Outro fator que influencia a exposição retinal é a dilatação das pupilas, visto que as dilatadas apresentam uma maior supressão de melatonina do que pupilas que mudam naturalmente (BOYCE, 2014). Embora seja difícil mensuração, o valor da irradiância não apenas no olho, mas na retina, faz uma significativa diferença para os aspectos abordados (FIGUEIRO et al., 2018).

Questões temporais da exposição à luz, ou seja, momento do dia e duração, também são importantes. Sabe-se que, se aplicada em momentos diferentes, a mesma quantidade e espectro de luz terão efeitos diferentes. Embora exista uma zona de insensibilidade fótica, estudos indicam que não há momento em que a luz não tem efeito no sistema circadiano. Assim, o efeito acontece ao longo de todo o curso do dia de 24 horas, embora seja máximo quando está próximo da temperatura corpórea mínima, o que normalmente ocorre de duas a três horas antes do despertar natural. A duração da exposição também influenciará a eficácia do efeito da luz, uma vez que níveis mais baixos de luz em exposições de longa duração podem ter o mesmo efeito no sistema circadiano que níveis mais altos de luz de menor duração. Além disso, o histórico de exposição à luz durante dias e semanas também é crucial, uma vez que ele pode reduzir a sensibilidade do sistema circadiano em termos de respostas, tanto agudas como de mudança de fase (FIGUEIRO et al., 2018). Por último, há ainda a questão da sensibilidade individual. A concentração máxima de melatonina

produzida no escuro pode variar amplamente entre os indivíduos (BOYCE, 2014,).

### **2.3.4 Métricas utilizadas**

As características da iluminação que influenciam o sistema biológico não visual não operam isoladamente. Da mesma forma, o impacto fisiológico da luz também não apresenta uma rota única, visto que tanto cones, bastonetes e células ganglionárias contendo melanopsina são fotorreceptivas e apresentam rotas sinápticas para diferentes partes do cérebro. O espectro e iluminância (além das demais características apresentadas) são dependentes e complementares. Algumas propostas de medidas têm sido promissoras em tornar essa complexidade mais acessível ao profissional de iluminação e as medições mais práticas.

Gall & Bieske, (2004) usaram os dados de supressão de melatonina de Brainard et al., (2001) e Thapan et al., (2001) para definir uma métrica circadiana. Eles compilaram os resultados dos dois estudos e interpolaram uma função de eficiência para a supressão de melatonina induzida por luz com um pico de sensibilidade em cerca de 460 nm.

Lucas et al., (2014) propôs o Lux melanópico equivalente (EML), que permitiria aos pesquisadores relatar a irradiância efetiva experimentada por cada um dos fotorreceptores (ou seja, bastonetes, cones e ipRGCs) envolvidos em respostas não visuais. O EML, porém, não leva em consideração a participação dos cones e bastonetes nas respostas do ipRGCs (LUCAS et al., 2014; RANSLEY, 2020). Como resultado, sua faixa espectral (com pico em 480nm) difere daquela das respostas de supressão de melatonina empírica em humanos de acordo com Brainard et al., (2001) e Thapan et al., (2001) (com pico de sensibilidade em ~ 460nm). Embora a ferramenta possa produzir dados relevantes sobre como a luz estimula os fotorreceptores, não fornece nenhum esclarecimento sobre as respostas como a supressão da melatonina ou a mudança de fase circadiana (FIGUEIRO et al., 2018).

Rea et al., (2005) encaminharam um modelo de fototransdução circadiana humana estabelecido no conhecimento atual da neuroanatomia e neurofisiologia da retina humana, levando em consideração a contribuição relativa de cada classe de fotorreceptor e usando dados empíricos de supressão noturna induzida

por luz de Brainard et al., (2001) e Thapan et al., (2001) et al., (FIGUEIRO et al., 2018). Nesse modelo, os bastonetes controlam indiretamente o limiar absoluto da via de fototransdução circadiana sintetizada através das células amácrinas, que são o neurônio central que controla os sinais dos cones e bastonetes para as células ganglionares. Quando os bastonetes começam a saturar em resposta a níveis mais altos de luz, os cones se tornam o fotorreceptor dominante da entrada fótica para as células ganglionares e, subsequentemente, para diferentes partes do cérebro. Assim, os cones participam da fototransdução circadiana através dos neurônios bipolares azuis versus amarelos. Esses neurônios espectralmente oponentes podem fornecer dados fóticos ao sistema circadiano por meio de sinapses com as ipRGCs, cujos axônios formam o trato retino-hipotalâmico que inervam diretamente o SCN. Ainda, o modelo prevê a resposta do sistema circadiano humano a fontes policromáticas e dependendo de sua distribuição de potência espectral, também prevê uma resposta não linear subaditiva à luz (FIGUEIRO et al., 2018). Ele serviu de base para a métrica denominada Circadian Stimulus (CS) desenvolvida por pesquisadores do Lighting Research Center (LRC) do Rensselaer Polytechnic Institute, em Nova York. No modelo CS, a potência espectral relativa, quando todos os fotorreceptores são considerados, pode cair abaixo de zero para comprimentos de onda luz em direção à área vermelha e verde do espectro. Rea et al., (2012) encontraram um erro residual médio para CS de 0,06 comparado com 0,12 para a função de Gall e Bieske, e 0,23 para EML quando comparado com os dados de Brainard et al., (2001) e Thapan et al., (2001) (RANSLEY, 2020).

Ainda não existe uma métrica que tenha esgotado a aplicação dos conhecimentos do sistema biológico não visual. Até o momento, o modelo Rea et al., (2012) é o único que leva em conta as sensibilidades espectrais e absoluta do sistema circadiano e sua relação com o CS (FIGUEIRO et al., 2018). Um problema potencial com CS (bem como a métrica de Gall e Bieske) é que ele é baseado na supressão noturna da melatonina e não na mudança de fase circadiana. Embora esses dois fatores estejam intimamente relacionados, há evidências sugerindo que a supressão da melatonina e a mudança de fase circadiana não são inseparáveis em sua resposta espectral ou temporal (RANSLEY, 2020). Além disso, a pesquisa sobre a interação entre ipRGCs e

outros fotorreceptores ainda está incompleta, e pesquisas muito recentes até mesmo mostraram que um subtipo de ipRGC tem um efeito inibitório e de amortecimento na mudança de fase circadiana em mamíferos (RANSLEY, 2020). Apesar disso, a métrica ganhou força na pesquisa de iluminação e ainda está em discussão o fato de sua implementação na prática ser adequada ou não (RANSLEY, 2020).

Segundo Price et al., (2019), para obter uma melhor base para futuras recomendações sobre condições de luz no trabalho é necessário desenvolver melhores estudos de campo sobre ritmos circadianos e outros efeitos não visuais da luz, combinando diversas técnicas e áreas de especialização. O primeiro passo seria realizar medições precisas de exposição à luz pessoal dos cinco canais ponderados especificamente (1 para bastonetes, 1 para os ipRGCs e 3 entradas para cones) para revelar como os aspectos da luz afetam a saúde. Depois, biomarcadores robustos e validados para medir ritmos diurnos e técnicas de desempenho cognitivo de alta qualidade, incluindo entrevistas sobre cronometria e aspectos organizacionais do local de trabalho.

Novas métricas evidenciam a necessidade de atualizar a maneira como traduzimos a iluminação em relação ao sistema biológico não visual. Implica, também, no desenvolvimento de equipamentos mais adequados e em protocolos para a medição em campo (Price et al., 2019).

Por fim, através de um vocabulário e unidade padrão compartilhados, pode-se comparar e refletir sobre os efeitos observados, a fim de estabelecer uma base para recomendações e normas projetuais atualizadas. Porém, devido ao ineditismo de campo deve-se ter cautela na aplicação dos conhecimentos (PRICE et al., 2019).

### **2.3.5 Dispositivos para medir a iluminação**

Embora não haja consenso sobre as funções de ponderação espectral para qualquer resposta específica à luz, pesquisadores e metrologistas concordam que a função de eficiência luminosa fotópica e medidores de luz comercialmente disponíveis não são adequados para especificar e medir a luz para os efeitos não visuais (FIGUEIRO et al., 2018). Além disso, especificar apenas a iluminação no plano de trabalho, como é tradicionalmente feito, não é o suficiente. Agora, o ambiente deixou de ser o único foco de pesquisas e o ser

humano, e consequentemente toda a sua exposição ao longo do dia, considerando o contato com a iluminação natural, ditam a exposição de interesse. Portanto, a medição deve se aproximar ao máximo do nível de iluminação biológica no olho (ŁASZEWSKA et al., 2018). Mesmo com esses desafios, a capacidade de medir a quantidade de iluminação, tanto de produtos quanto de sistemas de iluminação em ambientes construídos, é fundamental para entender o impacto das decisões de projeto e desenvolver diretrizes, métricas e recomendações (JUNG, INANICI, 2018).

Atualmente, existem apenas alguns dispositivos que podem capturar a exposição à luz para os efeitos não visuais. Esses dispositivos podem fazer medições por um período curto ou longo e serem vestíveis, a nível ocular ou captura de cena. Dentre os vestíveis, encontram-se ainda os que podem ser utilizados em diversos locais do corpo como em broche e relógio e os que atuam a nível ocular, levando em conta os movimentos de rotação da cabeça. Apesar desse tipo de dispositivo se aproximar bastante da iluminação incidente no olho, ela ainda não corresponde a luz retinal. Para tal, seria necessário um detector de exposição retinal que levaria em consideração os movimentos dos olhos e tamanho da pupila. Esses equipamentos podem ser utilizados conjuntamente, ou ainda serem equipados, com outros sensores responsáveis por medir respostas biológicas dos efeitos da iluminação como biomarcadores, padrão de atividade/sono e temperatura corpórea, por exemplo. Os biomarcadores mais utilizados são o cortisol e a melatonina salivar. Apesar de serem medidas endógenas seguras, elas nem sempre estão disponíveis e dependem de profissionais especializados para o processamento do material biológico.

Em contrapartida, pode-se usar actígrafos, que são pequenos dispositivos autônomos vestíveis que medem e registram os padrões de atividade e repouso de indivíduos durante longos períodos (FIGUEIRO et al., 2018). Foi evidenciado uma forte correlação entre dados de actigrafia e melatonina e ritmos da temperatura corpórea, embora a polissonografia continue a ser o método mais indicado para avaliar os parâmetros do sono. Logo, a actigrafia destaca-se como um método facilmente aplicado em campo. Porém, como não existe um padrão de medição em actigrafia, os relatórios podem não ser facilmente comparados e os dados resultantes devem ser considerados qualitativos. Além disso, muitas

vezes ele entende os períodos de inatividade como se fossem períodos de sono, podendo gerar uma interpretação errada dos dados. Diante dessa dificuldade, é comum que os pesquisadores solicitem aos sujeitos do estudo que mantenham registros dos horários de sono e vigília para complementar os dados. Ainda assim, a actigrafia é uma ferramenta útil para fornecer dados sobre o sono de um indivíduo em campo (FIGUEIRO et al., 2018). Ainda, para vincular os padrões de atividades ao nível de sincronização do ciclo circadiano, foi proposto por Rea et al., (2008) um método quantitativo chamado de análise fasorial. Este método permite o exame da relação entre o estímulo padrão de exposição claro-escuro de 24 horas e o padrão de atividade-reposo. A resposta é quantificada em termos de fase e magnitude de sua função pelo componente de frequência de 24 horas e pode ser representado por um vetor, denominado fasor. O comprimento do vetor, ou magnitude fasorial, representa a quantidade de sincronização circadiana exibida no padrão claro-escuro e o padrão de atividade-reposo associado; quanto maior a magnitude do fasor, mais forte é a correlação entre o estímulo de luz e a resposta da atividade.

Dentre os equipamentos vestíveis, destacam-se o Actiwatch Spectrum usado a nível do pulso, o Daysimeter Daysimeter-D/Dimesimeter, os dispositivos Luxblick, alemão, e o Oculux, brasileiro, que atuam a nível ocular.

Figura 9 – Dispositivos individuais



O Actiwatch Spectrum, comercializado pela empresa Philips, é utilizado no pulso e através da actigrafia fornece dados da quantidade e qualidade do sono. Possui também três sensores de luz que registram a irradiância e fluxo luminoso em três bandas de cores do espectro visível: vermelho (R), verde (G) e azul (B). Além disso é à prova d'água e consegue detectar a sua remoção. Em



suas versões atualizadas o Actiwatch Spectrum Pro e Plus, além de ter uma capacidade de registro entre 50 (Plus) e 60 (Pro) dias, também oferecem recursos como alarmes sonoros e vibracionais pré-programados para coleta de registros subjetivos em escala de classificação numérica (por exemplo fadiga ou depressão) em tempo real (PHILIPS 2021).

O Daysimeter, desenvolvido por pesquisadores do LRC, é um equipamento originalmente montado a nível ocular, que evoluiu para modelos como o Daysimeter-D ou Dimesimeter sendo utilizado em diferentes locais do corpo. Ele mede as exposições pessoais à luz através de dois fotossensores com o cosseno calibrado equipados com um filtro de vidro, que corresponde de maneira aproximada às curvas de resposta da CIE para Observador Padrão e circadiana; o estímulo circadiano é calculado aproximando os dados dos dois fotossensores. Além disso, ele também mede os níveis de repouso e atividade e usa análises fasoriais para avaliar quantitativamente o grau de interrupção circadiana. Foi considerado uma das dez principais inovações de 2011 pela revista americana *The Scientist*, sendo uma ferramenta valiosa para aprofundar nossa compreensão do impacto da luz na saúde humana (LIGHTING RESEARCH CENTER, 2021).

O Dimesímetro ou Daysímetro D, também desenvolvido pelos pesquisadores do LRC, foi projetado para ser um dispositivo de registro de dados pequeno, discreto e barato, com aproximadamente 2 centímetros de diâmetro podendo ainda ser acoplado a pulseira, colarinho, lapela de chapéu ou colar. É estruturado como um dispositivo eletrônico autônomo, encapsulado em epóxi, alimentado por bateria, que se comunica com uma *dock station* por meio de uma interface óptica com um computador pessoal. Registra os níveis de luz e atividade continuamente durante dias e é calibrado em termos de sensibilidades espectrais do sistema visual e circadiano. A detecção de luz é realizada com um circuito integrado que inclui filtros ópticos para canais de medição RGB. Também possui um acelerômetro, podendo ser aplicado para uso contínuo por até um mês e realizar posterior download e análise de dados (LIGHTING RESEARCH CENTER, 2021). Figueiro e Rea (2011) compararam o Actiwatch-L, o Daysimeter e o Dimesímetro e identificaram que enquanto as diferenças no CS medido com o Daysímetro a nível ocular e em outros locais eram tipicamente menores que

10%, a magnitude da diferença tornou-se grande quando comparado às medições de iluminância fotópica (lux). Ainda, as calibrações espectrais e espaciais absolutas de um dispositivo são indispensáveis para fazer inferências válidas sobre pesquisas do sono e de ritmos circadianos (FIGUEIRO et al., 2018).

O LuxBlick é um equipamento desenvolvido na Universidade Técnica de Ilmenau, Alemanha, que mede a iluminância na posição do olho através da fixação em armação de óculos de dois sensores fotométricos, um para a iluminância tradicional baseada na curva de sensibilidade fotópica e outro para a luz azul, correspondendo à irradiância ponderada circadiana. Esses sensores são conectados através de um cabo a uma unidade de armazenamento de dados colocada ao redor da cintura. Esse equipamento mostrou-se adequado para medir a luz incidente no olho humano em estudos experimentais e diferenciou-se pelo seu baixo custo em relação aos demais modelos (DIAS, 2017). Baseado no modelo alemão, foi desenvolvido o dispositivo brasileiro Oculux por pesquisadores da Universidade Estadual de Campinas por Dias, (2017) para medir a iluminação também a nível ocular. Baseado na plataforma de prototipagem eletrônica *open-source* Arduino apoiada em hardware e software flexíveis, ele possui essencialmente duas partes: um *data logger* que contém o circuito eletrônico e o óculos de segurança do trabalho com um sensor RGB para registro do fluxo de luz (Figura 9). O sensor comunica-se com o Arduino, o relógio (*real-time clock*) e o cartão de memória através de um cabo *Ethernet*. Ele ainda é capaz de salvar esses registros continuamente e realizar medidas com uma resolução temporal de 01s. Uma bateria de lítio é responsável por alimentar o conjunto e permite até cerca de 20 horas de medições. Embora o OcuLux apresente faixa de medição limitada, seu uso em uma situação real indicou que o mesmo é confiável para medições da iluminância pupilar (DIAS, 2017).

Protocolos também foram desenvolvidos por Jung, (2017) para medir a iluminação de uma cena utilizando a fotografia. Essa técnica destaca-se por capturar os valores de luminância dentro de um grande campo de visão em alta resolução, de uma maneira rápida e econômica. O sensor de luz tipo câmera (CLLS) é um dispositivo feito sob medida que captura os níveis de luz ponto-a-ponto. A sensibilidade espectral do CLLS se assemelha à curva fotóptica do

Observador Padrão CIE, e sua intensidade e espectro são calibrados para corresponder à curva de resposta circadiana de Gall & Bieske (2004) (com um erro padrão de 10,4%) (JUNG, INANICI, 2018). Levando em conta que a luz reflete em várias superfícies antes de entrar no olho, alterando seu conteúdo espectral, essa técnica permite a avaliação do ambiente posteriormente às capturas de cena, de maneira a planejar mais efetivamente a iluminação para os efeitos não visuais. Por outro lado, pode-se argumentar que os níveis de luz circadiana também podem ser derivados da intensidade de iluminação e composição espectral, que podem ser medidos através de um espectrofotômetro. Uma dificuldade, no entanto, é o acesso aos espectrofotômetros, pois eles são caros e pouco acessíveis (JUNG, INANICI, 2018).

Com o desenvolvimento de novas tecnologias que permitem medir a exposição individual à iluminação houve uma notável aproximação das medições para o nível dos olhos. Ainda assim, na maioria dos dispositivos, apenas a irradiância facial tem sido registrada, e não a irradiância retinal efetiva. Como visto, o tamanho da pupila e a distribuição da iluminação entre o campo superior e inferior também são características a serem consideradas através de um detector de exposição retinal. Entretanto a conversão dos dados faciais não é feita de maneira simples (DIAS, 2017). Essa aproximação das medições ao nível dos olhos e córnea, porém, facilitará uma melhor relação com os efeitos não visuais medidos (seja estado de alerta ou mudança de fase do ciclo circadiano) mas não necessariamente ajudará a analisar o ambiente para que propostas de intervenção possam ser realizadas. Desta maneira, dispositivos de análise de exposição individual podem ser utilizados juntamente com a análise de espaços onde são realizadas a maior parte das atividades para que, em campo, propostas de projeto e alteração do ambiente possam ser realizadas e sua eficácia também medida.

Outro aspecto a se considerar é o fato de que os dispositivos, na maioria dos casos, não estão disponíveis comercialmente (JUNG, INANICI, 2018). O impacto da falta de dispositivos de medição acessíveis é observado mesmo entre as publicações científicas. A maioria dos estudos iniciais sobre iluminação circadiana foi realizada em laboratórios e os dados são principalmente limitados à iluminação fotóptica diretamente sobre o olho. A composição espectral da luz

nem sempre é medida, ou os dados são limitados à composição espectral da fonte de luz elétrica fornecida pelo fabricante. Essa informação limitada não representa com precisão a composição espectral da luz que atinge o olho. Ou seja, há uma necessidade de padrões e práticas que sejam replicáveis, traduzíveis entre estudos e prontamente empregáveis em campo. Esses dispositivos e técnicas devem registrar e caracterizar de forma consistente e precisa o estímulo de luz (ou seja, quantidade, espectro, tempo e duração), bem como os efeitos no sistema circadiano (por exemplo, padrões de atividade-repouso) (FIGUEIRO et al., 2018).

### **2.3.6 Recomendações ergonômicas para os efeitos não visuais**

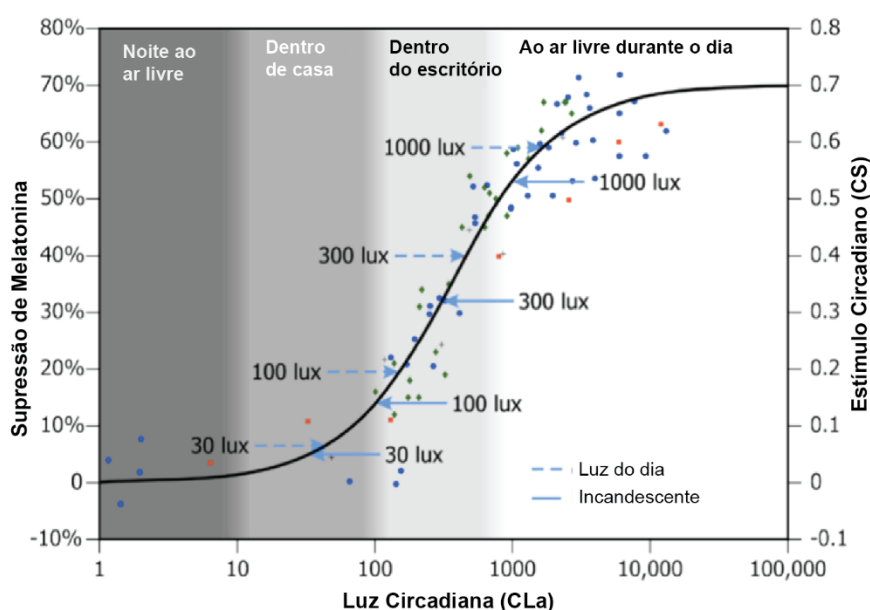
Como apresentado, a área de ergonomia da iluminação teve significativos avanços nos últimos anos. Apesar de efeitos, métricas e dispositivos para a medição ainda estarem em discussão, algumas bases pouco exploradas na ergonomia já podem ser ampliadas. Principalmente as que tratam o espectro de fonte de luz unicamente com base na CCT e como uma escolha estética do que seria considerado natural (ABNT, 2013). Já questões envolvendo iluminância, distribuição de luminância além dos efeitos indesejados do ofuscamento e cintilação por exemplo, podem sofrer alterações com os novos modelos propostos, mas continuam sendo a base para a ergonomia da iluminação. Recomendações baseadas na unidade de medida CS (estímulo circadiano) e EM (equivalente melanópico) são apresentadas neste tópico.

#### **2.3.6.1 Recomendações baseadas no Estímulo Circadiano (CS)**

Um primeiro passo para estabelecer se um sistema de iluminação fornecerá uma quantidade prescrita que atenda do Estímulo Circadiano (CS) é determinar a distribuição da irradiância espectral da luz incidente na córnea. A partir disso, é então possível calcular a luz circadiana (CLA), que é a irradiância ponderada na córnea para refletir a sensibilidade espectral do sistema circadiano humano medido pela supressão aguda de melatonina por hora de exposição e o CS, que é a eficácia da irradiação espectralmente ponderada na córnea desde o limiar ( $CS = 0,1$ ) até a saturação ( $CS = 0,7$ ) (Figueiro et al., 2016). Na Figura 10, a sensibilidade absoluta do sistema circadiano humano é plotado em função

do nível de luz, onde a distribuição de energia espectral de várias fontes de luz usados em estudos são ponderados de acordo para CLA (eixo x). A ordenada direita (eixo y), estímulo circadiano (CS), é dimensionada para ser proporcional à ordenada esquerda, representando a quantidade relativa de melatonina suprimida após exposição da retina por 1 hora, variando de 0 (sem supressão) a um máximo de 0,7 (supressão de 70%) (FIGUEIRO et al., 2016).

Figura 10 – Relação entre CS e supressão de melatonina



Fonte: Figueiro et al., (2016)

Ainda, Figueiro et al., (2016) oferecem algumas recomendações ao projetar com CS. Uma mudança, como já visto, diz respeito ao plano de medição, no qual a iluminância (EV) vertical ( $\approx$  córnea) no olho, não apenas iluminância horizontal (EH) passa a ter um papel fundamental para a obtenção do valor de CS. Deve ser almejado no projeto de iluminação, portanto, uma boa relação de EH para EV (Figueiro et al., 2016). Ainda, para o cálculo do CS, é importante solicitar a distribuição de energia espectral (SPD) das fontes de luz a serem utilizadas ou analisadas de maneira a não confiar exclusivamente na sua CCT. Embora as fontes de luz com CCTs mais altas (5000-6500K) geralmente forneçam CS maior, nem sempre é esse o caso. É possível, por exemplo, que uma fonte de 3500K forneça menos CS do que uma fonte de 3000K. Além disso,

duas fontes de luz classificadas para a mesma CCT podem fornecer valores CS muito diferentes dependendo da sua SPD (FIGUEIRO et al., 2016).

Quanto ao nível de CS indicado, a recomendação estabelece, através de pesquisas com pacientes com doença de Alzheimer, trabalhadores de escritório, adolescentes e idosos saudáveis, que a exposição a um CS de 0,3 ou maior no olho, por pelo menos uma hora no início do dia, é eficaz para estimular o sistema circadiano e está associado a um sono melhor e melhor comportamento e humor (FIGUEIRO et al., 2016). Para atingir níveis almejados de CS, como abordado em capítulos anteriores, a quantidade de iluminação e o espectro podem ser controlados. Níveis de luz mais baixos atingirão valores de CS relativamente mais baixos, a menos que sejam compensados por um SPD com mais potência em comprimentos de onda mais curtos. Foi descoberto que ao almejar um EH médio de 300 lux, por exemplo, um SPD emitindo mais luz de comprimento de onda curto (CCT de 6000K) era necessário para atingir um CS alvo de 0,3, enquanto para um EH de 400 lux, um SPD emitindo menos luz de comprimento de onda curto (CCT de 4500K) foi capaz de atingir o mesmo CS (FIGUEIRO et al., 2016).

Ainda, é possível atingir um nível de CS específico pensando em camadas de iluminação através da instalação de partições luminosas nas estações de trabalho para fornecer CS extra para os ocupantes de um espaço. Outro fator a ser considerado é a exposição à iluminação natural, visto que as pessoas não devem ser mantidas na escuridão ao longo do dia. Embora a luz da manhã seja importante para a sincronização do ciclo circadiano, a luz em outros momentos pode provocar um efeito de alerta agudo nas pessoas, o que pode não ser o resultado desejado. Além disso, se o espaço também estiver sendo usado à noite, seu sistema de iluminação deve ser diminuído ou seu SPD deve ser ajustado para emitir menos CS. Cronogramas de controle de iluminação devem fazer parte do processo de design e mudarão dependendo da aplicação (FIGUEIRO et al., 2016).

Existem, porém, algumas limitações ao projetar ou analisar ambientes segundo essas recomendações. Nem sempre o ambiente contará com apenas uma fonte luminosa. Muitas vezes, além da iluminação artificial de teto e a iluminação natural proveniente de janelas, temos objetos iluminantes como telas

de computador, televisores e celulares móveis, que embora não emitam uma iluminância comparável com luminárias, são utilizados próximos ao olho e juntamente com a exposição prolongada podem desempenhar um impacto significativo no estímulo recebido e efeitos não visuais causados. Outra desvantagem é que o ambiente é composto de múltiplas superfícies e revestimentos que também são responsáveis por alterar como a luz do ambiente pode ser recebida.

#### 2.3.6.2 *Recomendações baseadas no Lux melanópico equivalente (EML)*

EML foi adotado como uma medida de eficácia circadiana pelo padrão de construção WELL, que já foi apresentado quanto aos aspectos visuais. Apesar de não ser tão preciso e completo quanto o CS, no contexto de projeto, pode-se argumentar que o EML é preciso o suficiente, pois não levaria a decisões inadequadas (RANSLEY, 2020). Sobre os efeitos biológicos, o padrão diz:

Os efeitos biológicos da luz em humanos podem ser medidos em Lux melanópico equivalente (EML), uma métrica alternativa proposta que é ponderada para as ipRGCs em vez dos cones, que é a medida tradicional (The WELL Building Standard v2, 2020, Pg.,111).

Ainda, também recomenda que o EML seja medido no plano vertical ao nível dos olhos do ocupante.

Em 75% ou mais das estações de trabalho, pelo menos 200 lux melanópico equivalente devem estar presentes, medidos no plano vertical voltado para a frente, 1,2 metros acima do piso acabado (para simular a visão do ocupante) (The WELL Building Standard v2, 2020, Pg.,111).

Este nível de luz pode incorporar a luz do dia e estar presente pelo menos entre 9h00 e 13h00 horas para todos os dias do ano. Para todas as estações de trabalho, a iluminação artificial deve fornecer uma iluminância mantida no plano vertical voltado para a frente (para simular a visão do ocupante) de 150 lux melanópicos equivalentes ou mais. Para atingir esses valores sem a presença da iluminação natural, uma proposta seria utilizar superfícies com valores de refletância mais altos que resultam em maior intensidade geral de luz, promovendo o estado de alerta e atividade. A escolha de superfícies com valores de refletância mais altos representam, segundo o padrão, uma boa estratégia para garantir que uma quantidade suficiente de luz atinja o olho sem aumentar o consumo de energia . (WELL, 2020). Quanto à iluminação natural, o padrão diz:

A exposição a quantidades adequadas de luz natural reforça o alinhamento de nossos ritmos circadianos e reduz a dependência de eletricidade para iluminação artificial; no entanto, a luz solar excessiva pode causar ofuscamento e contraste visual indesejado. É importante considerar isso não apenas ao longo do dia, mas também ao longo do ano, de modo que os ocupantes possam aproveitar os benefícios da exposição à luz do dia em todas as estações (The WELL Building Standard v2, 2020, Pg.,111).

Para tal, é necessário encontrar um equilíbrio entre a autonomia espacial da luz do dia (sDA), que mede a porcentagem da área do piso que recebe luz solar adequada, e a exposição solar anual (ASE), que mede a porcentagem da área do piso que recebe luz solar direta (WELL, 2020). Já sobre o acesso à iluminação natural através das janelas, o padrão diz que 75% de todos os espaços ocupados devem estar dentro de uma distância de 7,5 metros de janelas ou átrios com vista para o exterior. Já para as estações de trabalho 95% delas devem estar a pelo menos 12,5 metros de janelas ou átrios (WELL, 2020).

Uma seção é destinada a recomendações quanto a uma política de sono saudável. É recomendado um limite organizacional de até meia-noite para trabalho noturno no caso de necessidade. Também é sugerido um fornecimento de subsídio de 50% em software e ou aplicativos que monitore padrões de comportamento relacionados ao sono durante o dia, como níveis de atividade, ingestão de cafeína e álcool e hábitos alimentares (WELL, 2020).

Embora exista, de maneira geral, uma carência por normas e recomendações atualizadas que considerem os efeitos biológicos não visuais, pesquisas de campo e validações mostram-se necessárias antes que valores específicos possam ser propostos como norma. Em 2009, logo após as publicações de Brainard et al., (2001) e Thapan et al., (2001), o Instituto Alemão de Padronização lançou um pré-padrão DIN V 5031- 100: 2009-03 (revisado e finalizado em 2015) definindo um espectro de ação para a supressão noturna da melatonina, usando a função empírica de Gall e Bieske (2004). A pré-norma, mostrou-se, porém, limitada em precisão, pois não levou em conta uma característica chave dos dados de Brainard et al., (2001) e Thapan et al., (2001) desconsiderando a neurofisiologia e a neuroanatomia da retina e as características operacionais do sistema circadiano (RANSLEY, 2020; FIGUEIRO et al., 2018).



### 2.3.7 Novas abordagens

Abordagens tanto de intervenção nos ambientes, quanto de novas ferramentas que conectam sistemas iluminantes a respostas biológicas individualizadas têm sido propostas. Um elemento importante dentre essas novas abordagens está na integração da iluminação natural com a artificial. Pensar e organizar o ambiente em camadas de iluminação também pode ser uma estratégia eficiente, como proposta por Figueiro et al., (2006), para manter a adaptabilidade de ambientes a necessidades individualizadas e ainda assim, cumprir uma função para todos os ocupantes dos espaços.

Figura 11 – Exemplo de oásis de iluminação



Fonte: Figueiro et al., (2016)

Figueiro et al. (2016) também propõem, em ambientes onde as renovações não podem acontecer devido a restrições orçamentárias ou arquitetônicas, oásis leves de baixo custo. Eles poderiam ser configurados de diversas maneiras, mas seriam basicamente ambientes específicos onde uma dose de iluminação maior do que a necessária para as atividades usuais seria ofertada, de modo a complementar o nível de iluminação individual indicado (Figura 11). Outra solução de design proposta relativamente simples seria a instalação de partições de estação de trabalho luminosas para fornecer CS extra para os ocupantes de um espaço (Figura 12).

Figura 12 – Exemplo de partições em espaços de trabalho



Fonte: Figueiro et al., (2016)

Mais recentemente, em 2017, o LRC desenvolveu um dispositivo de monitoramento e regulação circadiana onde o equipamento daysímetro foi utilizado juntamente com dois óculos, um responsável por iluminar a retina e outro em material translúcido laranja para filtrar luz de menor comprimento de onda. A prescrição de quando e por quanto tempo utilizar cada óculos foi gerada automaticamente todos os dias através de um aplicativo desenvolvido para o celular com o objetivo de combater o *jet lag* e aumentar o estado de alerta e o desempenho de combatentes dos Estados Unidos durante uma missão.

Outra solução de automatização individualizada foi proposta por Papatsimpa et al. (2020), onde um sistema de iluminação de escritório foi personalizado para ser bio-adaptativo, ou seja, controlado para emitir uma prescrição de iluminação feita sob medida para cada funcionário. O objetivo da solução é o alinhamento do tempo do despertar natural com o imposto por restrições sociais, controlando a luz. Ela utiliza um algoritmo que é regulado por dois mecanismos, o relógio circadiano endógeno, que gera um ritmo circadiano de sono-vigília e um oscilador de relaxamento homeostático do sono. Esse segundo oscilador descreve a necessidade fisiológica de sono, conhecida como pressão homeostática do sono, que se acumula durante a vigília e se dissipa durante o tempo em que a pessoa está dormindo (PAPATSIMPA et al., 2020).

Essas novas abordagens envolvem conhecimentos e profissionais especializados de diversas áreas. Os arquitetos determinam as possibilidades de penetração da luz do dia pela orientação do edifício e pelo design e formato das janelas. Os designers de interiores determinam a reflexão e a absorção da luz diurna e artificial pelas cores do teto, paredes e móveis. O designer de iluminação determina o vínculo entre luz diurna e artificial e a qualidade da iluminação artificial. Ainda assim, um novo profissional de iluminação precisaria, portanto, emergir, focado no entendimento da luz pessoal e treinamento sobre a saúde. Além disso, novos aplicativos de software podem ser desenvolvidos para rastrear as exposições de iluminação ao longo do dia e fornecer prescrições para manter o alinhamento ou corrigir disrupções circadianas. Um outro aspecto importante seria educar professores e pais sobre a importância de um padrão claro-escuro robusto de 24 horas (PRICE et al., 2019; FIGUEIRO et al., 2018).

## 2.4 ILUMINAÇÃO E TRABALHO NO PERÍODO NOTURNO

De acordo com o primeiro módulo temático da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (Pnad Contínua), realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o número de trabalhadores no período noturno passou de 6,4% para 7,6% em relação ao total da população empregada no país, entre 2015 e 2016, respectivamente. Em 2016, a região Sul apresentava a maior proporção de ocupados nesse turno no trabalho principal, seguida pelas regiões Centro-Oeste e Sudeste, Norte e Nordeste.

Segundo o Ministério do Trabalho, o artigo nº 7º, inciso XIV, da Constituição Federal de 1988, refere-se à jornada diária de trabalho realizado em turnos ininterruptos de revezamento que deverá ser de, no máximo, seis horas diárias, perfazendo um total máximo de 36 horas semanais. Os agentes etiológicos e fatores de risco de saúde ocupacional são reconhecidos pelos Ministérios da Saúde e Previdência Social como causas de doenças classificadas pela Classificação Internacional de Doenças (CID- 10)

Como apresentado, o trabalho noturno tem sido associado a doenças cardiovasculares (DCV), diabetes, problemas de cognição, transtornos mentais e câncer, incluindo o câncer de mama. Condições como luz intensa no período

da noite, distúrbios circadianos e sono insuficiente foram estudados com o intuito de mostrar a relação entre o trabalho noturno e seus efeitos adversos para a saúde (PRICE et al., 2019). Bohle & Tilley, (1989) estudaram padrões de sono e performance de trabalhadores noturnos e identificaram um sono com menor duração e com qualidade degradada entre esses trabalhadores. Além disso, a qualidade na execução de tarefas para trabalhadores diurnos e noturnos não foi a mesma. Uma característica comum desses resultados é que algumas tarefas são mais sensíveis ao efeito do trabalho noturno. Uma é a complexidade cognitiva envolvendo a manipulação mental de informação, por exemplo, ao analisar problemas complexos e encontrar uma solução. A outra é a tarefa de vigilância, na qual a atenção tem que ser voltada para informações em cenários estáveis para tomada de ação rápida caso algo possa acontecer, mas raramente acontece, por exemplo em serviços de vigia. Os trabalhadores em turnos rotativos também experimentam os mesmos sintomas por alguns dias, após cada mudança de turno (ŁASZEWSKA et al., 2018).

#### **2.4.1 Efeitos não visuais da iluminação e o trabalho noturno**

A iluminação pode ser um elemento chave para ajudar essa categoria de trabalhadores a manter o estado de alerta durante a jornada laboral e diminuir os efeitos negativos da disrupção circadiana. Intervenções de exposição à luz para reduzir os efeitos adversos do trabalho por turnos, entretanto, produziram resultados mistos (PRICE et al., 2019). Para indivíduos envolvidos em trabalho em turnos, a iluminação no período noturno pode ser utilizada para aumentar o estado de alerta. Van Bommel (2006), calculou com base em um extenso estudo da literatura o possível aumento total da produtividade que resultou em uma melhoria da iluminação. Porém, em turnos de rotação rápida (cerca de 3-4 dias), uma abordagem mais adequada seria basear a iluminação na melhoria do estado de alerta sem mudança de fase (ŁASZEWSKA et al., 2018).

Intervenções personalizadas baseadas em características individuais, como cronotipo e idade, podem levar a maiores taxas de participação e melhores resultados. Porém, elas necessitam de informações mais específicas acerca das características do trabalho, incluindo a temporização e rotação dos turnos, além da duração, e número de anos trabalhados. Também foi sugerido que os estudos

incluam dados sobre exposições à iluminação tanto no trabalho quanto fora do horário de trabalho. Esses dados devem ser incluídos na descrição do trabalho por turnos em estudos epidemiológicos (PRICE et al., 2019).

Embora os estudos de campo não possuam o mesmo nível de controle do ambiente, eles fornecem, em contraste com pesquisas realizadas em laboratório, informações valiosas sobre as condições reais de trabalho. Os participantes nesses estudos são expostos a variáveis individuais, como hábitos pessoais, além de rotinas cotidianas como por exemplo, limpeza, preparação de alimentos, cuidar de crianças e animais de estimação. As variáveis a nível de grupo podem incluir ligações socioeconômicas à poluição luminosa, aspectos culturais, estação do ano, latitude etc. Tais exposições incontroláveis e comportamentos complexos fazem parte da vida de todos, além de serem aspectos inevitáveis do trabalho em alinhamento com o ciclo de luz. Essa imprevisibilidade inerente deve sempre ser levada em conta ao estimar a eficácia das intervenções em contextos reais (PRICE et al., 2019).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta a caracterização da pesquisa e descreve os seus procedimentos metodológicos para propor recomendações ergonômicas que contemplem os efeitos não visuais da iluminação destinadas aos trabalhadores noturnos de acordo com a realidade verificada. A pesquisa foi estruturada em três fases, conforme apresentado na Figura 13. Na fase teórica foram revisadas as recomendações já existentes para os efeitos visuais e não visuais da iluminação para escritórios. Também foi estruturado o questionário de maneira a delinear um panorama geral das condições de trabalho específicas do período noturno, ambiente e iluminação disponíveis, além de identificar variação do estado de alerta e padrão de sono relatados. A fase experimental foi conduzida em duas etapas separadamente: a aplicação do questionário de maneira virtual a um grupo de trabalhadores noturnos e posteriormente os registros de imagens de luminância de um ambiente de escritório selecionado para identificar se o trabalhador estava recebendo o estímulo suficiente para permanecer em estado de alerta. Ainda, um estudo em ambiente de escritório simulado foi conduzido de maneira a simular como a alteração de iluminação da cena poderia contribuir para um impacto nos valores de luminância e estado de alerta.

Figura 13 – Estruturação das fases da pesquisa



Fonte: A autora (2021)

### 3.1 CONDIÇÕES DE TRABALHO

#### 3.1.1 Questionário

O questionário foi criação dos autores, baseado em alguns instrumentos (Quadro 3), separado em 8 áreas de acordo com o tema, totalizando 99 itens e aplicado virtualmente. Como alguns itens foram relacionados a respostas predecessoras, nem todos foram de preenchimento obrigatório. O Termo de Consentimento Livre e Esclarecido foi disposto logo após a apresentação da pesquisa (Apêndice A) e apenas tiveram acesso aos itens do formulário os participantes que afirmaram ter mais de 18 anos, desempenhar atividade remunerada regularmente no período noturno e que aceitaram participar voluntariamente da pesquisa.

Quadro 3 – Instrumentos utilizados

Área:	Instrumento:	Fonte:	Objetivo:
1. Identificação sociodemográfica	Do autor	Do autor	Caracterização da amostra
2. Caracterização do trabalho	Do autor	Do autor	Caracterização do trabalho
3. Trabalho no período noturno	Do autor, com partes do Questionário de Cronotipo de Munique	Do autor, Roenneberg, 2015	Identificação das condições do trabalho noturno
4. Estado de alerta	Escala de Sonolência Karolinska	Åkerstedt & Gillberg, 1990	Identificar momentos onde há o menor nível de atenção
5. Iluminação do ambiente de trabalho	Questionário sobre o conforto visual dos ocupantes em espaços de escritórios.	Mochizuki & Koike, 2010	Caracterização da iluminação e nível de satisfação do trabalhador
6. Padrão de sono	Questionário de Cronotipo de Munique (MCTQ)	Roenneberg, 2015	Verificar o nível de interrupção/ sincronização do ciclo circadiano de sono
7. Consumo de estimulantes	Questionário de Cronotipo de Munique (MCTQ)	Roenneberg, 2015	Influência de estimulantes no padrão de sono
8. Estado de Saúde	Questionário Geral de Saúde Mental	Goldberg & Hillier, 1979	Identificação do estado de saúde física e mental do trabalhador
	Saúde física	Do autor	

Fonte: A autora (2021)

O modelo completo do questionário, tal como foi aplicado, encontra-se no Apêndice A. Todos os instrumentos foram adaptados pelos autores, de acordo com a pertinência da área. O Questionário de Cronotipo de Munique (MCTQ) (ROENNEBERG, 2015) está em uso desde 2000 e permite a avaliação de ritmos de sono dos indivíduos. Seu módulo central também envolve questões acerca das características do trabalho e consumo de estimulantes. As ilustrações foram atualizadas pelos autores para melhor representar os momentos do ciclo do sono e serem mais facilmente reconhecidos pelo meio digital. O Questionário Geral de Saúde Mental, utilizado na sua versão resumida, foi desenvolvido por Goldberg & Hillier, (1979). Ele consiste em 12 perguntas fechadas com respostas na escala de padrão Likert de 5 pontos. A Escala de Sonolência Karolinska é uma escala Likert de 9 pontos, frequentemente usada na condução de estudos envolvendo avaliação subjetiva do nível de sonolência imediata. Neste estudo ela foi utilizada não de maneira imediata, mas auto relatada a partir de como o indivíduo geralmente se sente em horas específicas da rotina de trabalho. Mochizuki & Koike (2010) elaboraram um questionário com vinte e uma questões divididas em três partes: iluminação ao redor da mesa de trabalho, iluminação natural e a luz do ambiente. Os autores Mochizuki e Koike não relatam em seu artigo como o instrumento foi desenvolvido. Apesar de ter sido originalmente concebido para medir o nível de conforto, por ser voltado exclusivamente para ambientes de trabalho e pela preocupação com a presença da iluminação natural, ele se demonstrou uma ferramenta adequada de caracterização da iluminação do ambiente.

Representantes de centros e empresas que oferecem serviços ao longo das 24h na cidade de Florianópolis foram abordados, a pesquisa foi apresentada e o interesse em colaborar foi averiguado. Também foi feita a divulgação em redes sociais e através de mensagem direta a contatos próximos. Desta forma, deu-se uma seleção amostral não probabilística. O questionário foi aplicado através da plataforma *Forms*, que faz parte do pacote *Office 365*. Inicialmente foi apresentado a pesquisa, com as informações de contato e solicitando um número aleatório enviado previamente pelo pesquisador para controle de



preenchimento e contatos. Ou seja, nenhum dado de identificação pessoal foi solicitado. Foi realizada uma análise exploratória com os dados obtidos, de maneira a identificar variação do estado de alerta e padrão de sono relatados, identificar o nível de disrupção circadiana, além de ampliar a compreensão sobre as condições e ambiente de trabalho.

### 3.2 ANÁLISE DA LUMINÂNCIA DO AMBIENTE DE TRABALHO

Para avaliar luminância do ambiente de trabalho e iluminância a nível ocular, foram seguidos os protocolos da técnica de fotografia HDR. Para tal é necessário um processo de calibração inicial dos valores obtidos com a câmera, o que foi realizado em dois ambientes acadêmicos, uma sala de aula e um escritório. Com a câmera calibrada, foi agendado uma visita a um centro de monitoramento, local onde trabalhadores diurnos e noturnos realizam suas atividades. Esse local foi contatado após a aplicação do questionário na qual a instituição demonstrou interesse em receber a pesquisadora para o registro das fotografias, realização das medições e análise das condições do ambiente. Foram registradas imagens HDR de um ambiente de trabalho composto por 4 estações individuais de trabalho onde trabalhadores noturnos realizam suas atividades, além de um ambiente de descanso. O registro das imagens ocorreu no período noturno e foi solicitado ao trabalhador que indicasse qual o local e posição mais comumente utilizados para realização do seu trabalho. Câmera e tripé foram ajustados e a sequência de imagens foi capturada. Após a coleta de dados no ambiente de trabalho noturno, registros complementares foram realizados em um ambiente controlado estilo escritório. Esse ambiente foi alterado de maneira a conter luminárias complementares para avaliar como as medidas de luminância seriam influenciadas. Esse estudo auxiliou a construção das recomendações ergonômicas aplicáveis ao ambiente observado.

#### 3.2.1 Técnica de fotografia HDR

A análise da iluminação do ambiente para efeitos não visuais foi realizada a partir da técnica de Fotografia de Alta Faixa Dinâmica - HDR (*High Dynamic Range* - sigla em inglês) que possibilita a reprodução de uma faixa dinâmica mais

ampla do que as imagens digitais padrão (Página 46). A metodologia e o fluxo de trabalho apresentados pelos autores Jung & Inanici (2018), possibilitam medições com a utilização de uma câmera comercialmente disponível e um medidor de cores tristimulares (XYZ). Na fotografia HDR, registros de múltiplas exposições de baixa faixa dinâmica (LDR, *Low Dynamic Range*, sigla em inglês) são feitos para capturar o intervalo de variação de luminância dentro de uma cena (INANICI & GALVIN, 2004; JUNG & INANICI, 2018). No sistema visual humano esse intervalo de variação está dentro de 10 ordens de magnitude para uma única cena e poucas métricas conseguem atingir esse nível.

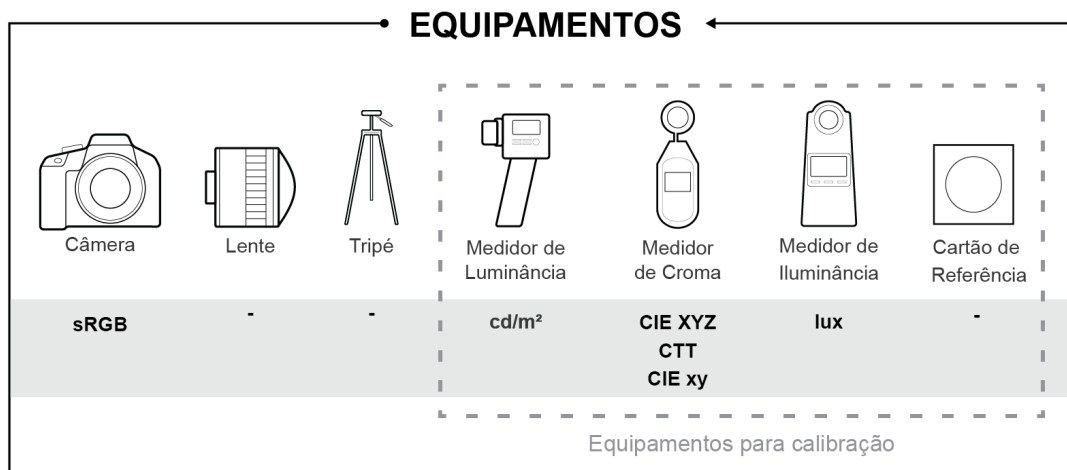
Inanici & Galvin, (2004) confirmaram através de estudos sobre a ferramenta de mapeamento de luminância, que as fotografias HDR correspondem à quantidade física de luminância com precisão e reprodutibilidade razoáveis quando comparadas com medições físicas dos espectros da fonte de luz. Apesar da fotografia HDR ter sido inicialmente desenvolvida como uma técnica de fotografia computacional, ela foi validada para medidas científicas de valores de luminância fotóptica em nível de pixel dentro de uma margem de erro de 10% (JUNG & INANICI, 2018; INANICI, 2006). Ainda, ela representa uma possibilidade de medição com a vantagem de coletar dados de luminância de alta resolução dentro de um grande campo de visão de forma rápida e eficiente, além de obter informações relacionadas à quantidade e distribuição da iluminação (INANICI & GALVIN, 2004; GORMAN & DURANTE, 2019). Pode ainda ser utilizada na investigação do desconforto visual e cálculo do índice de ofuscamento UGR, além da detecção de reflexos (GORMAN & DURANTE, 2019).

#### 3.2.1.1 Processo de calibração

Apesar da praticidade de aplicação dessa técnica validada por Jung & Inanici, (2018), um processo inicial de calibração dos valores é necessário. Foram realizadas medições de luminância com o Luminancímetro Konica Minolta LS-110 e dos espaços de cor com o Colorímetro Konica Minolta xy-1 além de valores auxiliares de iluminância com o Luxímetro digital MLM-1020 para comparação dos valores deste aparelho com as imagens HDR. As fotografias

foram capturadas com uma câmera digital Canon EOS Rebel T6 montada em um tripé e equipada com uma lente EFS 18-55mm (Figura 14).

Figura 14 – Equipamentos necessários à calibração

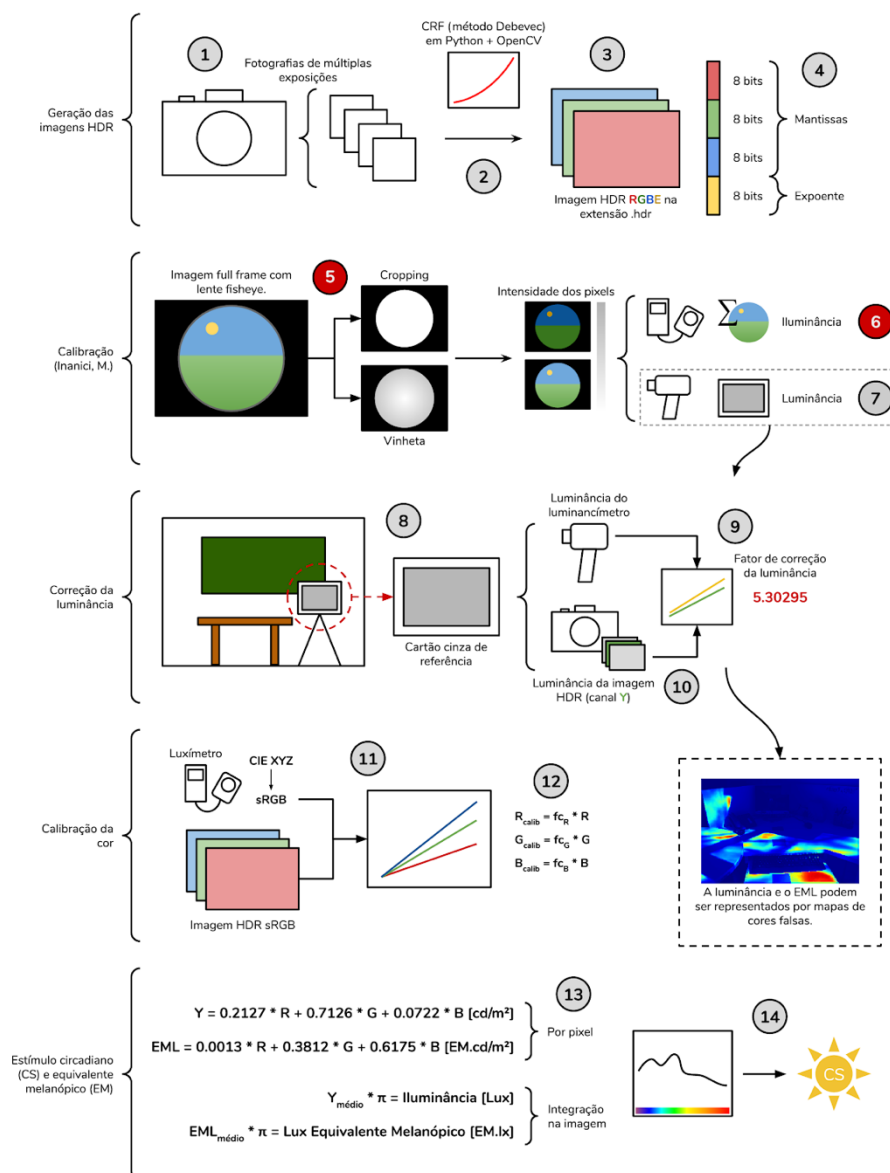


Fonte: Adaptado de Jung & Inanici, (2018).

Dois espaços acadêmicos, uma sala de aula e um escritório para atendimento de acadêmicos, nas dependências do Centro de Artes da Universidade do Estado de Santa Catarina, em Florianópolis, foram utilizados para o processo de calibração. As imagens foram registradas durante dois dias, das 8h às 20h, em 7 sequências de registros diários a cada 2 horas, totalizando de 49 imagens HDR geradas no mês de agosto de 2019. Para cada sequência foram configuradas 4 condições de iluminação, através do controle das luminárias de teto e das cortinas. Ainda, foi instalado um cartão cinza neutro no centro da sala para a comparação da luminância medida pelo Luminancímetro ao longo do dia. Para variar os valores de exposição necessários para aplicação da técnica de fotografia HDR pode-se alterar tanto o tamanho da abertura do diafragma quanto a velocidade do obturador (tempo de exposição). No presente estudo foi mantido fixo o tamanho de abertura do diafragma e apenas a velocidade do obturador foi alterada, visto que essa é considerada uma medida mais confiável. Assim, foi utilizado um tamanho de abertura em  $f / 4.0$ , balanço de branco fixo e a variação da exposição no modo manual (2 a 1/4000 seg) e para cada cena, 10 ou mais sequências de exposições foram gravadas. Além disso, como a luz natural estava presente na maioria das cenas, as medições

físicas foram repetidas, antes e depois das fotografias de múltiplas exposições terem sido tiradas.

Figura 15 – Etapas de calibração



Fonte: A autora (2021)

Para o processamento das imagens, as sequências de imagens LDR foram transformadas em imagens HDR pelo método Debevec, usando uma função de resposta da câmera (CRF) gerada a partir da imagem HDR de 9 cenas obtidas previamente e não relacionada com as salas avaliadas. Essa operação foi realizada com funções da biblioteca OpenCV em Python (Item 1 e 2, Figura 15). Cada condição de iluminação produziu uma imagem HDR distinta (Item 3,

Figura 15). O formato RGBE, de 4 bytes por pixel, permite a representação de uma faixa dinâmica muito superior à usual (3 bytes por pixel). Desse modo, a imagem carrega valores de luminância mais fiéis à realidade e pode ser usada para estudos de iluminação (Item 4, Figura 15).

Inanici (2006), propõe o uso de câmeras full-frame e lentes fisheye, devido à sua projeção equivalente a dos aparelhos de medição. A imagem resultante precisa ser corrigida para eliminar a região vazia e a vinheta (Item 5, Figura 15). Para o presente projeto, devido aos custos envolvidos, utilizou-se uma câmera com sensor APS-C, ou seja, que não utiliza todo o espaço do sensor, conhecido por "*cropped camera*". Esse fator influenciou a escolha da lente, que também não pode seguir a recomendação dos autores, com uma lente olho de peixe. Imagina-se que com isso as imagens apresentam uma fidelidade menor às medidas da cena fotografada, o que não inviabiliza a pesquisa e aplicação, porém os resultados devem levar em consideração esse desvio esperado.

A correção de intensidade das imagens pode ser feita tanto com base na luminância quanto na iluminância. Ambas as grandezas são representadas por Y. Para corrigir a imagem com base na iluminância, é preciso que haja equivalência no ângulo de visão e na projeção da lente e dos aparelhos. A iluminância (lux) é obtida pela integração dos pixels ( $\text{cd/m}^2$ ) por toda a imagem hemisférica - essa operação é equivalente a multiplicar a média do canal Y da imagem por  $\pi$ . O resultado é comparado com o valor medido pelo luxímetro (item 6, Figura 15). O método de correção via luminância utilizou o cartão cinza, já mencionado, posicionado na cena fotografada, (Item 8, 9 e 10, Figura 15). A luminância no interior do cartão foi medida com um luminômetro no momento de cada fotografia (Item 8, Figura 15). Para que a luminância seja estudada, a imagem HDR deve ser convertida de RGB para XYZ, uma vez que essa grandeza é representada pelo canal Y do modelo XYZ (Item 9, Figura 15). A luminância medida pelo luminômetro foi comparada com a intensidade média dos pixels do canal Y dentro do cartão.

Dessa relação, determinou-se que os pixels da imagem HDR devem ser multiplicados por 5.30295 (valor de correção da intensidade estabelecidos por essa calibração) para que haja equivalência com a medida do luminômetro (Item 10, Figura 15). A cor é calibrada por meio da comparação entre os canais

da imagem HDR e os calculados a partir da medida do colorímetro (ou espectrômetro) (Item 11, Figura 15). A medida do colorímetro, dada no modelo XYZ, deve antes ser convertida para o modelo da imagem (sRGB). Assim como na calibração da intensidade, o valor considerado na comparação é a média de cada canal da imagem multiplicada por  $\pi$ . Os valores de cada canal são ajustados por um fator de correção correspondente (Item 12, Figura 15).

Por fim, o equivalente melanópico nada mais é do que a luminância calculada a partir de outra curva de sensibilidade espectral. Os coeficientes de R, G e B nas fórmulas de Y e EML são originados desta curva (Item 13). O estímulo circadiano (CS) é normalmente calculado a partir da distribuição de potência espectral, mas podem ser feitas aproximações. Foi utilizado o modelo computacional com quantidades fotométricas e colorimétrica de W Truong, (2020) (Item 14, Figura 15).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados da pesquisa após cada uma das etapas, desde a aplicação do questionário à análise do ambiente. As condições gerais de trabalho, avaliação da iluminação do ambiente de trabalho e padrão de sono do trabalhador noturno são apresentados juntamente com os dados de iluminação circadiana obtidos das fotos HDR do ambiente selecionado. Os resultados mostrados aqui demonstram os valores fotópicos e circadianos instantâneos, uma vez que são registrados no momento da captura fotográfica e medidas colorimétricas.

### 4.1 RESULTADO DAS CONDIÇÕES DE TRABALHO

O questionário para avaliar as condições de trabalho noturno foi aplicado entre os meses Outubro de 2020 e Março de 2021 através do envio de link para acesso online ao questionário após contato inicial por aplicativo de mensagem instantânea onde tanto a pesquisadora quanto a pesquisa foram apresentados.

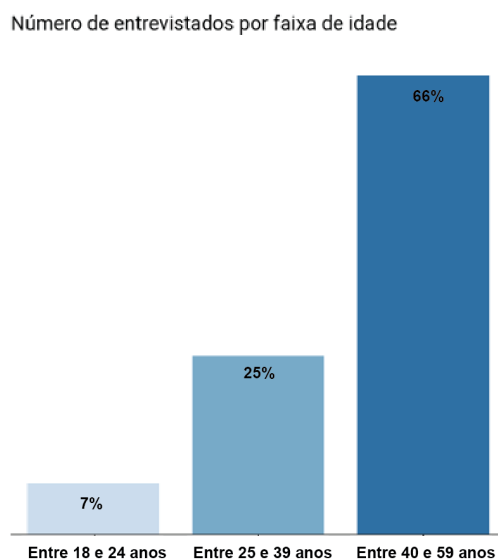
#### 4.1.1 Caracterização geral da amostra

O estudo foi realizado com uma amostra de 27 trabalhadores noturnos que atuam nas regiões Sul, Sudeste e Centro-oeste. Da região sul, 21 atuam na cidade de Florianópolis, um em Brusque e o outro em Palhoça. Da região sudeste houve dois registros da cidade de São Paulo e o outro de Sorocaba. Ainda, da região Centro-oeste o participante atua na cidade de Goiânia. A amostra contou com 19 participantes sexo masculino (70%)<sup>4</sup> e 8 (30%) do sexo feminino. Quanto à escolaridade máxima, 22% dos indivíduos afirmaram ter pós graduação completa, 37% ensino superior completo, 14% superior incompleto, 22% ensino médio completo e 3% apenas o ensino fundamental completo. Quanto à idade, conforme Figura 16 mostra, mais da metade (66%) dos entrevistados afirmaram ter entre 40 e 59 anos. A idade mínima foi de 19 anos e a máxima 57 anos.

---

<sup>4</sup> Porcentagem são aproximadas para apresentarem números inteiros.

Figura 16 – Número de entrevistados por faixa de idade



Fonte: A autora (2021)

Quanto à profissão, houve 6 áreas predominantes como evidenciado na Figura 17. Dentre os que atuavam na segurança pública (33%) estavam profissões como agente penitenciário, bombeiro militar, militar ou guarda municipal. Identificado como atuante na segurança privada (18%), um vigilante patrimonial. Já na área da saúde, (18%) foram identificados como farmacêutico, técnico em enfermagem e radiologia. Além disso, na área de manutenção (7%) como supervisor técnico e eletrotécnico e no ramo de atendimento (7%) em restaurante e portaria predial. Dentre os agrupados como outros (14%), havia um servidor público estadual, um motorista de aplicativo, um auxiliar criminalístico e um auxiliar de laboratório. Já em relação ao tipo de contratação, mais da metade, 55%, atuam na modalidade funcionário público ou cargo em comissão, 37% com carteira assinada desempenhando atividades por 30h ou semanais. Os demais desempenham atividade com carteira assinada por menos de 30h semanais (3%), ou ainda como pessoa jurídica (3%). Das tarefas recorrentes da realidade de trabalho, 17 participantes afirmaram desempenhar monitoramento de atividades, 12 atendimento ao cliente, 4 organizações de estoque, 6 dirigir veículo e 8 apresentaram atividades específicas de sua profissão. Para esse item, a múltipla escolha foi permitida.



Figura 17 – Principais categorias de profissão



Fonte: A autora (2021)

#### 4.1.2 Caracterização do trabalho noturno

A periodicidade entre trabalho e descanso que mais se repetiu foi a de 12 horas trabalhadas por 36 horas de descanso, em que 11 participantes atuavam. Em seguida, 6 participantes apresentaram o padrão de 24 horas trabalhadas por 72 de descanso. Os demais apresentavam turnos variados, sendo que dois em turnos de 6 horas de trabalho por 18 de descanso. Demais regimes de trabalho observados foram: 6h/16h, 24h/48h, 8h/12h, 21h45min/50h15min. Houve um relato de turno fixo de 12 horas rotativos entre 2 e 3 dias da seguinte forma: 2 dias trabalhados, 2 de descanso, seguido por 3 de trabalho, 2 de descanso, e por fim 2 de trabalho e 3 de descanso repetindo-se continuamente. Outro caso apresentou turno fixo de 7:20min e outro ainda se destacou pelo curto período de descanso onde o trabalhador atua de 8h a 11h diariamente entre 5 a 6 dias na semana. A jornada de trabalho de todos os participantes dura em média 15 horas e 3 minutos. O horário de início de 44% ou 12 participantes dava-se no período da manhã, 22% ou 6 no da tarde e 33% no período da noite. Apenas um participante afirmou atuar em dois empregos. Quanto ao nível de flexibilidade da jornada, 51% afirmaram ser um pouco flexível, enquanto 22% indicaram como nada flexível e 25% muito flexível.

O meio de transporte utilizado para deslocamento até o trabalho mais frequente foi o carro (77%) seguido por moto (11%) e bicicleta (3,7%), a pé (3,7%) e outros (3,7%) onde um serviço de transporte particular por aplicativo foi

utilizado. O tempo de deslocamento para ida ao trabalho foi de 27 minutos enquanto o de volta, 29 minutos.

Quanto ao tempo do trabalhador se dedicando a atividades neste período, 85% afirmaram atuar há mais de 2 anos, 7% entre 1 e 2 anos, 3% entre 6 meses e um ano e 3% entre 1 e 6 meses. Quanto a facilidade em adaptação para este turno quase 60% acredita ter sido fácil, 37% moderada, apresentando algumas dificuldades, e 3% consideraram muito difícil. Entre os principais problemas relacionados ao desempenho da atividade nesse período, 15 participantes relacionam ao ajuste do sono, 2 a adaptação de rotina, além de outros benefícios e queixas terem sido relatados. Dificuldades técnicas pela falta de acesso a equipe de trabalho diurna, materiais ou mesmo de outras áreas estratégicas "Iluminação e apoio de estoque", "Apoio das demais áreas" foram questões abordadas.

O social jetlag também foi constatado por um participante "Falta de socialização com as pessoas que realizam atividades no período diurno". Porém, a dificuldade mais comum foi associada a adaptação do organismo ao novo ciclo de atividades, como relatam: "Dificuldade de concentração", "Adaptação do estado fisiológico do organismo", "Cansaço", "Resistência ao sono", "Manter concentração", "Inconstância do sono", "Falta de concentração, cansaço físico e mental, aumento do apetite. Indisposição para realizar atividades físicas" e ainda "Cansaço, falta de concentração e risco de morte". Dois participantes ressaltaram a importância do descanso diurno previamente ao trabalho e também após. Como aspecto positivo do turno noturno em ambiente hospitalar destacou-se a diminuição do ritmo das atividades, dedicadas ao descanso dos pacientes e sem visitas externas.

Em momentos como pausas ou com poucas atividades, 70% afirmaram descansar no ambiente de trabalho, porém um pouco mais da metade afirmaram ter acesso a um ambiente reservado para descanso. Em caso de sinais de sonolência, a estratégia mais adotada foi movimentar-se ou buscar alguma atividade que envolvesse o deslocamento, seguido por beber café, beber água e ainda descansar. Dentre algumas estratégias adotadas, destacam-se "lavar o rosto" que foi citado por três pessoas "alongamento" ou "esticar o corpo" e ainda "realizar atividades em pé" se relacionava a movimentação do corpo, "beber

chá", "chá de guaraná", "comer algo" e "beber água gelada" envolvia a ingestão de alguma bebida ou alimento.

Quanto ao tempo exposto à iluminação natural durante os dias de trabalho 51% afirmaram ficar até 30 minutos e 25% mais de 4 horas. Já entre os dias não trabalhados, 48% afirmaram passar mais de 4h sob a luz natural, 22% entre 2 e 4 horas, 18% entre 1 e 2 horas e 11% entre 30 minutos e 1 hora.

#### **4.1.3 Descrição e avaliação da iluminação**

A amostra foi dividida para a descrição e avaliação da iluminação do ambiente entre aqueles que realizavam trabalho ao ar livre frequentemente ou muito frequentemente e aqueles que algumas vezes, quase nunca ou nunca realizam trabalho ao ar livre. Isso porque os itens abordados diziam respeito à avaliação do ambiente construído fechado, provido por iluminação artificial com ou sem presença da natural. Assim, 8 participantes não se enquadraram nessa parte do questionário e foram redirecionados para a seção acerca do ciclo de sono. Quase 95% afirmaram realizar atividades em um espaço fixo. Em 90% dos espaços há a presença de mesa, 85% cadeira e computador, 75% contam com múltiplas telas ou monitores, 60% papéis e materiais impressos, 30% balcão de atendimento e 15% objetos variados como mesa de exame, equipamento eletrônico e utensílios cirúrgicos. Mais de 8h no espaço de trabalho principal foi o que 57% afirmaram passar, seguido por 31% que passam entre 4 e 8 horas e 10% que passam entre 2 e 4h.

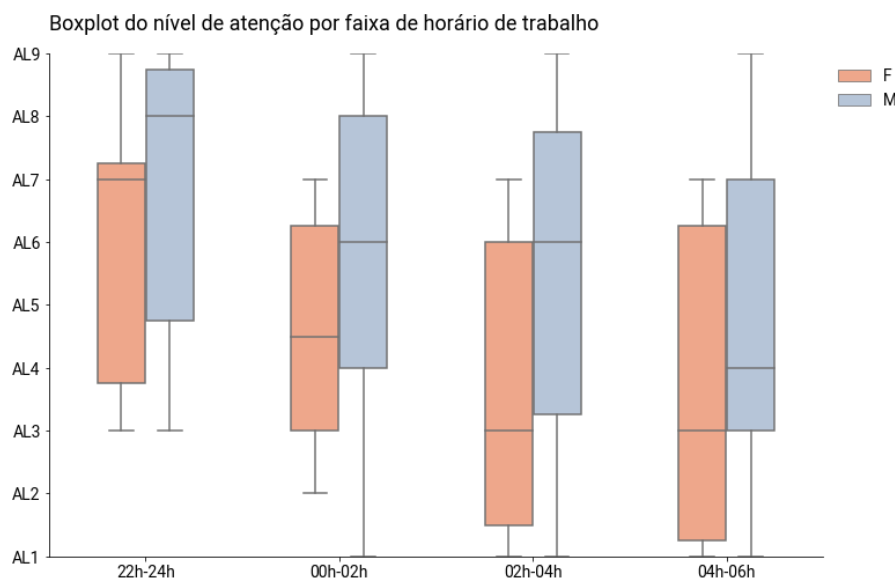
Sobre a avaliação da iluminação no espaço de trabalho principal, 55% avaliaram que a iluminação ao redor desse espaço poderia ser definida como clara, 11% muito claro, 11% neutro e 16% avaliaram como escuro. Apenas 22% relataram sentir desconforto sobre falta de uniformidade da iluminação, 27% desconforto sobre reflexos da iluminação no espaço de trabalho, e a mesma quantidade sobre desconforto causado pela iluminação em telas ou monitores. A presença da iluminação focalizada foi relatada por 36% dos participantes e apenas 14% afirmaram quase nunca usar. 84% afirmaram usar sempre, quase sempre ou algumas vezes. Já em relação a iluminação de teto, apenas 5% afirmaram usar quase nunca e 5% às vezes. Os demais trabalhadores usam sempre e quase sempre. Sobre presença de janelas, 15%

afirmaram que o espaço não continha janela, 65% tinham a vista de construção e céu através da janela, 10% árvores, 5% apenas céu e 5% nada. Para filtro da iluminação da janela 46% nunca utilizam, 20% quase nunca, 13% algumas vezes e 19% entre quase sempre e sempre. 58% estão satisfeitos ou muito satisfeitos com as janelas, 26% estão neutros, 12% entre muito insatisfeitos e insatisfeitos. O desconforto sobre presença de sombras no espaço de trabalho principal foi percebido por 36%, contra 63% que não sentiram desconforto. A iluminação no ambiente como um todo foi avaliada como clara por 68% dos participantes, seguido por 21% que acreditam ser escuro e 5% que classificam como neutro. O ambiente de trabalho transmite uma sensação de atmosfera calma para 42% dos participantes, seguido por 31% que avaliam como receptivo e 15% como animado. Avaliaram como sombrio 5% e como fechado também 5%. 62% estão satisfeitos ou muito satisfeitos com o ambiente de trabalho como um todo, seguido por 21% que são neutros e 15% estão insatisfeitos.

#### **4.1.4 Estado de alerta e ciclo circadiano do sono**

Através do formato estabelecido na Escala de Sonolência Karolinska, os níveis de atenção conforme o avanço do período noturno de trabalho foram relatados. A Figura 18 apresenta uma análise dos dados obtidos em formato de *boxplot* e estratificados por sexo. AL1 indica "Extremamente sonolento, lutando contra o sono" e AL9 "Extremamente alerta". Observa-se tanto entre homens quanto mulheres um decréscimo no nível de atenção ao longo do avanço da madrugada, sendo o nível mais baixo relatado de atenção entre 04h da 06 da manhã. Porém, apesar dessa tendência, houve uma variação significativa da percepção do estado de alerta entre os participantes, principalmente entre homens, sendo que houve caso de relatos de não haver diferença no estado de alerta ao longo do avanço das horas.

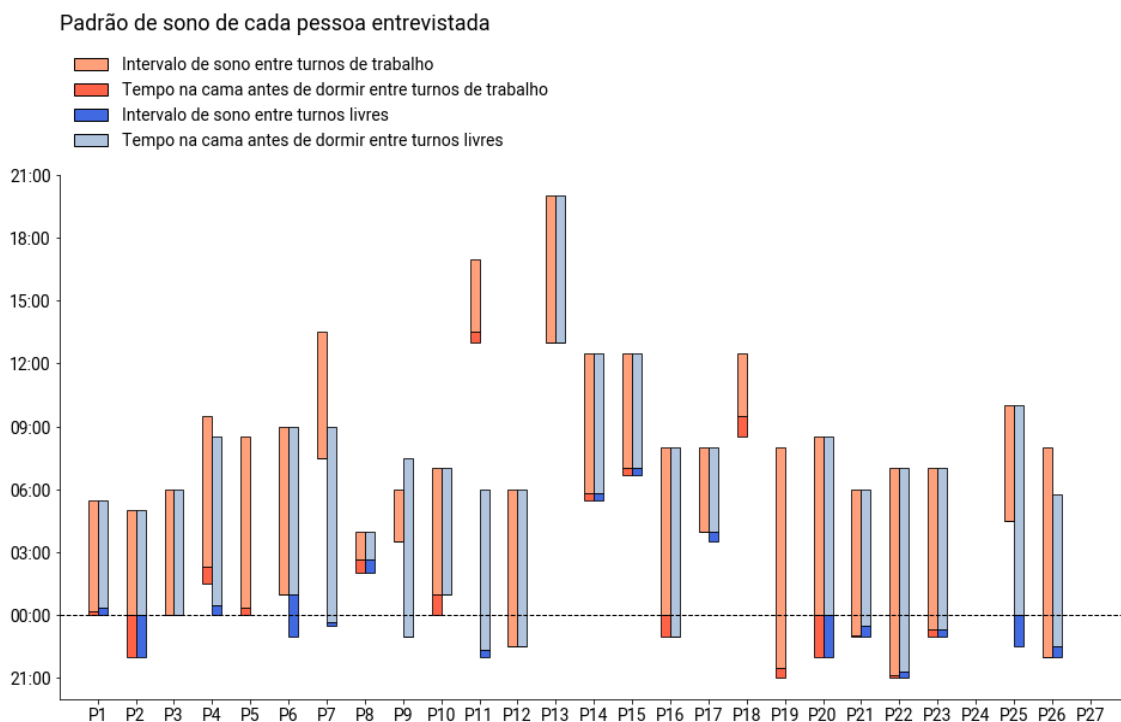
Figura 18 – Nível do estado de alerta por horário de trabalho



Fonte: A autora (2021)

A ferramenta "Questionário de Cronotipo de Munique (MCTQ)" foi aplicada para a amostra em duas categorias: entre turnos de trabalho e entre turnos livres. Foi solicitada a descrição dos horários de sono habituais dos participantes, desconsiderando eventuais alterações. O objetivo da inclusão dessa ferramenta no questionário é verificar o nível de sincronização ou disrupção no ciclo circadiano do sono da amostra e verificar a existência de algum outro padrão de sono, diferente do frequentemente visto para pessoas que realizam atividades diurnas. Na Figura 19 pode-se verificar a compilação dos intervalos de sono entre turnos de trabalho e livres. Percebe-se uma similaridade entre horários de sono relatados entre os participantes, sendo que uma faixa significativa inicia o período de sono antes da meia-noite. Quanto ao turno de trabalho ou livre, os padrões também se mostram bastante similares. Uma diferença entre os turnos foi identificada apenas nos relatos dos participantes 7 (P7), 11 (P11) e 25 (P25). Também foi constatado que a duração do sono relatada é de, em média, 6 horas e 23 minutos, enquanto entre turnos livres, a média sobe para 7 horas.

Figura 19 – Padrão de sono individualizado



Fonte: A autora (2021)

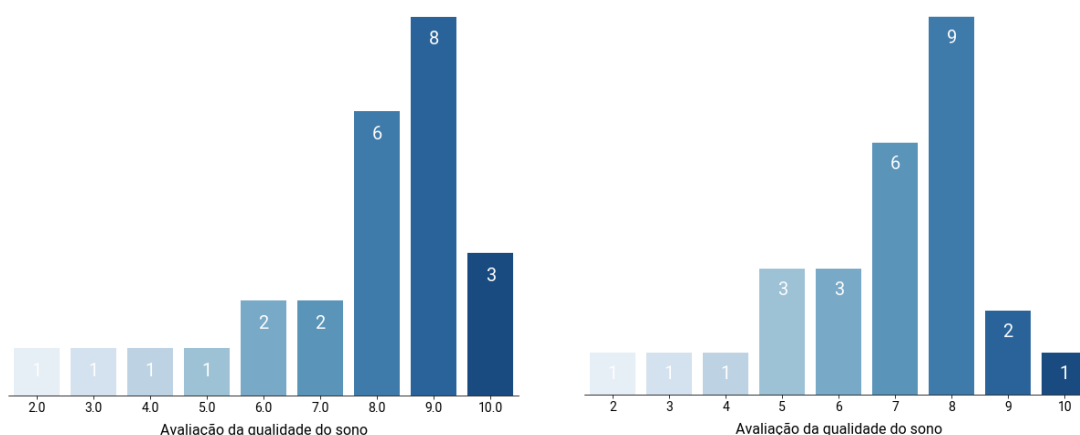
Além disso, a qualidade do sono relatada entre os dois turnos também varia, como pode ser acompanhado na Figura 20 – Avaliação da qualidade do sono. A escala de avaliação da qualidade de sono não fazia parte do instrumento original e foi incluída pelos autores no padrão Likert em que 10 indica um sono completamente restaurador e 0, nada restaurador. Entre dois turnos de trabalho, mais pessoas avaliaram a qualidade do sono com a pontuação 6, 7 e 8 enquanto em turnos livres, esse número subiu para 8, 9 e 10. Isso indica que entre turnos livres a qualidade do sono quanto ao nível de restauração é maior do que entre turnos de trabalho. Ainda, seguindo o instrumento original do MCTQ, foi questionado o costume em realizar pausas para descanso ou sonecas ao longo do dia, sendo que 56% responderam que sim ou que às vezes o fazem. A média de tempo de descanso dos que responderam positivamente é de até 10 minutos para 11%, entre 10 e 20 min para 17%, entre 20 e 40 minutos para 41%, entre

40 minutos e 1 hora para 17% e o restante afirmou descansar por mais de 1 hora e 30 minutos. Foi também questionada a existência de alguma razão que impeça a livre escolha dos horários na rotina. 70% afirmou não haver e 30% afirmou que "passatempos", "estudos", "necessidade de serviço", "aguardar atividades do cônjuge" e "trabalho" os impedem de escolher livremente seus horários.

Figura 20 – Avaliação da qualidade do sono

Mais da metade dos entrevistados avalia seu sono com nota 8 ou 9 entre dois turnos livres

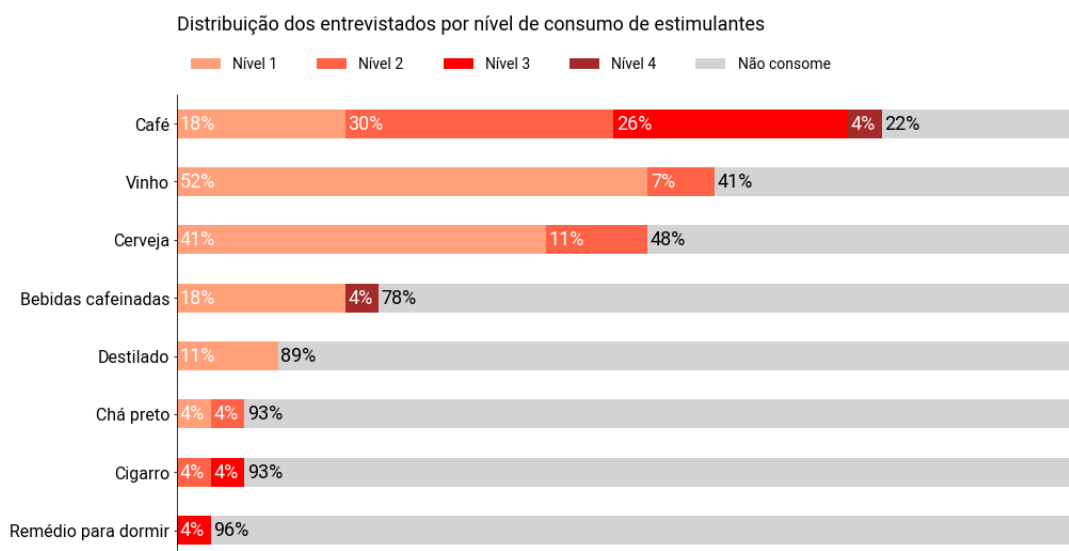
Mais da metade dos entrevistados avalia seu sono com nota 7 ou 8 entre dois turnos de trabalho



Fonte: A autora (2021)

Por fim, também foi solicitado indicar o consumo de bebidas ou substâncias estimulantes, como mostra Figura 21. A bebida café se destacou como o mais consumido, em que 4% afirmou beber entre 5 e 15 xícaras por dia, 26% entre 1 e 5 por dia, 30% entre 5 e 15 por semana, e 18% entre 1 e 5 por semana. O café também foi uma das estratégias mais adotadas em caso de sinais de sonolência na caracterização do trabalho noturno e assim assume-se que seja uma bebida também consumida durante o trabalho. Depois do café, os estimulantes mais consumidos foram o vinho e a cerveja que mas, apesar disso, com moderação. Foram também incluídos no segmento de bebidas cafeinadas, as ricas em açúcares como refrigerantes e energéticos.

Figura 21 – Nível de consumo de estimulantes



Fonte: A autora (2021)

#### 4.1.5 Estado de saúde física e mental

Também foram abordados itens relativos ao estado de saúde física e mental dos indivíduos, que serviram de paralelo para investigação de algumas comorbidades comuns relacionadas a um alto grau de disrupção circadiana do sono. Quanto ao índice de massa corpórea (IMC), como pode ser visto na Apêndice A, 40% dos trabalhadores estavam com o peso adequado, considerado normal, enquanto 48% apresentavam sobrepeso e em 11% foi constatado nível 1 de obesidade. Quanto aos aspectos da saúde visual, 66% possuem algum acometimento, sendo miopia o mais frequente, seguido por astigmatismo e por fim, hipermetropia. A mesma porcentagem (66%) também afirma utilizar óculos frequentemente.

Mais da metade (55%) ou 15 participantes afirmaram não sofrer o acometimento de nenhuma doença (Apêndice A). Dos que apresentaram doenças, a mais comum foi ansiedade (33%), seguido por hipertensão (14%), câncer (7%), outros tipos como hiperglicemia e enxaqueca (7%), depressão (3%) e diabetes (3%). Também foi questionado a presença de dores ou desconforto ao caminhar, tomar banho ou se vestir e ainda ao realizar atividades diárias no último mês como mostra o gráfico do Apêndice B. 42% responderam que nunca sentiram dores ao caminhar no último mês, enquanto 46% quase nunca e 11% sentia dor algumas vezes. Já em relação a presença de dor ao se vestir ou tomar



banho, 96% nunca sentiram e 4% quase nunca. Ao realizar atividades diárias 42% relatou que nunca sentiu dor, 26% quase nunca, 23% algumas vezes, 3% frequentemente e 3% muito frequentemente.

Quanto aos itens envolvendo a saúde mental, gerados a partir do questionário geral de saúde mental de Goldberg & Hillier (1979), como pode ser acompanhado no Apêndice B, a maior parte foi respondida de acordo com o que se considera um estado adequado de saúde mental. Apenas três itens tiveram uma variação significativa quanto a natureza das respostas. A primeira foi "Sensação de estar sob tensão" onde 15 participantes responderam "Algumas vezes", ou seja, mais da metade da amostra. Outro item foi a "sensação de não conseguir superar as dificuldades" em que 9 responderam "quase nunca" e 8 "nunca", mas quase 30% indicou como "às vezes". A mesma porcentagem também respondeu "às vezes" para o item que dizia "Perda de confiança em si mesmo".

#### **4.1.6 Análise geral qualitativa**

Quanto à caracterização do trabalho noturno, foram observadas escalas de trabalho bastante variáveis. Tanto com relação ao intervalo de trabalho e descanso quanto à rotatividade dos turnos. Apenas um caso apresentou escalas que variam entre as semanas de maneira a acomodar as mudanças fisiológicas enfrentadas pelo organismo. Também não foram explorados aspectos envolvendo o trabalho em escalas flexíveis ou de plantões visto que eles dependem de alguma demanda ou acordo prévio. Ao que parece, sem analisar casos específicos de profissionais e realidades de trabalho, propor alguma recomendação que atenda a demandas tão variáveis é uma tarefa que merece uma maior investigação.

Quanto à aplicação do instrumento (MCTQ) tanto pelo acompanhamento do preenchimento e dúvidas quanto pela análise dos resultados, ela não se mostrou uma ferramenta adequada para a complexidade envolvida em analisar ciclos de sono relatados e tão variáveis. É possível que ao traduzir, aplicar ou mesmo ao esclarecer eventuais dúvidas, a ferramenta não tenha sido bem aplicada. Por outro lado, pode ser que ela tenha que ser adaptada quanto aos profissionais com turnos fixos e os rotativos. De qualquer maneira, a confirmação

das informações através de estudos de campo que possibilitem o registro de atividade e repouso de maneira individual, através por exemplo de um dispositivo vestível como Actiwatch se mostra imprescindível. Ainda, estudar esse público sem levar em conta marcadores endógenos como o ciclo da melatonina, presença de cortisol e ainda, associar a medidas que avaliem o estado de alerta como teste Go/No go parece ser uma abordagem limitada visto que mecanismos por trás de tais efeitos ainda não são suficientemente claros.

Quanto aos resultados envolvendo o estado de alerta com o avanço das horas de trabalho, eles podem ter relação com o cansaço acumulado principalmente para aqueles que iniciam atividades na manhã do dia anterior ou até mesmo durante a tarde. Também pode haver algum grau de influência causado pelo perfil da amostra que mostrou desempenhar atividades nesse período há algum tempo e quanto à natureza das atividades desempenhadas. Também pode haver relação entre o estado de alerta e a temperatura mínima corpórea que acontece durante o sono, geralmente ao redor de 1 ou 2 horas antes do despertar natural. Esse último aspecto pode ser considerado principalmente se avaliarmos que boa parte dos participantes apresenta um padrão de ciclo de sono diurno na maioria dos casos e mesmo nos que há variação, entre turnos livres ele tende a ser ajustado para um padrão similar ao diurno.

## 4.2 RESULTADO DA ANÁLISE DE LUMINÂNCIA DO AMBIENTE DE TRABALHO

### 4.2.1 Ambiente analisado

Através da técnica de fotografia HDR fez-se um paralelo das condições do ambiente e estímulo disponível com os principais desafios apresentados pelos trabalhadores noturnos através da análise das condições de trabalho. Essa etapa foi realizada em três estágios principais: registro de condições do ambiente, captura das imagens, processamento e análise dos dados.

Foram analisados um ambiente de trabalho e um de descanso na cidade de Florianópolis, Santa Catarina. Os dados foram coletados no dia 02 de fevereiro de 2021 entre 21:30 e 22:00. A principal atividade desempenhada pelos

trabalhadores é o monitoramento da localização de pessoas realizado por meio de um computador, telefone de mesa e telefone móvel ao longo da jornada de trabalho. Devido à natureza da atividade realizada, o uso desse ambiente é ininterrupto, realizado 24h, sendo, portanto, um ambiente destinado aos trabalhadores em regime diurno e noturno.

No ambiente de trabalho, também discriminado como sala de monitoramento, encontram-se seis estações de trabalho individuais e um espaço destinado ao uso coletivo com uma mesa e telas de televisores. O ambiente não dispõe de nenhuma janela, sendo iluminado por 9 luminárias de embutir redondas distribuídas ao longo do espaço. Não foram encontradas fontes de iluminação de uso e controle individual nos espaços de trabalho se não pelos objetos iluminantes: monitores e telas de televisão. O ambiente conta com sete televisores com cerca de 40 polegadas e cada espaço de trabalho individual normalmente dispõe de dois monitores com cerca de 20 polegadas, excetuando um espaço que conta apenas com um aparelho notebook, totalizando 11 telas de monitor. Além disso, cada espaço individual de trabalho dispõe de teclado, mouse, cpu, telefone fixo e cadeira. No ambiente de descanso também não havia acesso à luz natural e na cena estudada encontra-se 3 luminárias de embutir redondas. Para o descanso há 7 camas, além de um armário de uso individual.

#### **4.2.2 Geração e processamentos das imagens HDR**

Para o processo de captura de imagens foi utilizada uma câmera digital Canon EOS Rebel T6 montada em um tripé e equipada com uma lente EFS 18-55mm. Além disso, foram realizadas medições de iluminância com o Luxímetro digital MLM-1020 nas posições: frente da lente, superior, direita e esquerda. Para variar os valores de exposição foram alteradas as velocidades do obturador, mantendo o tamanho de abertura do diafragma fixo. Assim, foi utilizado um tamanho de abertura em  $f / 4.5$ , balanço de branco fixo em luz do dia, ISO 100, foco manual e a variação da exposição no modo manual (30 a 1/3200 seg) e para cada cena, uma sequência de exposições de 11 imagens foram gravadas.

Para cada imagem HDR foram calculados a luminância média da cena, além da temperatura de cor correlata e o equivalente melanópico.

### 4.2.3 Avaliação das cenas

As cenas foram avaliadas individualmente para cada uma das quatro estações de trabalho fotografadas. Apesar de fazerem parte do mesmo ambiente, a iluminação vertical (EV) da cena ou diretamente em frente ao olho, a iluminação horizontal no plano de trabalho, características do ambiente e fundo de tela dos monitores foram diferentes e influenciaram os resultados. As características como quantidade de monitores, cor principal de fundo e cor da parede entre os espaços foram registradas no quadro a seguir para cada espaço de trabalho:

Quadro 4 – Característica das cenas

<b>Cena:</b>	<b>Monitores:</b>	<b>Cor principal no monitor:</b>	<b>Cor da parede:</b>
Espaço de trabalho 1	2	Escuro	Preto
Espaço de trabalho 2	2	Claro	Preto
Espaço de trabalho 3	2	Claro	Branco
Espaço de trabalho 4	1	Claro	Escuro

Fonte: A autora (2021)

Juntamente com as capturas de imagens, medidas físicas com um luxímetro foram registradas e podem ser visualizadas na tabela a seguir junto com a luminância média da cena, temperatura de cor correlata e equivalente melanópico.

Tabela 2 – Valores processados e medidos das cenas

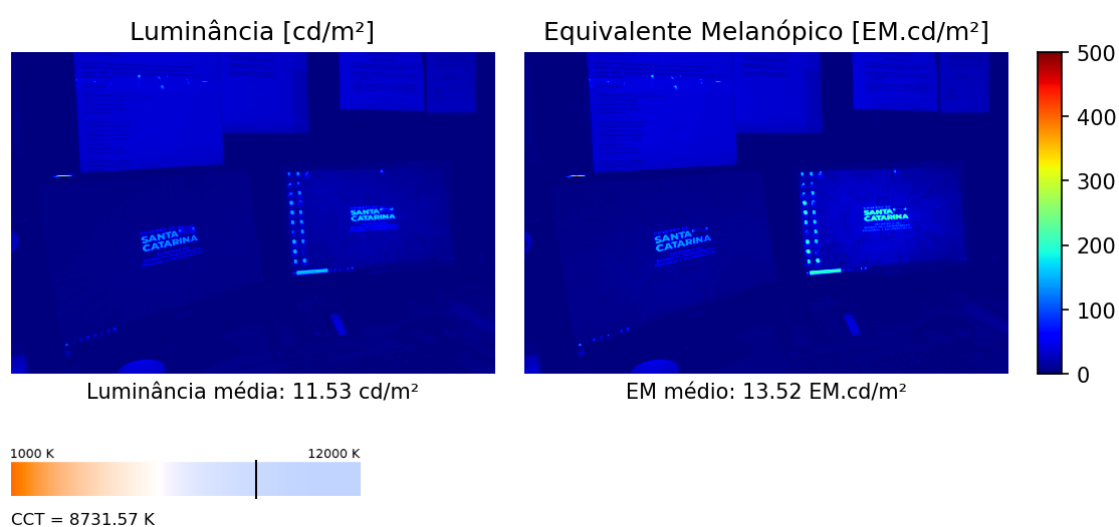
<b>Cena:</b>	<b>Luminância média:</b>	<b>CCT:</b>	<b>Equivalente melanópico:</b>	<b>Iluminância medida:</b>
Espaço de trabalho 1	11,53cd/m <sup>2</sup>	8731,57K	13,52EM.cd/m <sup>2</sup>	EV.: 141lux EH.: 302lux
Espaço de trabalho 2	37,01cd/m <sup>2</sup>	7323,16K	39,28EM.cd/m <sup>2</sup>	EV.: 31,4lux EH.: 193,5lux
Espaço de trabalho 3	41,52cd/m <sup>2</sup>	7634,79K	45,12EM.cd/m <sup>2</sup>	EV: 45,1lux EH: 115,5lux

Espaço de trabalho 4	16,98cd/m <sup>2</sup>	7835,34K	18,70EM.cd/m <sup>2</sup>	EV: 29,3lux EH: 130,5lux
Dormitório	17,71cd/m <sup>2</sup>	5654,85K	15,31EM.cd/m <sup>2</sup>	EV: 93,9lux EH: 102,3lux

Fonte: A autora (2021)

O espaço de trabalho I (Figura 22) apresentou o menor valor de luminância média da cena e consequentemente de equivalente melanópico, o que pode se relacionar com o fundo de tela escuro dos monitores e parede com tonalidade escura também. Esses valores contrastam com a iluminância tanto vertical (EV) quanto horizontal (EH), que foi a maior registrada dos 4 espaços. Tanto o ângulo do luxímetro apesar de ter sido utilizado em frente a lente da câmera, pode ter alterado durante a medição como o fato de que a foto registra uma amplitude menor do que o luxímetro pela área e formato do sensor. Próximo a este espaço de trabalho havia uma luminária de embutir redonda, o que pode explicar os valores altos de encontrados para a iluminância. Pode-se observar com isso, que apesar da iluminação de teto estar próxima do plano de trabalho, as características do ambiente influenciaram de maneira que a luminância percebida foi a menor observada.

Figura 22 – Espaço de trabalho I

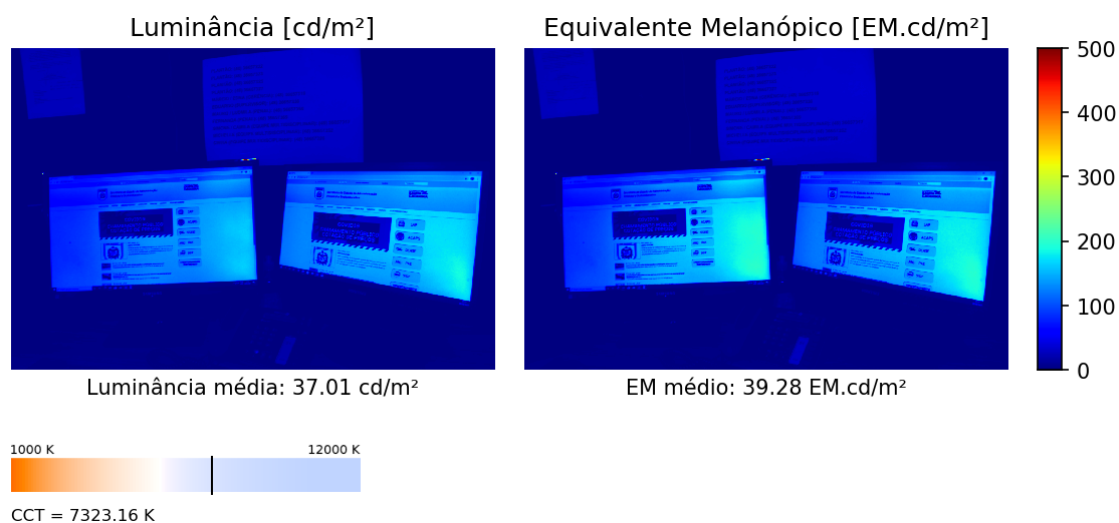


Fonte: A autora (2021)

O espaço de trabalho II (Figura 23) foi configurado de maneira que as telas apresentavam um fundo claro e, assim como o espaço de trabalho I as paredes tinham tonalidade escura, apesar de terem alguns papéis plastificados que refletiam a iluminação. A temperatura de cor da cena também variou em relação ao espaço de trabalho I, o que pode ser explicado pela luminosidade das telas de monitor. Já o espaço de trabalho III (Figura 24) contou com dois monitores com o fundo claro e parede também com tonalidade clara, o que se relaciona com os maiores valores de luminância média de cena e equivalente melanópico. Uma característica interessante que pode ser observada nas fotos é que o ângulo das telas de monitores também influencia a iluminação que chega no olho, de maneira que a que se encontra mais frontalmente ao observador é responsável por emitir uma maior luminância.

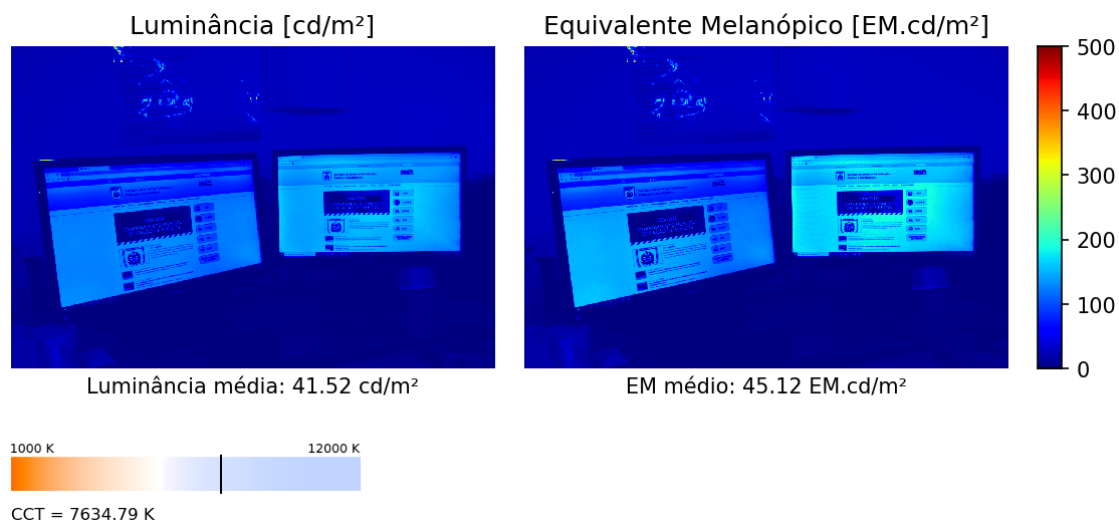
O espaço de trabalho IV (Figura 25), diferente dos demais, estava equipado com apenas 1 tela de monitor que foi registrada com um fundo escuro. Apesar da menor iluminação emitida pela tela, a parede da cena era clara, o que foi responsável por refletir a iluminação do ambiente em uma intensidade maior. Por fim, a imagem registrada do ambiente de descanso (Figura 26), por maior que tivesse sido o ângulo de visão da cena, não apresentou valores de luminância média e equivalente melanópico superiores aos demais espaços de trabalho. Para o propósito a que se destina o ambiente, os valores estão adequados.

Figura 23 - Espaço de trabalho II



Fonte: A autora (2021)

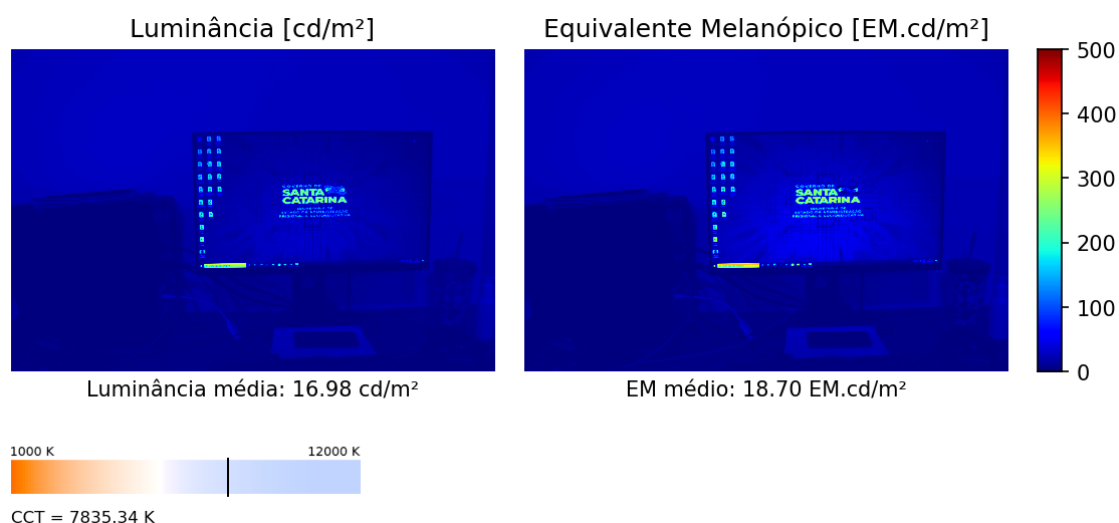
Figura 24 - Espaço de trabalho III



Fonte: A autora (2021)

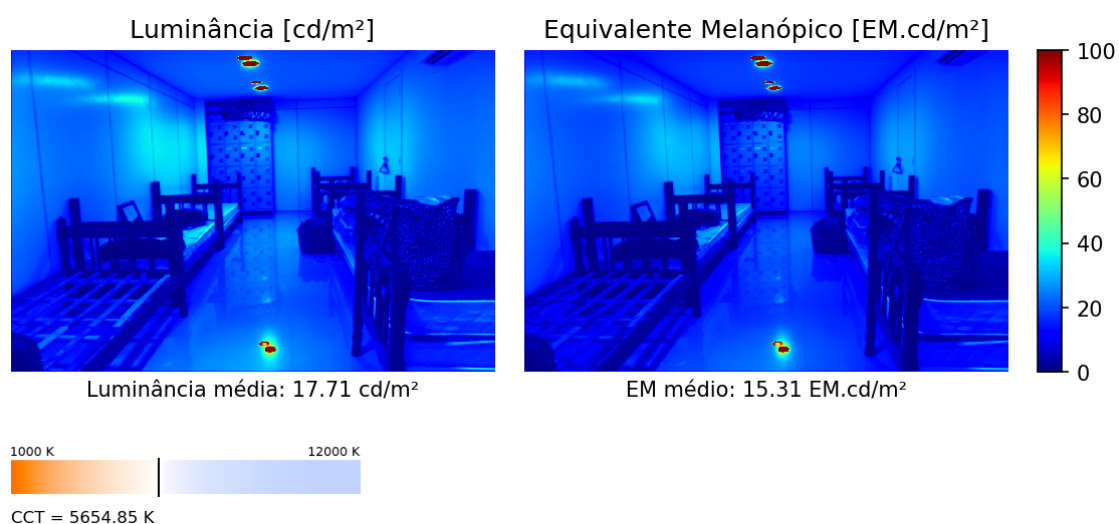
Apesar das diferentes características dos espaços de trabalho e mesmo comparando os ambientes, os valores de equivalente melanópico ficaram muito distantes dos 200 EM cd/m² necessários para impactar o sistema biológico não visual, como determinado por WELL, 2020. Não está evidente ainda se não influenciar o sistema biológico não visual ou mesmo se utilizar do efeito agudo do estado de alerta é a melhor alternativa para o caso dos trabalhadores noturnos. Porém, é sabido que um controle individual de iluminação através de uma luminária focal, por exemplo, poderia favorecer as atividades tanto para o sistema visual quanto para o não visual. Também é possível perceber como a influência vinda dos monitores pela proximidade com o olho, é significativa, ainda mais quando se trata de duas ou mais telas. Isso representa um desafio para as medições de iluminação para os efeitos não visuais, visto que são uma iluminação dinâmica que varia de acordo com o conteúdo exposto na tela. Para tal, a melhor alternativa seria medir a iluminação a nível ocular ao longo não só da jornada de trabalho como também fora da rotina fora do trabalho.

Figura 25 - Espaço de trabalho IV



Fonte: A autora (2021)

Figura 26 – Ambiente de descanso



Fonte: A autora (2021)

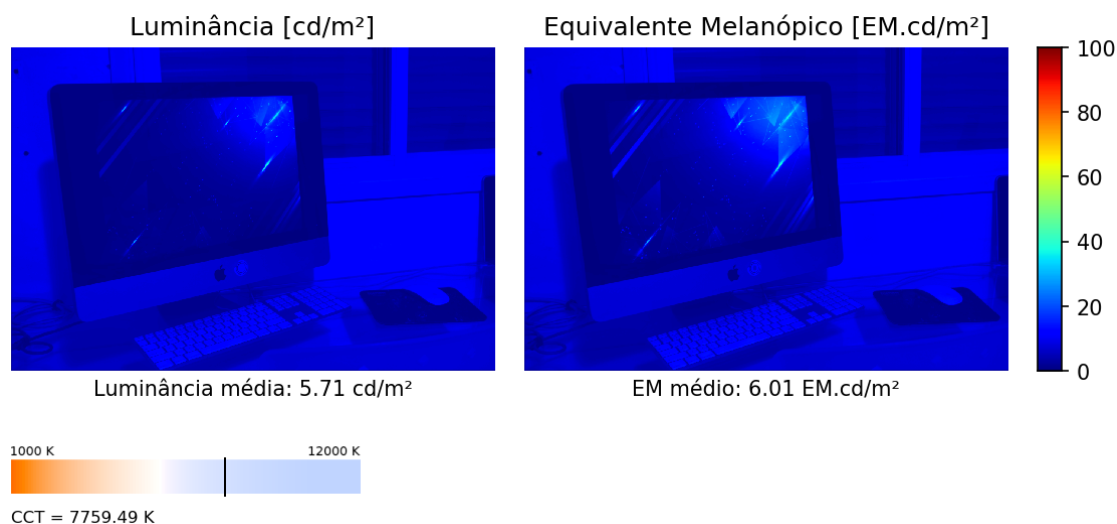
#### 4.2.4 Simulação em ambiente de escritório

Um ambiente com características semelhantes às estações de trabalho analisadas, foi configurado de maneira a obter-se algumas informações de comparação. Na Figura 27, pode-se observar um espaço de trabalho composto por um monitor e o fundo apresenta a combinação de uma porção da parede clara e parte da janela escura. Além disso, um plano de fundo configurado para o computador, de maneira a apresentar uma cena escura e o brilho da tela foi diminuído. Apesar de contar com a iluminação de teto, a luminância da cena foi



menor do que aquelas previamente observadas nas estações de trabalho. Na condição 2, uma nova tela de monitor foi adicionada e o brilho dos equipamentos foi aumentado (Figura 28). Pela tonalidade azul do fundo de tela, a temperatura de cor foi extrapolada, de maneira que chegou a quase 16000 K. Esse valor elevou o impacto também apresentado no equivalente melanópico, que ficou significativamente superior à luminância média da cena. Desta vez, os valores se aproximam daqueles observados nas estações de trabalhos, mas ainda sim estão relativamente baixos.

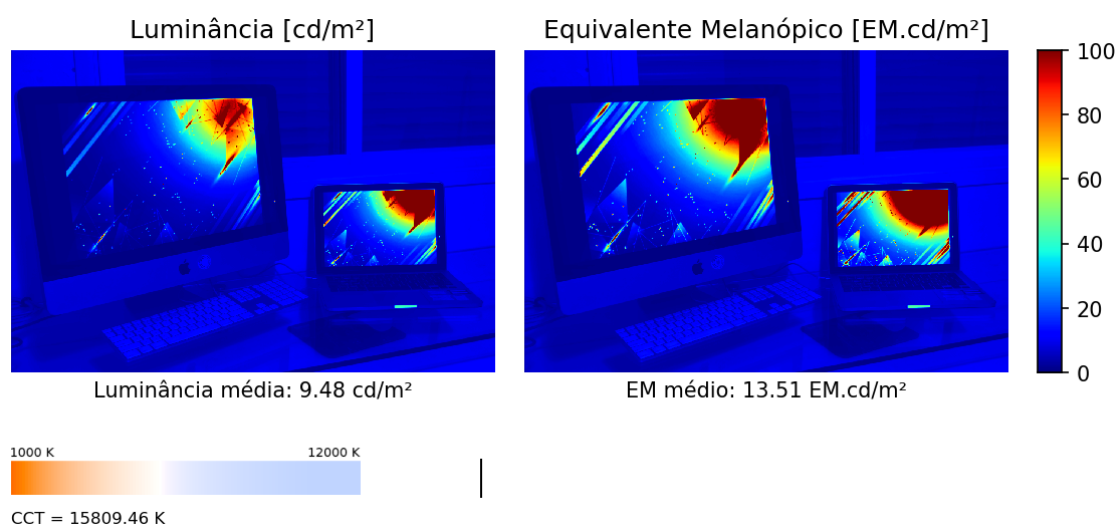
Figura 27 – Espaço de trabalho simulado 1



Fonte: A autora (2021)

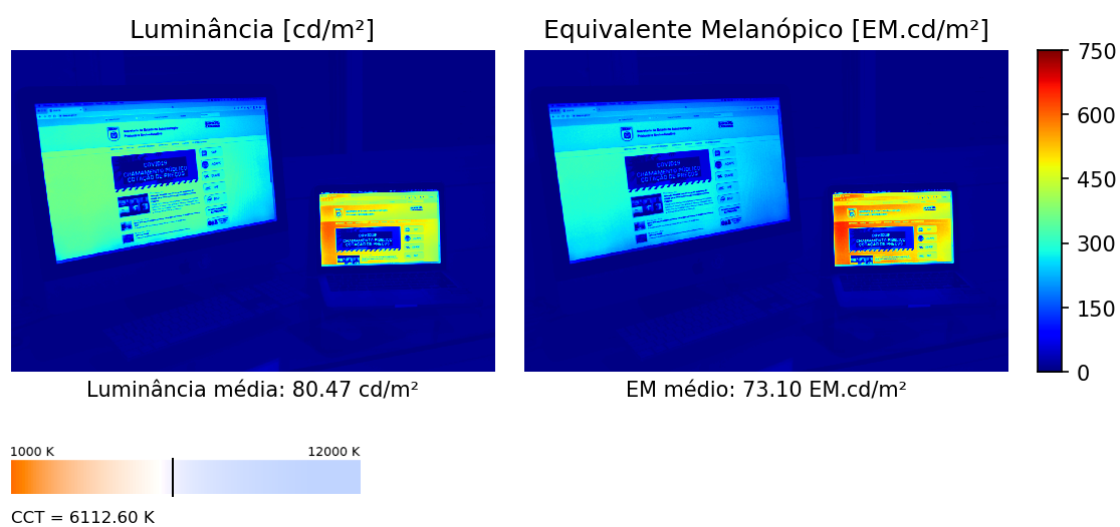
Alterando o fundo de tela para o mesmo apresentado no espaço de trabalho (fundo claro) (Figura 29 – Condição 3), os valores de luminância da cena ficaram significativamente maiores, de maneira que nenhum observado no ambiente de trabalho chegou a tal valor. Isso pode se dar ao fato de que os tamanhos dos equipamentos são diferentes e foram configurados a emitir maior brilho. Incluindo uma luminária de mesa com lâmpada de temperatura de cor quente (Figura 30- Condição 4), observa-se um aumento na luminância média da cena, o que impacta na visibilidade do ambiente, mas o equivalente melanópico não acompanha na mesma medida. Pode-se observar da luminária também na temperatura de cor da cena que vai de 6112 K para 4594 K.

Figura 28 - Espaço de trabalho simulado 2



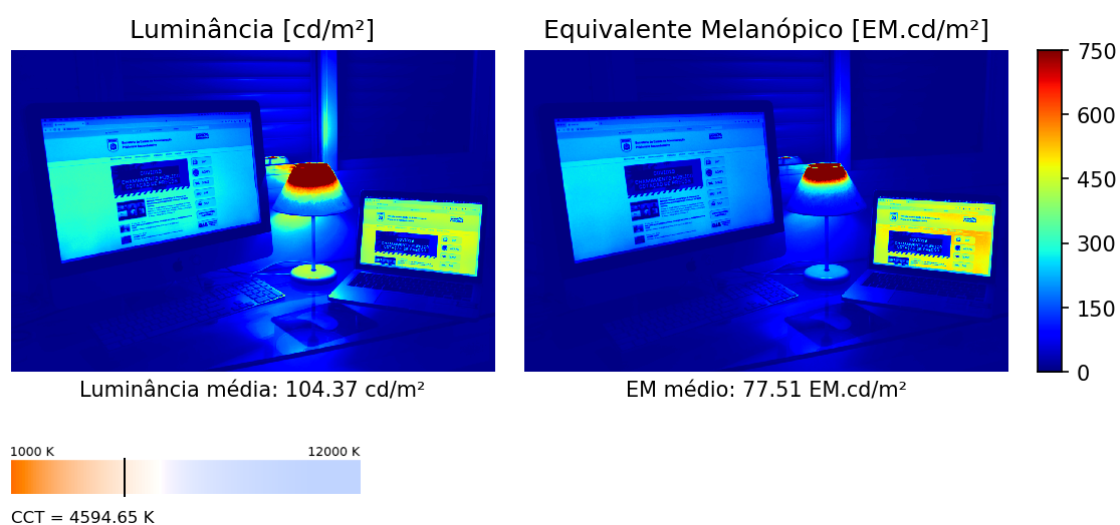
Fonte: A autora (2021)

Figura 29 - Espaço de trabalho simulado 3



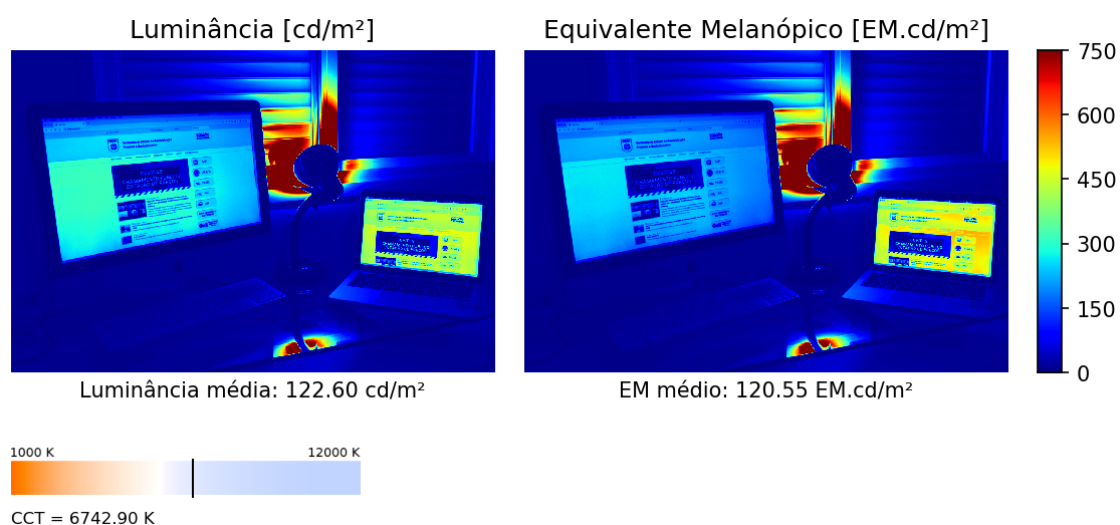
Fonte: A autora (2021)

Figura 30 - Espaço de trabalho simulado 4



Fonte: A autora (2021)

Figura 31 - Espaço de trabalho simulado 5

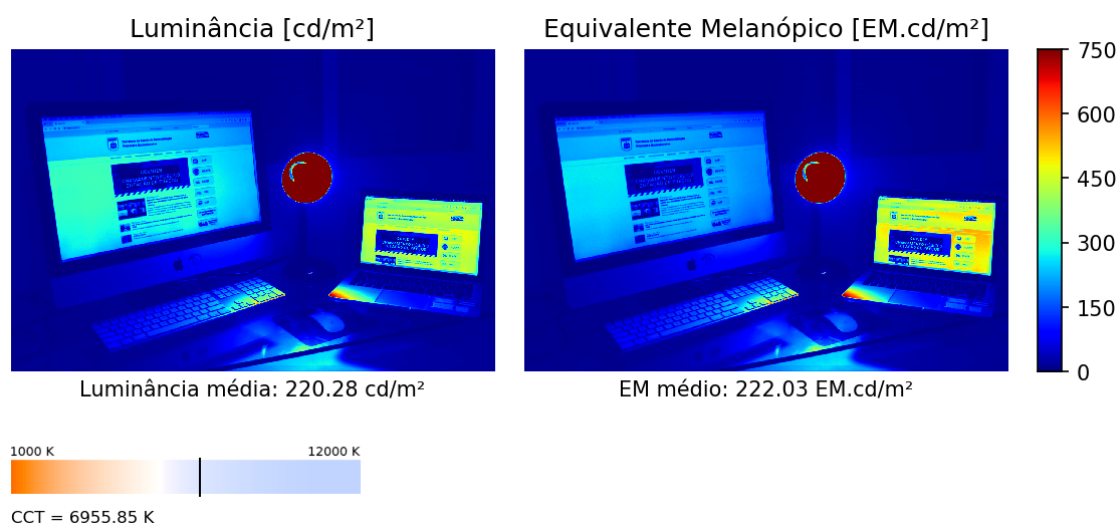


Fonte: A autora (2021)

Adicionando uma luminária que emite luz com temperatura de cor maior (mais fria) refletindo no ambiente observa-se uma maior luminância média e equivalente melanópico mas ainda distantes do padrão de 200 Em cd/m<sup>2</sup> necessários para impactar o sistema biológico não visual (Figura 31- Condição 5). Por fim, posicionando a luminária frontalmente ao observador (Figura 32- Condição 6), obtém-se um valor de equivalente melanópico suficiente, porém, a um alto custo quanto ao conforto visual, visto que o ofuscamento gerado é bastante significativo. Apesar de não terem sido medidos nesse estudo, com a

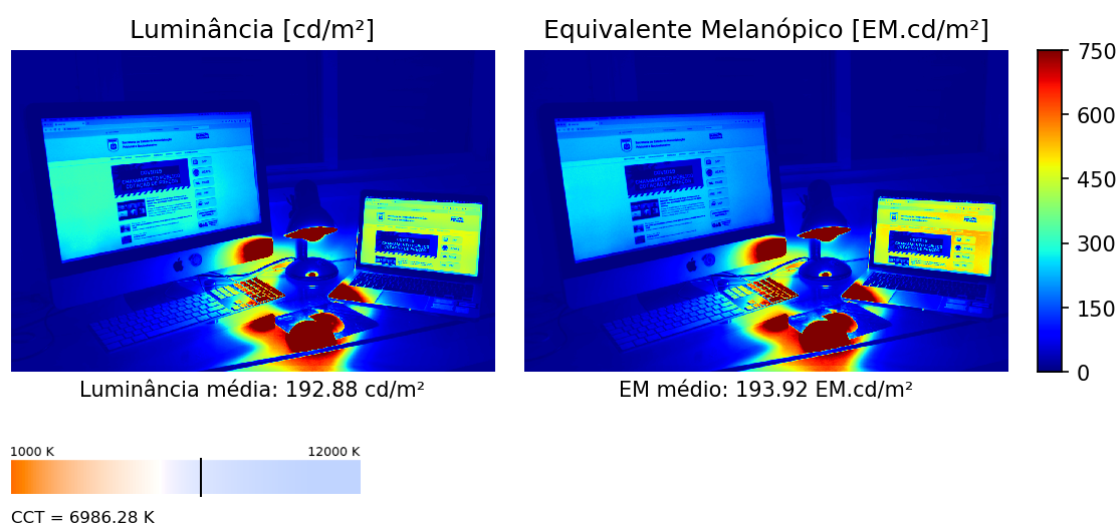
técnica da fotografia HDR seria possível medir o UGR. Porém, com a coloração falsa já é possível perceber a diferença significativa entre as cores (e consequentemente luminância) da luminária e demais elementos da cena. Uma drástica diferença de coloração também indicaria um possível grau de ofuscamento gerado. Alterando o posicionamento da luminária, pode-se alterar os valores e verificar a possibilidade de dispersar a iluminação de maneira que além de gerar o efeito desejado, ela não impacte negativamente as atividades do ponto de vista visual (Figura 33- Condição 7).

Figura 32 - Espaço de trabalho simulado 6



Fonte: A autora (2021)

Figura 33 - Espaço de trabalho simulado 7



Fonte: A autora (2021)

A praticidade de aplicação da técnica de fotografia HDR, mesmo com grau de perda de exatidão nas informações, auxiliam de maneira imediata o planejamento e intervenção no ambiente construído de maneira que possa atender os requisitos projetuais. Uma iluminação que impacte o sistema biológico não visual é possível, mas os avanços acerca da ergonomia para o sistema visual não podem ser negligenciados. Evitar o ofuscamento no ambiente de trabalho ainda é um desafio e esta técnica pode auxiliar pesquisadores e ergonomistas a indicar estratégias de iluminação mais adequadas.

## 5 CONCLUSÃO

A ergonomia da Iluminação caminha para uma abordagem cada vez mais centrada no ser humano, onde os efeitos estudados serão cada vez mais complexos e interligados. Isso implica em alterar o foco das medições do ambiente para o ser humano, passando a considerar, além das condições de iluminação na superfície horizontal, o fluxo luminoso que atinge a retina. Ainda, por conta do fator cumulativo dos efeitos não visuais, medidas devem ser registradas por um certo período e levar em consideração o histórico do indivíduo. Não existe ainda um conjunto de equipamentos e normativas acessíveis aos pesquisadores, arquitetos, projetistas, engenheiros dentre outros. Essas mudanças também implicam em um alto grau de complexidade na medida em que a prática não permite a concepção de projeto destinado a um específico efeito sem levar em consideração os demais que deverão ser no mínimo, não influenciados. Portanto, não existe um projeto pensado para os efeitos não visuais sem considerar os efeitos visuais causados.

Caminha-se gradualmente também para o limiar entre efeitos físicos, comportamentais e cognitivos. Com o estudo avançando sobre a liberação dos hormônios melatonina e cortisol tem-se uma visão mais clara sobre as implicações no ciclo circadiano de regulação do sono. O sono ou a sua falta influenciam uma gama extensa de efeitos. Para além desses hormônios, outras linhas de pesquisa estão sendo desenvolvidas e tendem a evidenciar outros efeitos. A tecnologia tem um papel importante frente a esse cenário, tanto para aproximar as medições do ser humano quanto para ajudar a processar um número crescente de dados e variáveis. Além disso, com o avanço de tecnologias especiais que controlam o ambiente, conhecidas como *Smart devices*, pode-se pensar em ambientes inteligentes que se adequem a medições individualizadas. Porém, o uso desse potencial tecnológico só faz sentido se tivermos o amadurecimento de pesquisas que apontem um caminho seguro de atuação. As pesquisas por sua vez, devem ser cada vez mais interdisciplinares para conseguirem dar respostas tanto ao campo científico quanto à sociedade.

## 5.1 RECOMENDÇÕES ERGÔMICAS PARA O SISTEMA NÃO VISUAL

Retomando os conhecimentos da ergonomia da iluminação para os efeitos não visuais, alicerçada nas recomendações estimadas nas unidades Estímulo Circadiano e Equivalente Melanópico, recomenda-se para a iluminação de escritórios destinada aos trabalhadores noturnos:

- Aumentar o nível de iluminação vertical (ocular) para os efeitos não visuais da iluminação, principalmente nos períodos mais vulneráveis – Entre 4 e 6 horas da manhã. O nível de iluminação medido mostrou-se muito inferior ao necessário para estimular o ciclo circadiano e provocar efeito no estado de alerta. Sugere-se chegar a um nível de 200 lux melanópico equivalente ou 0,3 CS. Pode-se chegar a esse valor através de algumas estratégias de adequação do ambiente. Primeiro, como sugerido pelo padrão WELL 2020, pode-se inserir uma luminária complementar direcionada ou focalizada de maneira permitir a personalização do usuário. Ainda, outra proposta seria utilizar superfícies com valores de refletância mais altos que resultam em maior intensidade geral de luz. A escolha de superfícies com valores de refletância mais altos representam, segundo o padrão Well 2020, uma boa estratégia para garantir que uma quantidade suficiente de luz atinja o olho sem aumentar o consumo de energia (WELL, 2020). Porém, deve-se atentar ao risco do efeito do ofuscamento. Outra alternativa seria pensar em camadas de iluminação através da instalação de partições luminosas nas estações de trabalho para fornecer iluminação extra para os ocupantes de um espaço, como sugere Figueiro et al., (2016). Deve-se ainda, atentar para a distribuição de energia espectral (SPD) das fontes de luz a serem utilizadas ou analisadas de maneira a não confiar exclusivamente na sua CCT. Uma lâmpada que forneça um conteúdo espectral rico na faixa 460nm tende a elevar os valores de lux melanópico equivalente ou CS sem necessitar de um grande aumento de intensidade geral da iluminação.

- Como o nível de disrupção do ciclo circadiano do trabalhador noturno não foi identificado nesta pesquisa, não é recomendado adotar um cronograma de iluminação destinado a avançar ou atrasar o ciclo circadiano do sono. Sugere-se uma disseminação dos conhecimentos acerca dos impactos da disrupção do ciclo circadiano para a saúde e desempenho no trabalho. Ainda, um monitoramento do ciclo do sono, através de dispositivos vestíveis, pode auxiliar

a determinação de um padrão de sono e indicar os momentos mais vulneráveis dos trabalhadores trazendo respostas individuais. O padrão Well indica uma política de sono saudável a ser adotada por empresas e instituições. É sugerido um fornecimento de subsídio em software e ou aplicativos que monitore padrões de comportamento relacionados ao sono durante o dia, como níveis de atividade, ingestão de cafeína e álcool e hábitos alimentares (WELL, 2020).



## REFERÊNCIAS

- ADRIANA BONFIOLI. **O olho e a visão**. Disponível em: <https://advisionclinica.com.br/o-olho-e-a-visao/>. Acesso em: 02 abr. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/CIE 8995-1**: Iluminação de ambientes de trabalho Parte 1: Interior. Rio de Janeiro: Abnt, 2013.
- BERSON, David M.; DUNN, Felice A.; TAKAO, Motoharu. Phototransduction by Retinal Ganglion Cells That Set the Circadian Clock. **Science**. Providence, Usa, p. 1070-1073. 8 fev. 2002.
- BOHLE, Philip; TILLEY, Andrew J.. The impact of night work on psychological well-being. **Ergonomics**. St Lucia, Australia, p. 1089-1099. maio 2007.
- BOYCE, Peter Robert. **Human Factors in Lighting**. 3. ed. Boca Raton: Crc Press, 2014. 703 p.
- BRAINARD, George C.; HANIFIN, John P.; GREESON, Jeffrey M.; BYRNE, Brenda; GLICKMAN, Gena; GERNER, Edward; ROLLAG, Mark D.. Action Spectrum for Melatonin Regulation in Humans: evidence for a novel circadian photoreceptor. **Journal Of Neuroscience**. Pennsylvania, p. 6405-6412. 15 ago. 2001.
- CAJOCHEN, Christian; MUNCH, Mirjam; KOBIALKA, Szymon; KRAUCHI, Kurt; STEINER, Roland; OELHAFEN, Peter; ORGUL, Selim; WIRZ-JUSTICE, Anna. High Sensitivity of Human Melatonin, Alertness, Thermoregulation, and Heart Rate to Short Wavelength Light. **The Journal Of Clinical Endocrinology & Metabolism**. Oxford, p. 1311-1316. 01 mar. 2005.
- COSTA, Alódia Brasil. **Estudo eletrorretinográfico da adaptação à luz de vias de processamento específicas de cone e de otonância em cor e luminância**. 2018. 110 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Neurociências e Biologia Celular, Universidade Federal do Pará Instituto de Ciências Biológicas, Belém, 2018.
- DIAS, Maíra Vieira. **Medição de iluminação ao nível dos olhos com dispositivo vestível**. 2017. 324 f. Tese (Doutorado) - Curso de Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017.
- DIAS, Maíra Vieira; MOTAMED, Ali; SCARAZZATO, Paulo Sergio; SCARTEZZINI, Jean-Louis. Dispositivo vestível para medição da iluminação pupilar. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, p. 129-143. jun. 2019

- FIGUEIRO, Mariana; NAGARE, R; PRICE. Non-visual effects of light: how to use light to promote circadian entrainment and elicit alertness. **Lighting Research & Technology**. Didcot, UK, p. 38-50. 28 jun. 2017.
- FIGUEIRO, Mariana G.; GONZALES, Kassandra; PEDLER, David. Designing with Circadian Stimulus. **Ld+A**. New York, p. 31-34. out. 2016.
- FIGUEIRO, Mariana G.; REA, Mark S.. The Effects of Red and Blue Lights on Circadian Variations in Cortisol, Alpha Amylase, and Melatonin. **International Journal Of Endocrinology**. London, p. 1-9. jun. 2010.
- FIGUEIRO, Mariana G; REA, Mark s; BULLOUGH, John D. Circadian effectiveness of two polychromatic lights in suppressing human nocturnal melatonin. **Neuroscience Letters**. Troy, p. 293-297. ago. 2006.
- GALL, Dietrich; BIESKE, Karin. Definition and measurement of circadian radiometric quantities. **Proceedings Of The Cie Symposium '04**. Vienna, Austria, p. 129-132. out. 2010.
- GOLDBERG, D P; HILLIER, V F. A scaled version of the General Health Questionnaire. **Psychological Medicine**. Cambridge, p. 139-145. fev. 1979.
- Gooley, J. J., Lu, J., Chou, T. C., Scammell, T. E., & Saper, C. B. (2001). Melanopsin in cells of origin of the retinohypothalamic tract. *Nature Neuroscience*, 4(12), 1165. <https://doi.org/10.1038/nn768>
- GORMAN, Anne; DURANTE, Antonello. High Dynamic Range Imaging and its Use in Daylight and Lighting Design. **Reference Module In Materials Science And Materials Engineering**. Dublin, Ireland, p. 338-342. jan. 2019.
- HUGH DAVSON. **Human eye**. 2020. Disponível em: <https://www.britannica.com/science/human-eye/The-retina>. Acesso em: 02 abr. 2021.
- INANICI, Mehlika; GALVIN, Jim. Evaluation of High Dynamic Range Photography as a Luminance Mapping Technique. **Lawrence Berkeley National Laboratory**. Berkeley, p. 01-28. dez. 2004.
- INANICI, Mehlika. Evaluation of high dynamic range photography as a luminance data acquisition system. **Lighting Res. Technol.**. California, Usa, p. 123-136. 2006.
- JUNG, B; INANICI, M. Measuring circadian lighting through high dynamic range photography. **Lighting Research & Technology**. Seattle, Usa, p. 742-763. 10 ago. 2018.

JUNG, Bo Yun. **Measuring circadian light through High Dynamic Range**. 2017. 116 f. Tese (Doutorado) - Curso de Architecture, University Of Washington, Washington, 2017.

KUMBALASIRI, Tida; PROVENCIO, Ignacio. Melanopsin and other novel mammalian opsins. **Experimental Eye Research**. Bethesda, Usa, p. 368-375. out. 2005.

ŁASZEWSKA, Kamila; GORONCY, Agnieszka; WEBER, Piotr; PRACKI, Tadeusz; TAFIL-KLAWE, Małgorzata. Influence of the Spectral Quality of Light on Daytime Alertness Levels in Humans. **Advances In Cognitive Psychology**. Bethesda, Usa, p. 192-208. 31 dez. 2018.

LEWY, A J; SACK, R L; MILLER, L s; HOBAN, T M. Antidepressant and circadian phase-shifting effects of light. **Science**. Bethesda, Usa, p. 352-354. 16 jan. 1987.

LOCKLEY, Steven W.; BARGER, Laura K.; AYAS, Najib T.; ROTHSCCHILD, Jeffrey M.; CZEISLER, Charles A.; LANDRIGAN, Christopher P.. Effects of Health Care Provider Work Hours and Sleep Deprivation on Safety and Performance. **The Joint Commission Journal On Quality And Patient Safety**. Boston, p. 7-18. nov. 2007.

LUCAS, Robert J.; PEIRSON, Stuart; BERSON, David M.; BROWN, Timothy M.; COOPER, Howard M.; CZEISLER, Charles A.; FIGUEIRO, Mariana G; GAMLIN, Paul D.; LOCKLEY, Steven W.; O'HAGAN, John B.. Measuring and using light in the melanopsin age. **Trends Neurosci.** Bethesda, Usa, p. 1-9. jan. 2016.

MOCHIZUKI, E.; KOIKE, K. Field Survey on Actual Conditions of Light Environment in Mid-scale Office Buildings in Japan. **Journal Of Light & Visual Environment**. Chiba, Japão, p. 157-164. 20 jul. 2010.

PAPATSIMPA, C.; BONARIUS, Jochem H.; LINNARTZ, J.P.M.G.. Bio-Clock-Aware Office Lighting Control. **International Conference On Intelligent Environments (Ie)**. Madrid, Spain, p. 108-114. jul. 2020.

PRICE, Luke L; UDOVIČIĆ, Ljiljana; BEHRENS, Thomas; VAN DRONGELEN, Alwin; GARDE, Anne Helene; HOGENELST, Koen; JENSEN, Marie Aarrebo; KHAZOVA, Marina; NOWAK, Kamila; RABSTEIN, Sylvia. Linking the non-visual effects of light exposure with occupational health. **International Journal Of Epidemiology**. Oxford, p. 1393-1397. out. 2019.

RANSLEY, Ben. An Overview of Recent Findings on the Effect of Light on Circulation Rhythms. **Journal Of Sustainable Design & Applied Research**. Londres, p. 1-10. nov. 2020.

REA, Ms; FIGUEIRO, Mg; A BIERMAN,; HAMNER, R. Modelling the spectral sensitivity of the human circadian system. **Lighting Research & Technology**. Troy, p. 386-396. dez. 2011.

REA, Ms; FIGUEIRO, Mg; BULLOUGH, Jd. Circadian photobiology: an emerging framework for lighting practice and research. **Lighting Research & Technology**. Troy, p. 177-187. set. 2002.

REA, Mark s; BIERMAN, Andrew; FIGUEIRO, Mariana G; BULLOUGH, John D. A new approach to understanding the impact of circadian disruption on human health. **The Journal Of Circadian Rhythms**. Troy, p. 1-14. maio 2008.

REA, Mark; G.FIGUEIRO, Mariana; D.BULLOUGH, John; ANDREWBIERMAN. A model of phototransduction by the human circadian system. **Brain Research Reviews**. Troy, p. 213-228. out. 2005.

ROENNEBERG. **English Shift-Workers MCTQ**. 2015. Disponível em: <https://www.thewep.org/documentations/mctq/item/english-shift-workers-mctq>. Acesso em: 09 out. 2020.

THAPAN, Kavita; ARENDT, Josephine; SKENE, Debra J.. An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans. **Journal Of Physiology**. Guildford, p. 261-267. ago. 2001.

Van BOMMEL, J.M. Wout. Non-visual biological effect of lighting and the practical meaning for lighting for work. **Applied Ergonomics**. Eindhoven, p. 461-466. jul. 2006.

WELL, Well Building Standard. **Light**. 2020. Disponível em: <https://v2.wellcertified.com/wellv2/en/light>. Acesso em: 22 abr. 2021.

## APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO

🌐 English (United States) ▾

### Iluminação no ambiente do trabalhador noturno 🔊

Prezado/a participante,  
Obrigada por aceitar participar desta pesquisa!

Este questionário está estruturado em 8 partes e o tempo de preenchimento médio é de 20 minutos.

Qualquer dúvida, entre em contato com a pesquisadora mestranda Bárbara Laura Cidral.

Informações para contato:

[bl.cidral@edu.udesc.br](mailto:bl.cidral@edu.udesc.br) (<mailto:bl.cidral@edu.udesc.br>) ou [bcidral@gmail.com](mailto:bcidral@gmail.com) (<mailto:bcidral@gmail.com>) ou Whatsapp +55 (48) 99149-4090

\* Required

1

Número do participante:

*Este número deve ter sido anteriormente enviado pela pesquisadora.*

## Termo de consentimento livre e esclarecido

O(a) senhor(a) está sendo convidado(a) a participar de uma pesquisa de mestrado intitulada " EFEITOS NÃO VISUAIS DA ILUMINAÇÃO NO TRABALHO NOTURNO: UMA ANÁLISE DO AMBIENTE CONSTRUÍDO E ESTADO DE ALERTA DO TRABALHADOR" que fará a aplicação de um questionário, tendo como objetivo: Propor recomendações ergonômicas que contemplem os efeitos não visuais da iluminação para trabalhadores noturnos. Essa fase da pesquisa será realizada virtualmente, por meio de questionário respondido em formulário eletrônico. O questionário poderá ser respondido em qualquer lugar, a julgar pelo(a) senhor(a), desde que tenha acesso a computador ou celular com internet.

O(a) Senhor(a), ao aceitar participar da pesquisa, deverá, virtualmente no momento de responder o questionário, consentir com a participação ao clicar no botão "Próximo" ou "Next", e seguir para a próxima página, o que corresponderá à assinatura do TCLE, o qual poderá ser impresso se assim o desejar. Caso os questionamentos gerem qualquer tipo de constrangimento ou desconforto, o(a) senhor(a) pode optar por não responder o questionário. O(a) Senhor(a) não terá despesas e nem será remunerado pela participação na pesquisa. Os riscos dos procedimentos previstos na pesquisa serão mínimos por envolver questionamentos de foro íntimo. Salienta-se que a pesquisa não será vinculada ao nome da empresa ou trabalhador, ou seja, os dados são sigilosos. Qualquer informação verificada fora do escopo do projeto não compete a avaliação dos pesquisadores e perguntas que causem constrangimento ao participante não necessitam ser respondidas. Importante destacar também que nenhuma informação será divulgada ou compartilhada fora do meio acadêmico. Os participantes serão recrutados sem o intermédio das organizações em que trabalham. Os benefícios e vantagens em participar deste estudo serão a colaboração na proposição de recomendações ergonômicas que auxiliem os trabalhadores noturnos a manterem um adequado nível de alerta durante a realização de atividades através da iluminação.

A pessoa que acompanhará os procedimentos será a pesquisadora responsável Bárbara Laura Cidral, estudante de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Design da UDESC e o professor orientador Prof. Dr. Milton José Cinelli.

Solicitamos a sua autorização do uso dos dados coletados para a produção de artigos técnicos e científicos. A sua privacidade será mantida através da não-identificação do seu nome e dados pessoais. Caso solicitado, este termo de consentimento livre e esclarecido poderá ser impresso em duas vias, sendo que uma delas ficará em poder da pesquisadora e outra com o voluntário/a participante da pesquisa.

NOME DA PESQUISADORA RESPONSÁVEL: Bárbara Laura Cidral

NÚMERO TELEFONE: (48) 99149-4090

EMAIL: [bl.cidral@edu.udesc.br](mailto:bl.cidral@edu.udesc.br) (<mailto:bl.cidral@edu.udesc.br>)/[bcidral@gmail.com](mailto:bcidral@gmail.com) (<mailto:bcidral@gmail.com>)

2

Você tem mais de 18 anos, desempenha atividade remunerada regularmente no período noturno e quer participar voluntariamente da pesquisa? \*

☐ Sim

☐ Não

3

Deseja receber uma cópia deste TCLE - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido? \*

☐ Sim

☐ Não

4

Qual e-mail para envio? \*

## Parte 1: Identificação sociodemográfica

5

Idade: \*

*Em anos. Exemplo: 37 anos*

The value must be a number

6

Sexo: \*

- ☐ Feminino
- ☐ Masculino
- ☐ Prefiro não dizer

7

Qual a sua escolaridade máxima? \*

- ☐ Ensino fundamental incompleto
- ☐ Ensino fundamental completo
- ☐ Ensino médio incompleto
- ☐ Ensino médio completo
- ☐ Ensino superior incompleto
- ☐ Ensino superior completo
- ☐ Pós graduação incompleta
- ☐ Pós graduação completa

8

Cidade onde trabalha: \*

## Parte 2: Caracterização do trabalho

9

Profissão: \*

10

Tipo de contratação: \*

*Para responder esse questionário, você deve ter algum tipo de contrato regular de trabalho com uma organização ou empresa. Suas informações não serão divulgadas.*

- ☐ Carteira assinada (CLT) - 30h/semana ou mais
- ☐ Carteira assinada (CLT) - menos de 30h/semana
- ☐ Pessoa jurídica
- ☐ Funcionário Público (concursado ou cargo em comissão)
- ☐
- ☐ Other

11

Indique tarefas recorrentes da sua realidade de trabalho: \*

- ☐ Atendimento à cliente
- ☐ Monitoramento de atividade
- ☐ Organização de estoque
- ☐ Dirigir veículo
- ☐
- ☐ Other

12

Seu turno corresponde a 12 horas de trabalho e 36 horas de repouso? \*

- ☐ Sim
- ☐ Não



13

Indique a periodicidade do turno de trabalho e repouso:

*Exemplo: 24h de trabalho, 48h de repouso.*

14

Qual o horário do INÍCIO da sua jornada de trabalho? \*

*Indique no padrão 24h. Exemplo: 15:30*

15

Qual o horário do TÉRMINO da sua jornada de trabalho? \*

*Indique no padrão 24h. Exemplo: 15:30*

16

Possui outro(s) emprego(s)? \*

☐ Sim

☐ Não

17

Qual horário de INÍCIO e TÉRMINO da(s) sua(s) outra(s) jornada(s) de trabalho? \*

*Exemplo: Início às 13:00 e término às 16:00*

18

Qual é o meio de transporte que você utiliza para o trabalho? \*

☐ Ônibus/ Van☐ Carro☐ Moto☐ Bicicleta☐ A pé☐ 

Other

19

Para a IDA até o local de trabalho, você leva aproximadamente quanto tempo? \*

☐ Até 10 minutos☐ Entre 10 e 20 minutos☐ Entre 20 e 40 minutos☐ Entre 40 minutos e 1 hora e 30 minutos☐ Mais de 1 hora e 30 minutos☐ 

Other

20

Para a VOLTA do local de trabalho, você leva aproximadamente quanto tempo? \*

☐ Até 10 minutos☐ Entre 10 e 20 minutos☐ Entre 20 e 40 minutos☐ Entre 40 minutos e 1 hora e 30 minutos☐ Mais de 1 hora e 30 minutos☐ 

Other

## Parte 3: Trabalho no período noturno

21

Há quanto tempo trabalha no período noturno? \*

- ☐ Menos de 1 mês
- ☐ Entre 1 e 6 meses
- ☐ Entre 6 meses e 1 ano
- ☐ Entre 1 e 2 anos
- ☐ Mais de 2 anos

22

Como foi a sua adaptação para o turno da noite? \*

- ☐ Fácil, não tive nenhuma dificuldade
- ☐ Moderada, tive alguma(s) dificuldade(s)
- ☐ Difícil, tive muitas dificuldades

23

Na sua opinião, quais são as principais dificuldades associadas à realização de atividades no período noturno? \*

24

Quão flexível é a sua jornada de trabalho? \*

- ☐ Muito flexível
- ☐ Um pouco flexível
- ☐ Nada flexível

25

Você costuma aproveitar pausas e momentos com poucas atividades para descansar no ambiente de trabalho? \*

☐ Sim

☐ Não

☐

Other

26

Seu local de trabalho dispõe de ambiente reservado para descanso? \*

☐ Sim

☐ Não

27

Em DIAS DE TRABALHO: Você passa, aproximadamente, quantas horas por dia sob a luz natural ao ar livre? \*

*Considere cenário anterior à pandemia.*

☐ Até 30 minutos

☐ Entre 30 minutos e 1 hora

☐ Entre 1 e 2 horas

☐ Entre 2 e 4 horas

☐ Mais de 4 horas

28

Em dias NÃO TRABALHADOS: Você passa, aproximadamente, quantas horas por dia sob a luz natural ao ar livre? \*

*Considere cenário anterior à pandemia.*

☐ Até 30 minutos

☐ Entre 30 minutos e 1 hora

☐ Entre 1 e 2 horas

☐ Entre 2 e 4 horas

☐ Mais de 4 horas

## Parte 4: Estado de alerta ao longo das HORAS DE TRABALHO no período noturno

29

Indique seu nível de sonolência/atenção ENTRE 22h e 24h: \*

- ☐ 0. Não trabalho nesse horário
- ☐ 1. Extremamente alerta
- ☐ 2. Muito alerta
- ☐ 3. Alerta
- ☐ 4. Um pouco alerta
- ☐ 5. Nem alerta nem sonolento
- ☐ 6. Alguns sinais de sonolência
- ☐ 7. Sonolento, mas sem dificuldade em permanecer acordado
- ☐ 8. Sonolento, algum esforço para se manter alerta
- ☐ 9. Extremamente sonolento, lutando contra o sono

30

Indique seu nível de sonolência/atenção ENTRE 00h e 02h da madrugada: \*

- ☐ 0. Não trabalho nesse horário
- ☐ 1. Extremamente alerta
- ☐ 2. Muito alerta
- ☐ 3. Alerta
- ☐ 4. Um pouco alerta
- ☐ 5. Nem alerta nem sonolento
- ☐ 6. Alguns sinais de sonolência
- ☐ 7. Sonolento, mas sem dificuldade em permanecer acordado
- ☐ 8. Sonolento, algum esforço para se manter alerta
- ☐ 9. Extremamente sonolento, lutando contra o sono

31

Indique seu nível de sonolência/atenção ENTRE 02h e 04h da madrugada: \*

- ☐ 0. Não trabalho nesse horário
- ☐ 1. Extremamente alerta
- ☐ 2. Muito alerta
- ☐ 3. Alerta
- ☐ 4. Um pouco alerta
- ☐ 5. Nem alerta nem sonolento
- ☐ 6. Alguns sinais de sonolência
- ☐ 7. Sonolento, mas sem dificuldade em permanecer acordado
- ☐ 8. Sonolento, algum esforço para se manter alerta
- ☐ 9. Extremamente sonolento, lutando contra o sono

32

Indique seu nível de sonolência/atenção ENTRE 04h e 06h: \*

- ☐ 0. Não trabalho nesse horário
- ☐ 1. Extremamente alerta
- ☐ 2. Muito alerta
- ☐ 3. Alerta
- ☐ 4. Um pouco alerta
- ☐ 5. Nem alerta nem sonolento
- ☐ 6. Alguns sinais de sonolência
- ☐ 7. Sonolento, mas sem dificuldade em permanecer acordado
- ☐ 8. Sonolento, algum esforço para se manter alerta
- ☐ 9. Extremamente sonolento, lutando contra o sono

33

Quando sente SINAIS DE SONOLÊNCIA durante sua jornada de trabalho, o que você faz? \*

## Parte 5: Condição de Iluminação do ambiente de trabalho

34

Quão frequentemente você trabalha AO AR LIVRE? \*

*Ou seja, FORA de um ambiente construído e exposto a luz natural e intempéries.*☐ Sempre☐ Quase sempre☐ Algumas vezes☐ Quase nunca☐ Nunca☐ 

Other

35

Possui ESPAÇO DE TRABALHO fixo? \*

*Ou seja, realiza atividades com frequência em um mesmo espaço individual dentro de um ambiente construído.*☐ Sim☐ Não☐ 

Other

36

Indique os objetos que fazem parte do seu ESPAÇO DE TRABALHO principal: \*

*Entende-se "espaço de trabalho" como um espaço individual de trabalho dentro de um ambiente construído.*☐ Mesa☐ Cadeira☐ Computador☐ Papéis, material impresso☐ Múltiplas telas/monitores☐ Balcão de atendimento☐ 

Other

37

Em torno de quanto tempo da sua jornada de trabalho você passa no seu ESPAÇO DE TRABALHO principal? \*

Entende-se "espaço de trabalho principal" como um espaço individual de trabalho dentro de um ambiente construído onde é realizada a maior parte das atividades.

☐ Menos de 1h

☐ Entre 1h e 2h

☐ Entre 2h e 4h

☐ Entre 4h e 8h

☐ Mais de 8h

☐

Other

38

Sobre a iluminação do ambiente ao redor do seu ESPAÇO DE TRABALHO principal: \*

Entende-se "espaço de trabalho principal" como um espaço individual de trabalho dentro de um ambiente construído onde é realizada a maior parte das atividades.

	Muito claro	Claro	Neutro	Escuro	Muito escuro	Não se aplica
Como é a iluminação no seu espaço de trabalho?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

39

Você se sente desconfortável sobre a FALTA DE UNIFORMIDADE da iluminação no seu ESPAÇO DE TRABALHO principal? \*

Entende-se "espaço de trabalho principal" como um espaço individual de trabalho dentro de um ambiente construído onde é realizada a maior parte das atividades.

☐ Sim

☐ Não

☐

Other

40

Você se sente desconfortável sobre os REFLEXOS da iluminação no seu ESPAÇO DE TRABALHO principal? \*

Entende-se "espaço de trabalho principal" como um espaço individual de trabalho dentro de um ambiente construído onde é realizada a maior parte das atividades.

☐ Sim

☐ Não

☐

Other



41

Você se sente desconfortável sobre os REFLEXOS da iluminação no seu MONITOR? \*

☐ Sim

☐ Não

☐ Não utilizo monitor/computador

☐

Other

42

Você tem ILUMINAÇÃO FOCALIZADA sobre seu ESPAÇO DE TRABALHO principal? \*

*Exemplo: luminárias na mesa, ou outros objetos e sistemas iluminantes.*

☐ Sim

☐ Não

☐

Other

43

Quão frequentemente você utiliza a ILUMINAÇÃO FOCALIZADA sobre seu ESPAÇO DE TRABALHO principal? \*

☐ Sempre

☐ Quase sempre

☐ Algumas vezes

☐ Quase nunca

☐ Nunca

☐

Other

44

Sobre a iluminação do ambiente AO REDOR do seu ESPAÇO DE TRABALHO principal: \*

*Entende-se "espaço de trabalho principal" como um espaço individual de trabalho dentro de um ambiente construído onde é realizada a maior parte das atividades.*

Muito satisfeito

Satisfeito

Neutro

Insatisfeito

Muito insatisfeito

Não se aplica

Quão satisfeito você  
está com a iluminação  
ao redor do seu espaço  
de trabalho?

☐

☐

☐

☐

☐

☐

45

Quão frequentemente você utiliza ILUMINAÇÃO de TETO? \*

☐ Sempre☐ Quase sempre☐ Algumas vezes☐ Quase nunca☐ Nunca☐

Other

46

O que você pode ver através da JANELA mais próxima do seu espaço de trabalho? \*

*Considerando quando a janela não está coberta por nenhuma cortina ou anteparo.*☐ Não tenho janelas no meu espaço de trabalho☐ Apenas construções☐ Apenas o céu☐ Ambos construções e céu☐ Nada☐ Árvores☐

Other

47

Quão frequentemente você utiliza SISTEMA DE CORTINA ou algum outro anteparo que bloqueie ou filtre a iluminação da JANELA? \*

☐ Sempre☐ Quase sempre☐ Algumas vezes☐ Quase nunca☐ Nunca☐

Other

48

Quão satisfeito você está com a(s) JANELA(s) perto do seu espaço de trabalho?

Indique:

	Muito satisfeito	Satisfeito	Neutro	Insatisfeito	Muito insatisfeito	Não se aplica
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

49

Você se sente desconfortável sobre as SOMBRAS no seu ESPAÇO DE TRABALHO principal?

- ☐ Sim
- ☐ Não
- ☐
- Other

50

Por favor, conte sobre a ILUMINAÇÃO DO AMBIENTE de trabalho como um todo:

Como é a iluminação no seu ambiente de trabalho?

	Muito claro	Claro	Neutro	Escuro	Muito escuro
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

51

Como você se sente sobre a ATMOSFERA no seu AMBIENTE de trabalho?

- ☐ Calmo
- ☐ Animado
- ☐ Receptivo
- ☐ Sombrio
- ☐ Oprimido
- ☐ Fechado
- ☐
- Other

52

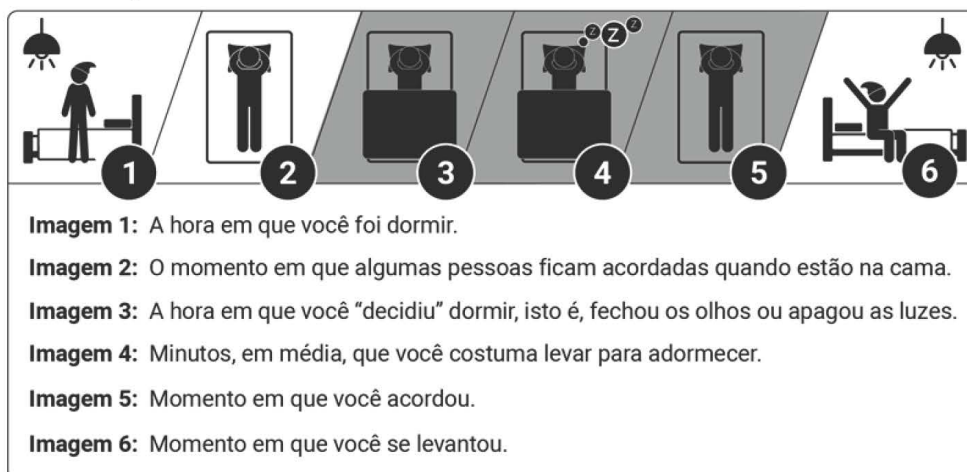
Quão satisfeito você está com a ILUMINAÇÃO no seu AMBIENTE de trabalho como um todo?

Indique:

	Muito satisfeito	Satisfeito	Neutro	Insatisfeito	Muito insatisfeito	Não se aplica
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## Parte 6: Padrão de sono

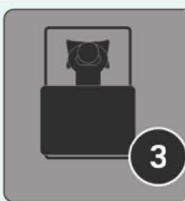
Observe a ilustração:



55

Em qual HORÁRIO normalmente você fica PRONTO para ADORMECER - apagou as luzes e fechou os olhos? \*

*Lembre-se: entre dois turnos de trabalho.  
Indique no padrão 24h. Exemplo: 15:30*

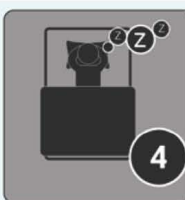


**A hora em que você “decidiu”  
dormir, isto é, fechou os olhos  
ou apagou as luzes.**

56

Quantos MINUTOS você geralmente LEVA para ADORMECER? \*

*Lembre-se: entre dois turnos de trabalho.*



**Minutos, em média, que você  
costuma levar para adormecer.**

- ☐ Durmo no mesmo momento
- ☐ Até 10 minutos
- ☐ Entre 10 e 20 minutos
- ☐ Entre 20 e 40 minutos
- ☐ Mais 40 minutos

57

Em qual HORÁRIO você normalmente ACORDA? \*

*Lembre-se: entre dois turnos de trabalho.  
Indique no padrão 24h. Exemplo: 15:30*




**Momento em que você acordou.**

58

Quantos MINUTOS você geralmente leva para LEVANTAR da cama?

*Lembre-se: entre dois turnos de trabalho.*



Momento em que você se levantou.

- ☐ Levanto no mesmo momento em que acordo
- ☐ Até 10 minutos
- ☐ Entre 10 e 20 minutos
- ☐ Entre 20 e 40 minutos
- ☐ Mais 40 minutos

59

Você acorda com despertador? \*

*Lembre-se: entre dois turnos de trabalho.*

- ☐ Sim
- ☐ Não
- ☐ Algumas vezes
- ☐
- Other

60

Como você avalia a QUALIDADE do seu SONO entre dois dias TURNOS de trabalho? \*

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Nada restaurador											Completamente restaurador

Entre dois DIAS LIVRES depois de um turno de trabalho:


Indique os seus horários de sono entre DOIS DIAS LIVRES após um dado turno de trabalho nas próximas questões. Utilize como base a sua jornada atual.

61

Em qual horário normalmente você VAI para a CAMA? \*

*Lembre-se: entre dois dia livres.*

*Indique no padrão 24h. Exemplo: 15:30*

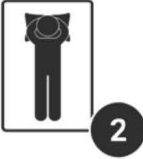


**A hora em que você foi dormir.**

62

Quanto TEMPO em média você leva desde que FOI para a CAMA até DECIDIR DORMIR? \*

*Lembre-se: Lembre-se: entre dois dia livres.*



**O momento em que algumas pessoas ficam acordadas quando estão na cama.**

- ☐ Decido dormir no mesmo momento em que vou para a cama
- ☐ Até 10 minutos
- ☐ Entre 10 e 20 minutos
- ☐ Entre 20 e 40 minutos
- ☐ Mais 40 minutos

63

Em qual HORÁRIO normalmente você fica PRONTO para ADORMECER - apagou as luzes e fechou os olhos? \*

*Lembre-se: Lembre-se: entre dois dias livres.  
Indique no padrão 24h. Exemplo: 15:30*

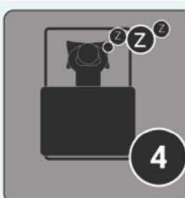


**A hora em que você “decidiu”  
dormir, isto é, fechou os olhos  
ou apagou as luzes.**

64

Quantos MINUTOS você geralmente LEVA para ADORMECER? \*

*Lembre-se: Lembre-se: entre dois dias livres.*



**Minutos, em média, que você  
costuma levar para adormecer.**

- ☐ Durmo no mesmo momento
- ☐ Até 10 minutos
- ☐ Entre 10 e 20 minutos
- ☐ Entre 20 e 40 minutos
- ☐ Mais 40 minutos

65

Em qual HORÁRIO você normalmente ACORDA? \*

*Lembre-se: entre dois turnos de trabalho.  
Indique no padrão 24h. Exemplo: 15:30*



**Momento em que você acordou.**



66

Quantos MINUTOS você geralmente leva para LEVANTAR da cama?

*Lembre-se: entre dois dias livres.*



Momento em que você se levantou.

- ☐ Levanto no mesmo momento em que acordo
- ☐ Até 10 minutos
- ☐ Entre 10 e 20 minutos
- ☐ Entre 20 e 40 minutos
- ☐ Mais 40 minutos

67

Você acorda com despertador? \*

*Lembre-se: entre dois dias livres.*

- ☐ Sim
- ☐ Não
- ☐ Algumas vezes



Other

68

Como você avalia a QUALIDADE do seu SONO entre dois dias LIVRES? \*

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Nada restaurador

Completamente restaurador

## Parte 6: Padrão de sono - continuação

69

Você costuma tirar soneca?

- ☐ Sim
- ☐ Não
- ☐ Algumas vezes

70

Quanto tempo geralmente elas duram?

- ☐ Até 10 minutos
- ☐ Entre 10 e 20 minutos
- ☐ Entre 20 e 40 minutos
- ☐ Entre 40 minutos e 1 hora e 30 minutos
- ☐ Mais de 1 hora e 30 minutos

71

Existem razões especiais pelas quais você não pode escolher livremente os seus horários de sono?

- ☐ Sim
- ☐ Não
- ☐
- Other

72

Qual o motivo?:

- ☐ Por conta de crianças/Animais
- ☐ Passatempo
- ☐
- Other

## Parte 7: Consumo de estimulantes

73

Você fuma? Se sim, quantos cigarros?

- ☐ Não fumo
- ☐ Entre 1 e 3 por SEMANA
- ☐ Entre 5 e 7 por SEMANA
- ☐ Entre 1 e 5 por DIA
- ☐ Entre 5 e 15 por DIA
- ☐ Mais de 25 unidades por DIA

74

Você consome CERVEJA? Se sim, quantos copos (200ml) \*

- ☐ Não consumo
- ☐ Entre 1 e 5 por SEMANA (de 1 copo 200ml a 1L)
- ☐ Entre 5 e 15 por SEMANA (de 1L a 3L)
- ☐ Entre 1 e 5 por DIA (de 1 copo 200ml a 1L)
- ☐ Entre 5 e 15 por DIA (de 1L a 3L)
- ☐ Entre 15 ou mais por DIA (de 3L ou mais)

75

Você consome VINHO? Se sim, quantos copos (200ml) \*

- ☐ Não consumo
- ☐ Entre 1 e 5 por SEMANA (de 1 copo 200ml a 1L)
- ☐ Entre 5 e 15 por SEMANA (de 1L a 3L)
- ☐ Entre 1 e 5 por DIA (de 1 copo 200ml a 1L)
- ☐ Entre 5 e 15 por DIA (de 1L a 3L)
- ☐ Entre 15 ou mais por DIA (de 3L ou mais)

76

Você consome DESTILADOS? Se sim, quantos copos (200ml) \*

- ☐ Não consumo
- ☐ Entre 1 e 5 por SEMANA (de 1 copo 200ml a 1L)
- ☐ Entre 5 e 15 por SEMANA (de 1L a 3L)
- ☐ Entre 1 e 5 por DIA (de 1 copo 200ml a 1L)
- ☐ Entre 5 e 15 por DIA (de 1L a 3L)
- ☐ Entre 15 ou mais por DIA (de 3L ou mais)

77

Você consome CHÁ PRETO? Se sim, quantas xícaras (240ml)? \*

- ☐ Não consumo
- ☐ Entre 1 e 5 por SEMANA
- ☐ Entre 5 e 15 por SEMANA
- ☐ Entre 1 e 5 por DIA
- ☐ Entre 5 e 15 por DIA
- ☐ Entre 15 ou mais por DIA

78

Você consome CAFÉ? Se sim, quantas xícaras (240ml)? \*

- ☐ Não consumo
- ☐ Entre 1 e 5 por SEMANA
- ☐ Entre 5 e 15 por SEMANA
- ☐ Entre 1 e 5 por DIA
- ☐ Entre 5 e 15 por DIA
- ☐ Entre 15 ou mais por DIA

79

Você consome OUTRAS BEBIDAS CAFEINADAS? Se sim, quantas latas? (350ml) \*

*Por exemplo, refrigerantes e energéticos são bebidas ricas em cafeína.*

- ☐ Não consumo
- ☐ Entre 1 e 3 por SEMANA
- ☐ Entre 3 e 6 por SEMANA
- ☐ Entre 1 e 3 por DIA
- ☐ Entre 3 e 6 por DIA
- ☐ Entre 6 ou mais por DIA

80

Você consome algum tipo de REMÉDIO PARA DORMIR? Se sim, com qual frequência?

- ☐ Não consumo
- ☐ 1 vez a cada 2 SEMANAS (15 dias)
- ☐ 1 vez por SEMANA
- ☐ Entre 2 e 3 vezes por SEMANA
- ☐ Todos os DIAS

## Parte 8: Estado de saúde

81

Altura: \*

*Exemplo: 1,60m**Essa informação será importante para o cálculo do Índice de Massa Corpórea.*

82

Peso: \*

*Em Kg. Exemplo: 57Kg.**Essa informação será importante para o cálculo do Índice de Massa Corpórea.*

83

Possui algum problema visual? \*

☐ Não sei☐ Não☐ Sim, miopia (dificuldade em focar objetos distantes)☐ Sim, astigmatismo (visão embaçada)☐ Sim, hipermetropia (dificuldade em focar objetos próximos)☐

Other

84

Usa óculos? \*

☐ Sim☐ Não☐

Other

85

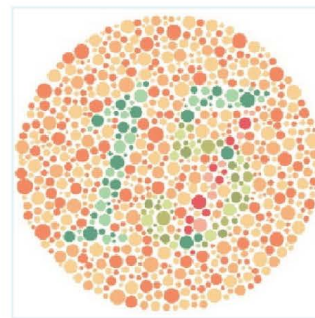
Usa lente de contato? \*

☐ Sim☐ Não☐

Other

86

Que número você enxerga na imagem ao lado? \*



87

Você tem ou já teve alguma(s) das doenças listadas abaixo?

☐ Diabetes☐ Hipertensão☐ Problemas no coração☐ Câncer☐ Ansiedade☐ Depressão☐ Nenhuma destas doenças citadas

Other

Avalie questões baseando-se em como se sente no último mês:

	Muito frequentemente	Frequentemente	Algumas vezes	Quase nunca	Nunca
Apresenta alguma dor ou desconforto ao CAMINHAR?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sente alguma dor ou desconforto para TOMAR BANHO ou SE VESTIR?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sente alguma dor ou desconforto ao realizar suas ATIVIDADES DIÁRIAS?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>



89

Avalie questões baseando-se em como se sente no último mês:

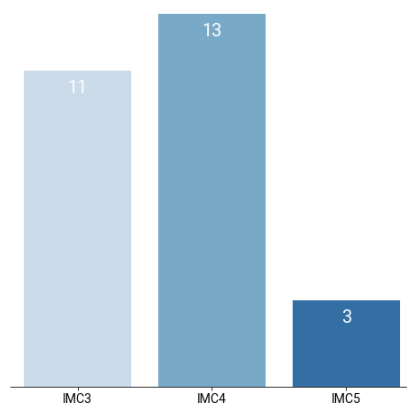
	Muito frequentemente	Frequentemente	Algumas vezes	Quase nunca	Nunca
Perde muito sono por conta de preocupação?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sente-se sob tensão?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Consegue se concentrar no que está fazendo?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Consegue desempenhar efetivamente as tarefas diárias?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ao se deparar com problemas, consegue solucioná-los de maneira efetiva?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tem dificuldades em tomar decisões no seu cotidiano?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sente-se como se não pudesse superar as dificuldades?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sente-se razoavelmente feliz, considerando tudo?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Consegue aproveitar as atividades diárias?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sente-se infeliz ou deprimido?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sente-se perdendo a confiança em si mesmo?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pensa em si mesmo como uma pessoa sem valor?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

This content is neither created nor endorsed by Microsoft. The data you submit will be sent to the form owner.

 Microsoft Forms

## APÊNDICE B – ESTADO DE SAÚDE FÍSICA E MENTAL

Número de entrevistados por faixa de IMC



Fonte: A autora (2021)

Quantidade de entrevistados por frequência de dor ao caminhar

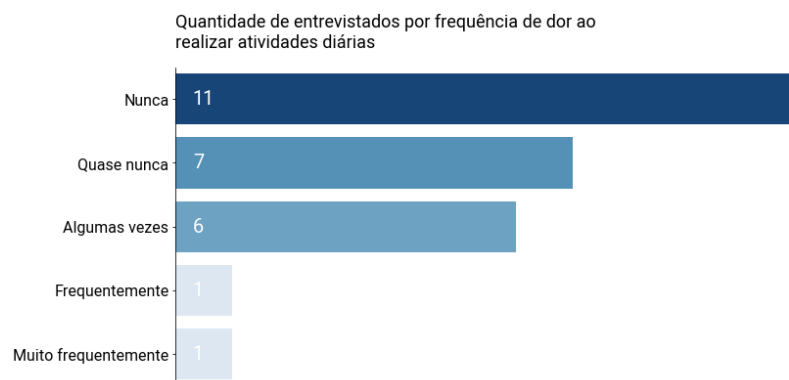


Fonte: A autora (2021)

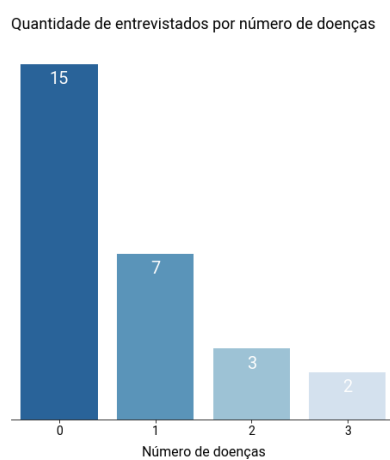
Quantidade de entrevistados por frequência de dor ao tomar banho ou se vestir



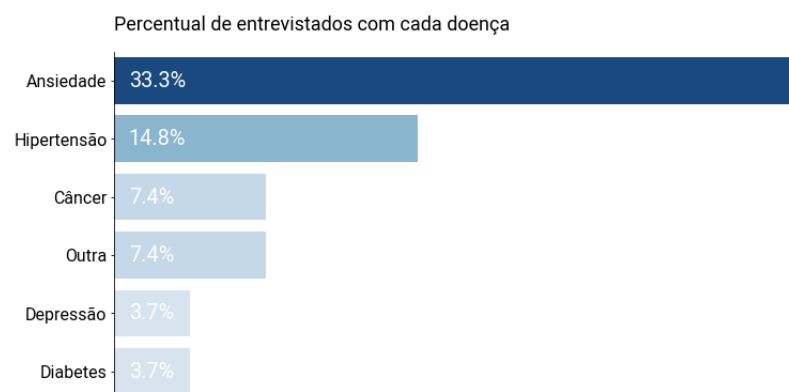
Fonte: A autora (2021)



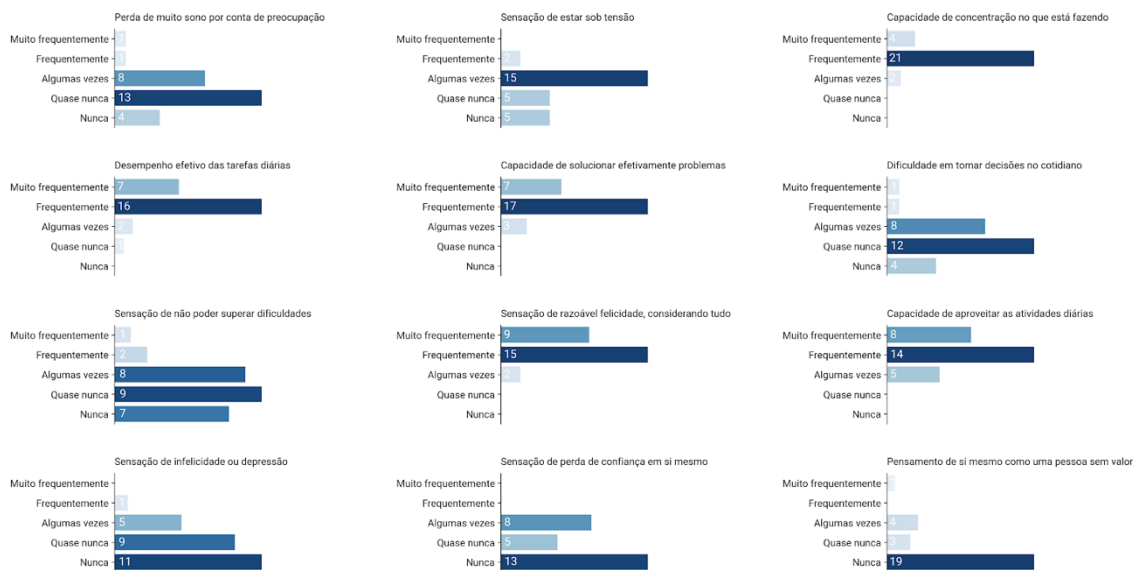
Fonte: A autora (2021)



Fonte: A autora (2021)



Fonte: A autora (2021)



Fonte: A autora (2021)