

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
FACULDADE DE ENGENHARIA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTE CONSTRUÍDO**

**Tuanny Cristinny da Cunha Guimarães**

**Iluminação integrativa em ambientes residenciais:** análise de projetos considerando os efeitos da iluminação natural e artificial no ciclo circadiano e conforto dos usuários

Juiz de Fora

2025

**Tuanny Cristinny da Cunha Guimarães**

**Iluminação integrativa em ambientes residenciais:** análise de projetos considerando os efeitos da iluminação natural e artificial no ciclo circadiano e conforto dos usuários

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ambiente Construído. Área de concentração: Ambiente Construído.

Orientador: Professor Doutor Cristiano Gomes Casagrande

Coorientador: Professor Doutor Marcos Martins Borges

Juiz de Fora  
2025

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

da Cunha Guimarães, Tuanny Cristinny .

Iluminação integrativa em ambientes residenciais : análise de projetos considerando os efeitos da iluminação natural e artificial no ciclo circadiano e conforto dos usuários / Tuanny Cristinny da Cunha Guimarães. -- 2025.

89 p.

Orientador: Cristiano Gomes Casagrande

Coorientador: Marcos Martins Borges

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído, 2025.

1. Iluminação integrativa. 2. Ciclo circadiano. 3. Iluminação residencial. I. Gomes Casagrande, Cristiano, orient. II. Martins Borges, Marcos, coorient. III. Título.

## TUANNY CRISTINNY DA CUNHA GUIMARÃES

Iluminação integrativa em ambientes residenciais: análise de projetos considerando os efeitos da iluminação natural e artificial no ciclo circadiano e conforto dos usuários

Dissertação apresentada ao PPG Ambiente Construído, ou Programa da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ambiente Construído. Área de concentração: Ambiente Construído

Aprovada em 26 de setembro de 2025.

### BANCA EXAMINADORA

Prof Dr Cristiano Gomes Casagrande- Orientador  
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof Dr Marcos Martins Borges - Coorientador  
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof(a) Dr(a )Tatiana Tavares Rodriguez - Membro Interno  
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof(a) Dr(a) Eugênia Cristina Müller Giancoli - Membro Externo  
Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Juiz de Fora, 19/11/2025.



Documento assinado eletronicamente por **Eugênia Cristina Müller Giancoli Jabour, Usuário Externo**, em 19/11/2025, às 11:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Cristiano Gomes Casagrande, Professor(a)**, em 27/11/2025, às 11:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Tatiana Tavares Rodriguez, Professor(a)**, em 08/12/2025, às 16:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marcos Martins Borges, Professor(a)**, em 09/12/2025, às 10:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf ([www2.ufjf.br/SEI](http://www2.ufjf.br/SEI)) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **2754595** e o código CRC **EC6AEDD7**.

À minha família, que é a base sólida e o alicerce fundamental em todas as etapas da minha vida.

## AGRADECIMENTOS

Com imensa gratidão, dedico este momento a reconhecer as pessoas que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização desta dissertação. Este momento é uma oportunidade de expressar meu apreço pelo apoio, incentivo e companheirismo que foram essenciais ao longo de toda essa jornada. Sem essas presenças valiosas, a concretização deste trabalho teria sido muito mais desafiadora. Em primeiro lugar, irei sempre agradecer a Deus. Agradeço pelas bênçãos recebidas em todas as etapas da minha jornada, por renovar minha fé e me mostrar todos os dias meu propósito de vida. Agradeço também, por me abençoar com a família e amigos que fizeram parte desta trajetória tão importante.

Minha gratidão eterna à minha mãe, Cleide, e à minha irmã, Kauanny, por estarem sempre ao meu lado, me apoiando incondicionalmente e me lembrando diariamente da minha força e capacidade. Agradeço por todo o amor que me dedicam — expresso em palavras de encorajamento, gestos de carinho, apoio constante e por celebrarem comigo cada uma das minhas conquistas.

Ao Dhiogo, meu parceiro de vida, sou profundamente grata por todo o apoio durante este processo, pelo incentivo até alcançarmos esta reta final e pelo desejo constante de me ver prosperar. Agradeço sua dedicação, cuidado e amor diários, que me fortalecem a cada passo. Obrigada por caminhar comigo, tornando essa jornada mais leve e significativa.

À minha grande amiga Amanda, minha profunda gratidão por toda a parceria sincera e por ser como uma irmã ao longo da minha caminhada. Sou imensamente grata pelo suporte profissional nos momentos em que precisei me ausentar para me dedicar a este projeto e, acima de tudo, pelo apoio emocional constante. É uma alegria imensa poder contar com uma amiga que celebra comigo cada conquista, como se fosse sua.

Ao professor e orientador, Dr. Cristiano Gomes Casagrande, expresso minha sincera gratidão pela dedicação, atenção e constante disponibilidade em compartilhar seu conhecimento. Seu acompanhamento foi essencial para a construção deste estudo, que busca contribuir com melhorias significativas no espaço construído e na qualidade de vida de seus usuários.

Ao professor e coorientador, Dr. Marcos Martins Borges, e à professora Dra. Tatiana Tavares Rodriguez e Dra. Juliana Mara Batista Menezes Hybiner, convidadas da banca de defesa, expresso meu profundo agradecimento por compartilharem seus conhecimentos de maneira generosa e incentivadora. Suas contribuições ampliaram minha perspectiva e enriqueceram significativamente meu aprendizado ao longo deste processo.

Aos meus colegas de turma do PROAC, Ana Carolina Caldas Rodrigues, Felipe Duarte Moreira e Liziê Froeder Neves, minha sincera gratidão pela valiosa troca de conhecimentos, pelo aprendizado conjunto, pelas parcerias ao longo dos estudos e por compartilharmos, com empatia, as alegrias e os desafios desse percurso. À Ana, agradeço especialmente pela amizade e pelo carinho que ultrapassaram os limites da vida acadêmica e se tornaram parte importante da minha caminhada.

A todos que contribuíram, de alguma forma, para que esse momento acontecesse, minha sincera gratidão.

No atual estado da arte, o grande desafio no desenvolvimento dos projetos é o atendimento às exigências psicológicas e, principalmente, fisiológicas, não contempladas nas normas técnicas, que via de regra demoram a ser revistas e atualizadas com a incorporação de novos conhecimentos e que estão ainda quase que exclusivamente limitadas aos aspectos relacionados à eficiência energética. (Martau, 2009, p.28)

## **RESUMO**

Este estudo analisa como a iluminação natural e artificial, aplicada em projetos arquitetônicos residenciais, pode impactar diretamente a saúde dos ocupantes. A pesquisa enfatiza de que forma uma abordagem integrativa de iluminação em ambientes internos contribui para o conforto visual e para a regulação do ciclo circadiano, influenciando positivamente o bem-estar dos usuários. Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo investigar soluções eficientes de iluminação integrativa para ambientes residenciais, fundamentadas nas premissas do Diagrama Morfológico — ferramenta de análise voltada para o aproveitamento da luz natural — e na Planilha de Lucas, com ênfase na avaliação do desempenho das lâmpadas, da iluminação artificial e no bem-estar dos usuários. Foi empregada na condução desta pesquisa a metodologia *Design Science Research*, aplicando a revisão bibliográfica e documental, a fim de compreender os conceitos de projeto arquitetônico bem como os conceitos da iluminação natural e artificial e sua relação com o ciclo circadiano e o bem-estar do indivíduo. A segunda etapa envolve a análise de um ambiente residencial, avaliando sua condição atual sob a ótica dos impactos da iluminação natural e artificial, com base na compreensão dos conceitos abordados. A contribuição desta pesquisa consiste em analisar o uso de ferramentas de avaliação de iluminação natural que auxiliem os profissionais na otimização da iluminação integrativa, com o objetivo de preservar o ritmo biológico humano.

Palavras-chave: Iluminação integrativa. Ciclo circadiano. Iluminação residencial.

## **ABSTRACT**

This study analyzes how natural and artificial lighting, applied in residential architectural projects, can directly impact the health of occupants. The research emphasizes how an integrative approach to indoor lighting contributes to visual comfort and circadian cycle regulation, positively influencing the well-being of users. The aim of this study is to investigate efficient integrative lighting solutions for residential environments, based on the premises of the Morphological Diagram - an analysis tool aimed at harnessing natural light - and the Lucas Toobox, with an emphasis on evaluating the performance of lamps, artificial lighting and the well-being of users. The Design Science Research methodology was used to conduct this research, applying a bibliographic and documentary review in order to understand the concepts of architectural design as well as the concepts of natural and artificial lighting and their relationship with the circadian cycle and the well-being of the individual. The second stage involves analyzing a residential environment, assessing its current condition from the perspective of the impacts of natural and artificial lighting, based on an understanding of the concepts discussed. The contribution of this research consists of analyzing the use of natural lighting assessment tools that assist professionals in optimizing integrative lighting, with the aim of preserving the human biological rhythm.

**Keywords:** Integrative lighting. Circadian cycle. Residential lighting.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 — Estrutura ocular - Conexão das células ganglionares ao nervo óptico ...	22
Figura 2 — Sistema endócrino e sua relação com o período do dia.....	24
Figura 3 — Diretrizes de iluminação recomendadas pela NBR 8995-1 .....	31
Figura 4 — Visão geral da Planilha de Lucas .....	34
Figura 5 — Planilha de Lucas – Seção 1.....	35
Figura 6 — Distribuição espectral da lâmpada bulbo LED Philips 3.000K de 13W....	36
Figura 7 — Planilha de Lucas – Seção 2.....	36
Figura 8 — Planilha de Lucas – Seção 3.....	37
Figura 9 — Planilha de Lucas – Seção 4.....	37
Figura 10 — Planilha de Lucas – Seção 5.....	38
Figura 11 — Mapa de localização da cidade de Santo André – SP.....	47
Figura 12 — Fachada do edifício objeto de estudo: Faces Norte, Leste, Sul e Oeste respectivamente .....	47
Figura 13 — Carta Solar para Santo André - SP .....	50
Figura 14 — Entorno do edifício objeto de estudo – Bairro Campestre.....	51
Figura 15 — Fotos do ambiente analisado .....	52
Figura 16 — Planta baixa do apartamento e Corte do ambiente analisado .....	52
Figura 17 — Desenho urbano caracterizado por pequenos quarteirões irregulares .	53
Figura 18 — Refletância e especularidades das fachadas.....	54
Figura 19 — Ângulo máximo de incidência do sol nas fachadas do edifício .....	54
Figura 20 — Planta baixa do edifício .....	56
Figura 21 — Posição do coletor de luz, área do coletor de luz, forma do coletor de luz, controle de entrada de luz e controle de ventilação natural.....	58
Figura 22 — Controle e integração da iluminação artificial – On/Off manual .....	58
Figura 23 — Fonte de luz 1 do ambiente: Painel de sobrepor quadrado com temperatura de 6.500K.....	62
Figura 24 — Fonte de luz 2 do ambiente: Luminária pendente com três lâmpadas com temperatura de 2.200K .....	63
Figura 24 — Preenchimento dos dados da fonte de luz 1 para análise .....	64
Figura 25 — Preenchimento dos dados da fonte de luz 2 – Lâmpada 1 .....	69
Figura 26 — Preenchimento dos dados da fonte de luz 2 – Lâmpada 2 .....	69
Figura 27 — Preenchimento dos dados da fonte de luz 2 – Lâmpada 3 .....	70

Figura 28 — Gráficos de Iluminância efetiva para fotopigmentos humanos das três lâmpadas da Fonte de Luz .....	72
 Gráfico 1 — Distribuição da potência espectral .....	39
Gráfico 2 — Iluminância efetiva para o fotopigmento humano.....	39
Gráfico 3 — Curvas de sensibilidade normalizadas por probabilidade .....	39
Gráfico 4 — Distribuição da potência espectral referente à lâmpada bulbo LED Philips de 3.000K e 13W de potência, lâmpada bulbo LED Philips 6.500K e 13W de potência.....	42
Gráfico 5 — Gráfico comparativo de temperatura média (°C) para a cidade de São Paulo e região metropolitana.....	48
Gráfico 6 — Gráfico comparativo de precipitação acumulada (mm) para a cidade de São Paulo e região metropolitana .....	49
Gráfico 7 — Distribuição da potência espectral referente à fonte de luz 1 com temperatura de cor de 6.500K .....	65
Gráfico 8 — Iluminância efetiva para fotopigmentos humanos referente à fonte de luz 1 com temperatura de cor de 6.500K .....	66
Gráfico 9 — Distribuição espectral de potência das três lâmpadas da Fonte de Luz 2 .....	71
 Quadro 1 — Nível, Parâmetros e Variáveis do Diagrama Morfológico .....	43
Quadro 2 — Classificação de parâmetros e variáveis no Nível I – Espaço Urbano... <td>53</td>	53
Quadro 3 — Classificação de parâmetros e variáveis no Nível II – Edifício .....	55
Quadro 4 — Classificação de parâmetros e variáveis no Nível III – Ambiente Interno .....	57

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CIE	Commission Internationale de l'Éclairage (Comissão Internacional de Iluminação)
NBR	Norma Brasileira
DSR	Design Science Research
NSQ	Núcleo Supraquiasmático
ipRGCs	Células Ganglionárias Retinais Intrinsicamente Fotossensíveis
a.C.	Antes de Cristo
lm	Lúmen
cd	Candela
lx	Lux
ISO	International Organization for Standardization (Organização Internacional para Padrões)
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
VDT	Visual display terminals
UGRL	Unified Glare Rating Limit (Índice Limite de Ofuscamento Unificado)
Ra	Reprodução de Cor Mínimo
EML	Equivalent Melanopic Lux (Lux Melanópico Equivalente)
M/P	Melanopic/Photopic Ratio (Razão Melanópica/Fotópica)
LED	Light Emitting Diode (Diodo Emissor de Luz)
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
α-opic	Iluminância Efetiva

## **LISTA DE SÍMBOLOS**

$\lambda$       Lambda

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	13
1.2	OBJETIVOS .....	17
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivos Gerais.....</b>	<b>17</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>17</b>
1.3	MATERIAIS E MÉTODOS .....	18
1.4	ESTRUTURA .....	19
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>20</b>
2.1	FISIOLOGIA DO OLHO HUMANO E PERCEPÇÃO DA LUZ.....	20
2.2	SISTEMA NÃO VISUAL.....	21
2.3	CICLO CIRCADIANO.....	23
2.4	ILUMINAÇÃO NATURAL E ARQUITETURA .....	25
2.5	ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL E ARQUITETURA.....	29
2.6	AVALIAÇÃO DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL COM BASE NA PLANILHA DE LUCAS .....	33
2.7	DIAGRAMA MORFOLÓGICO COMO INSTRUMENTO PROJETUAL DE OTIMIZAÇÃO DA LUZ NATURAL .....	42
<b>3</b>	<b>APLICAÇÃO DO ESTUDO NA ANÁLISE DA ILUMINAÇÃO INTEGRATIVA DE UMA RESIDÊNCIA .....</b>	<b>45</b>
3.1	OBJETO DE ESTUDO: EDIFÍCIO RESIDENCIAL EM SANTO ANDRÉ – SP (CONDOMÍNIO VERSATILE).....	45
3.2	ANÁLISE ACERCA DA ILUMINAÇÃO NATURAL SEGUNDO O DIAGRAMA MORFOLÓGICO.....	46
<b>3.2.1</b>	<b>Características da Edificação.....</b>	<b>46</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Condições Climáticas Locais.....</b>	<b>48</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Implantação do Edifício .....</b>	<b>50</b>
<b>3.2.4</b>	<b>Representações Gráficas do Ambiente .....</b>	<b>51</b>
<b>3.2.5</b>	<b>Aplicação dos Dados .....</b>	<b>52</b>
<b>3.2.6</b>	<b>Análises dos Resultados.....</b>	<b>55</b>
3.3	ANÁLISE ACERCA DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL SEGUNDO A PLANILHA DE LUCAS.....	56

3.3.1	Levantamento das Informações do Local.....	56
3.3.2	Aplicação dos Dados .....	59
3.3.3	Resultados Obtidos na Análise da Fonte de Luz 1 .....	59
3.3.4	Análises dos Resultados.....	63
3.3.5	Resultados Obtidos na Análise da Fonte de Luz 2.....	64
3.3.6	Análises dos Resultados.....	69
4	<b>CONCLUSÃO .....</b>	70
4.1	LIMITAÇÕES DO MÉTODO .....	72
4.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	72
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	73
	<b>ANEXO A.....</b>	80

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O projeto de arquitetura, no geral, tem o objetivo de oferecer ao usuário condições satisfatórias de conforto e bem-estar. Apesar de um objetivo comum, os projetos arquitetônicos não seguem uma equação matemática na qual é possível atender às necessidades de todo e qualquer usuário. O processo técnico-construtivo na arquitetura precisa ser pensado para atender não só as especificidades do indivíduo, como também, se adequar às diversidades climáticas, requisitos funcionais, estéticos, econômico, entre outros. Há alguns anos, o atendimento às exigências psicológicas e fisiológicas vem sendo o grande desafio dos projetos (Martau, 2009).

Mallgrave (2013) se manifesta a respeito do tema que vem norteando a arquitetura, que é o foco aos ocupantes do espaço, a forma como eles percebem, sentem, respondem e desfrutam a arquitetura. Os elementos da arquitetura são capazes de interagir diretamente com o cérebro, ativando emoções, sensações e até mesmo definindo ações do indivíduo. Para ilustrar de forma mais aprofundada essa relação, Mallgrave (2013) apresenta duas descobertas importantes para os projetistas. A primeira é caracterizada pela compreensão das emoções no sentido biológico, no qual é possível definir a emoção como “um sistema evoluído de valores (valências) através do qual os seres humanos, tal como todos os animais, absorvem e avaliam as condições do ambiente” (Mallgrave, 2013, p. 13). O autor enfatiza que as emoções podem ser detectadas por meio da tecnologia de neuroimagem, que revela como o cérebro reage às diferentes situações. A segunda descoberta mencionada por Mallgrave (2013) está relacionada aos neurônios-espelho, compreendidos como “modelos neurais de ação em algumas áreas específicas do cérebro que disparam em resposta a estímulos perceptivos” (Mallgrave, 2013, p. 13). Segundo o autor, estes são responsáveis pelo que alguns cientistas chamam de *embodied simulation* (simulação incorporada), na qual é possível ler o estado emocional de outra pessoa a partir de pequenos gestos, simular ações e as intenções por trás destas e, principalmente, para o propósito desta pesquisa, animar ambientes físicos inanimados quando entramos em contato com ele. Dessa forma, é possível entender as relações do indivíduo com o ambiente físico envolvido e obter informações importantes acerca

de como o ser humano reage aos espaços, formas, escalas, materiais e condições de iluminação específicas (Mallgrave, 2013).

Pode-se considerar três caminhos para a análise do desempenho humano em relação a iluminação, homem e arquitetura: o visual; o perceptivo; e, o circadiano (Boyce, 2004). Dentre eles, admite-se que o sistema visual já é um conhecimento consolidado, com base nas pesquisas apresentadas com precisão por Rea e Ouellette (1991), na qual apresentam a pesquisa sobre iluminação e visão na qual busca-se criar uma técnica capaz de avaliar o desempenho visual em ambientes reais, como escritórios, escolas e estradas, usando critérios diretamente relacionados ao sistema visual, e não apenas medidas intermediárias, como o nível de iluminação. A Comissão Internacional de Iluminação (CIE), estabelecido no Brasil em 2002, também reforça a consolidação desses estudos sobre sistema visual, sendo uma organização independente e sem fins lucrativos, criada em 1913 para unificar os critérios de medição de iluminação e expandir a pesquisa para áreas como iluminação elétrica, visão, luz e colorimetria (GOV, 2023).

O mesmo acontece com o sistema perceptivo, tema que vem sendo objeto de estudo por diversas áreas há alguns anos. Berman (1975) apresenta alguns conceitos relacionados à percepção e sua importância em todas as funções humanas. Segundo a autora, a literatura frequentemente associa a percepção a outras funções humanas, como pensar, comunicar, avaliar e se relacionar com a realidade. Esses processos fazem parte da percepção, e autores destacam que a forma como percebemos pode impactar nossa atuação em diferentes áreas da vida (Berman, 1975). No contexto da iluminação, os estudos sobre percepção envolvem a forma como os fatores luminosos, como intensidade, direção e distribuição da luz, influenciam a forma como percebemos o ambiente. As condições de iluminação que podem causar desconforto, como ofuscamento, reflexos, sombras e cintilação já são conhecidas e podem ser produzidas ou eliminadas pelo projetista (Boyce, 2004). Em pesquisa publicada por Rennhackkamp (1964), nota-se uma busca pelo entendimento da relação da iluminação na execução de tarefas pelos indivíduos, na qual o autor afirma que “quanto melhores as condições de iluminação, mais fácil e mais rápida a tarefa será realizada” (Rennhackkamp, 1964, p. 1). O estudo apresentado por Rennhackkamp (1964), aborda ainda conceitos e terminologias de iluminação, como: Campo Visual, Iluminação ou Luz, Intensidade da Luz, Fator de Céu e Luz do Dia, Fator de Reflexão,

Luminância ou Brilho, Taxa de Luminância, Contraste de Luminosidade e Brilho, com o objetivo de elucidar o que são esses conceitos para que sejam aplicados de forma adequada nos ambientes.

A riqueza de compreensão desses temas deve-se ao fato de já serem objetos de estudo há muitos anos através de pesquisas de iluminação de interiores. Em contrapartida, o sistema circadiano se apresenta pouco dotado de conhecimento no que diz respeito a como as condições de iluminação se comunicam do sistema perceptivo para o sistema circadiano (Boyce, 2004).

O acesso à iluminação natural tanto nas residências quanto em locais de trabalho pode trazer benefícios como a melhora da saúde psicológica dos usuários e produtividade (Peng Xue; Mak; Cheung, 2014). Ainda segundo os autores, “o aumento da consciência em relação ao conforto despertou a atenção das pessoas para suas condições de vida, como conforto térmico, conforto acústico, bem como conforto luminoso” (Peng Xue; Mak; Cheung, 2014, p. 51).

Segundo Boyce (2004), é válido investir em estudos relacionados à iluminação, pois a mesma tem influenciado os fundamentos da vida humana, e por mais que as pessoas não estejam interessadas diretamente no assunto iluminação, elas estão interessadas no que ela pode fazer por sua saúde, segurança e riqueza, que são esses os fundamentos supracitados.

A respeito dessa relação, pode-se destacar o ciclo circadiano. Como afirmam Markus, Junior e Ferreira (2003), esse sistema, também conhecido como ritmo biológico, é principalmente orientado pela alternância do ciclo claro-escuro diário, sendo responsável por regular processos como sono, alimentação, temperatura corporal e liberação de hormônios. O excesso de estímulos luminosos, porém, apesar de proporcionar a realização de atividades noturnas de lazer ou trabalho, pode prejudicar o funcionamento adequado do ritmo circadiano. Hidalgo apud Corrêa (2017) afirmam que o desequilíbrio desses hábitos afeta diretamente esse ritmo do corpo, pois culmina na liberação de proteínas e hormônios de forma errada, resultando em transtornos como depressão, diabetes e obesidade.

Apesar de ser um assunto discutido há muito tempo, foi a partir dos anos 2000 que a iluminação ganhou as primeiras publicações que tratavam esse tema de forma mais sistematizada (IESNA, 2000; IESNA, 2001). As diretrizes sugerem ferramentas e uma estrutura que possibilita avaliar ambientes e projetos de iluminação levando-se

em consideração os aspectos relacionados aos estímulos visuais e até mesmo os não-visuais. Os autores Wang, Wei e Ruan (2020, n.p.) afirmam que “na comunidade científica, é sempre desejado correlacionar diferentes medidas objetivas a respostas subjetivas”. Portanto, a análise dessas informações possibilita o melhor entendimento sobre como as avaliações subjetivas sobre o ambiente luminoso da luz do dia são afetadas por características distintas, bem como auxilia no desenvolvimento de medidas e critérios para elaboração de projetos de construção (Wang; Wei; Ruan, 2020).

A iluminação natural, utilizada de forma direta ou difusa, tornou-se um aspecto fundamental para atingir uma maior qualidade dos espaços (Amorim, 2007). Segundo Souza (2005), é necessário analisar diversos fatores na hora de projetar para iluminar naturalmente ambientes. A utilização adequada da iluminação natural é capaz ainda de proporcionar mais bem-estar aos usuários, tornar o ambiente mais produtivo, agradável e com formas e cores mais definidas (Cintra, 2011). Para promover uma integração eficaz entre arquitetura e iluminação, tanto natural quanto artificial, existem algumas ferramentas que podem auxiliar os profissionais projetistas nesse processo.

O Diagrama Morfológico, por exemplo, é uma ferramenta de análise utilizada para explorar soluções de projetos relacionados à luz natural que pode ser utilizado tanto para a concepção de um projeto quanto para análise e adequações de edificações existente (Amorim, 2007). Para apoiar os profissionais, algumas normas brasileiras de iluminação têm se adaptado para refletir melhor a realidade cotidiana da população em relação ao uso da luz artificial, priorizando também o bem-estar.

A publicação da NBR 15.215 em 2005 deu início a uma série de diretrizes inovadoras que envolviam conforto térmico e iluminação natural das construções, já que anteriormente, o Brasil só contava com código de obras para nortear áreas de ventilação e iluminação para construções (Casagrande *et al.*, 2024). Em 2022, a norma iniciou um processo de atualização que incorporou, entre outros aspectos, a relação entre a iluminação artificial e o bem-estar dos usuários, com destaque para o ciclo circadiano, oferecendo ferramentas de análise qualitativas referentes às preferências humanas. Uma dessas ferramentas, recebe o nome de Planilha de Lucas ou *Irradiance Toolbox*, que trata de um método utilizado para quantificar a intensidade da luz percebida pela melanopsina e por demais fotorreceptores (Neves, 2024), e cujo propósito é estimar a iluminância efetiva correspondente

a cada um dos cinco fotopigmentos presentes no olho humano, tendo como base a distribuição espectral de potência (Lucas, 2013).

Com base nessas informações, a aplicação integrada do Diagrama Morfológico (Amorim, 2007) e da Planilha de Lucas (Lucas, 2013) em um ambiente residencial existente tem o potencial de gerar melhorias significativas no bem-estar dos usuários, refletidas em alterações positivas nos indicadores do ciclo circadiano, como qualidade do sono, níveis de melatonina e tempo de exposição à luz adequada.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 OBJETIVOS GERAIS

O objetivo geral desta pesquisa é analisar se a aplicação integrada do Diagrama Morfológico e da Planilha de Lucas em um ambiente residencial existente pode otimizar a iluminação integrativa, promovendo melhorias no bem-estar dos usuários e impactos positivos nos indicadores do ciclo circadiano.

### 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A pesquisa tem como objetivos específicos:

1. Compreender, através de revisão bibliográfica da literatura, a dinâmica das atividades visuais e não visuais, esta última classificada como iluminação circadiana, do ser humano;
2. Analisar o método da Planilha de Lucas (Lucas, 2013) para quantificar a intensidade da luz percebida pela melanopsina e por outros fotorreceptores;
3. Compreender o Diagrama Morfológico (Amorim, 2007) e seu potencial como ferramenta de apoio na análise da iluminação natural em ambientes residenciais, visando o aprimoramento da qualidade espacial e a promoção do bem-estar dos usuários;
4. Aplicar os métodos abordados neste estudo — a Planilha de Lucas para a iluminação artificial e o Diagrama Morfológico para a iluminação natural — em uma residência, com o objetivo de identificar acertos e possíveis melhorias,

estabelecendo uma base de análise para o desenvolvimento de uma iluminação integrativa aplicável a outras residências.

### 1.3 MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa adota como abordagem metodológica o Design Science Research (DSR), conforme estruturado por Hevner *et al.* (2004). Essa metodologia é especialmente adequada para investigações que visam desenvolver soluções práticas com base científica, por meio da criação e avaliação de artefatos inovadores.

Seguindo as premissas do DSR, a pesquisa parte de um problema relevante, identificado na carência de abordagens projetuais que integrem luz natural e artificial de maneira a respeitar os ritmos biológicos dos usuários em ambientes residenciais. Este estudo foi estruturado em duas etapas principais. A primeira consiste em uma pesquisa bibliográfica e documental, destinada a aprofundar os conceitos fundamentais dos temas abordados, bem como a ampliar o entendimento sobre os métodos utilizados. Nessa fase, busca-se compreender os princípios de projeto arquitetônico, as métricas e fundamentos da iluminação natural e artificial e sua relação com o ciclo circadiano e o bem-estar dos indivíduos. Primeiramente, optou-se por pesquisar os impactos da arquitetura no bem-estar dos usuários. Posteriormente, um estudo aprofundado sobre o funcionamento do ciclo circadiano evidenciou como a luz pode influenciar positiva e negativamente o corpo humano. Com base nessas premissas, foi realizada uma pesquisa sobre iluminação natural e artificial, com ênfase na sua aplicação em ambientes residenciais.

Esta pesquisa tem como objetivo abordar a iluminação natural sob a perspectiva de sua aplicação em projetos arquitetônicos, destacando seus benefícios para a saúde e o bem-estar dos usuários de edificações residenciais. Assim, não serão contemplados cálculos e avaliações quantitativas relacionados à iluminação natural. A partir disso, propõe-se a análise e aplicação dos métodos em um estudo de caso, composto pela integração do Diagrama Morfológico (Amorim, 2007) — voltado à análise da iluminação natural — e da Planilha de Lucas (Lucas, 2013) — focada na avaliação da luz artificial sob a ótica do sistema circadiano.

A construção desse artefato baseia-se em fundamentação teórica rigorosa, envolvendo conceitos de cronobiologia, arquitetura e tecnologia da iluminação.

A avaliação do artefato ocorre por meio da comparação entre as condições de iluminação existentes e os parâmetros propostos pelo modelo integrativo, considerando aspectos como temperatura de cor, intensidade luminosa, tempo de exposição e horários de incidência.

A pesquisa busca oferecer uma contribuição científica original ao avaliar um modelo de aplicação integrada, propondo sua utilização como referência replicável para otimizar a iluminação integrativa em projetos residenciais futuros. Por fim, os resultados são comunicados de forma clara e objetiva tanto ao meio acadêmico quanto aos profissionais das áreas de arquitetura, design e engenharia, permitindo ampla aplicabilidade prática e teórica.

#### 1.4 ESTRUTURA

Este trabalho está dividido em **quatro** capítulos. O **primeiro capítulo** apresenta a introdução, onde são explicados a justificativa do estudo proposto, objetivo geral e objetivos específicos da pesquisa, a metodologia, descrevendo as etapas utilizadas para a construção deste estudo, como o aprofundamento dos temas relevantes ao estudo, aliado à aplicação prática das teorias e à organização estrutural da pesquisa. O **segundo capítulo** apresenta a Fundamentação Teórica, abordando os seguintes temas: fisiologia do olho humano e percepção da luz; sistema não visual; ciclo circadiano; iluminação natural e sua relação com a arquitetura; NBR 15.215 – Iluminação Natural; iluminação artificial e arquitetura; e o Diagrama Morfológico como instrumento projetual para otimização da luz natural. No **terceiro capítulo**, é apresentada a aplicação prática dos fundamentos teóricos por meio de um estudo de caso em uma residência, utilizando-se dois métodos complementares: o Diagrama Morfológico, com o objetivo de analisar os impactos da iluminação natural no ambiente, e a Planilha de Lucas, empregada para avaliar os efeitos da iluminação artificial sobre o ciclo circadiano dos usuários. O **quarto capítulo** apresenta as conclusões obtidas através da aplicação do estudo.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 FISIOLOGIA DO OLHO HUMANO E PERCEPÇÃO DA LUZ

A captação da luz que chega até a retina é realizada por células chamadas fotorreceptoras. Estas células são responsáveis por enviar impulsos nervosos ao cérebro, fornecendo as informações necessárias para o reconhecimento das imagens, respostas visuais e não visuais. Em termos gerais, “a luz visível pode ser definida como sendo a radiação eletromagnética que pode ser percebida pelo olho humano, dando origem ao sentido da visão” (Santos; Pereira, 2013, p. 2314).

O sistema visual humano opera como um complexo mecanismo de captura e processamento de imagens. O olho detecta a radiação visível e converte-a em sinais enviados pelo nervo óptico ao cérebro, que interpreta os estímulos visuais. A pupila regula a entrada de luz para o interior do olho, até que ela atinja a retina, onde a imagem é formada. Na retina, estão localizadas células sensíveis à luz, chamadas de cones e bastonetes (Casagrande et al., 2019). “Os cones estão associados com a visão diurna, colorida, e com a percepção dos detalhes finos, enquanto os bastonetes localizam-se na periferia do campo visual e estão associados à visão noturna” (Candura, 2003, p. 48-49). A interação entre cones e bastonetes varia conforme a luminância do ambiente, resultando em diferentes respostas espetrais. Essas respostas caracterizam três tipos de visão: fotópica (predominância dos cones, em alta luminosidade), escotópica (predominância dos bastonetes, em baixa luminosidade) e mesópica (condição intermediária, com estímulo simultâneo de cones e bastonetes). Os cones predominam em ambientes com alto nível de iluminação - luminância superior a três candelas por metro quadrado ( $cd/m^2$ ), o que permite que as cores sejam mais definidas (Casagrande et al., 2019). Já os bastonetes, encontrados ao redor dos cones, e com uma quantidade significativamente maior em comparação com estes, atuam em ambientes com luminância abaixo de  $0,01 cd/m^2$ , onde a pupila dilata-se consideravelmente e a imagem é projetada em uma área muito maior da retina (Casagrande et al., 2019). Sendo assim, pode-se considerar que os cones estão associados à visão diurna e são mais receptivos à luz verde no comprimento de onda de 508 nanômetros, e os bastonetes associados à visão noturna, são mais receptivos à luz azul-verde em 555 nanômetros (Candura, 2003).

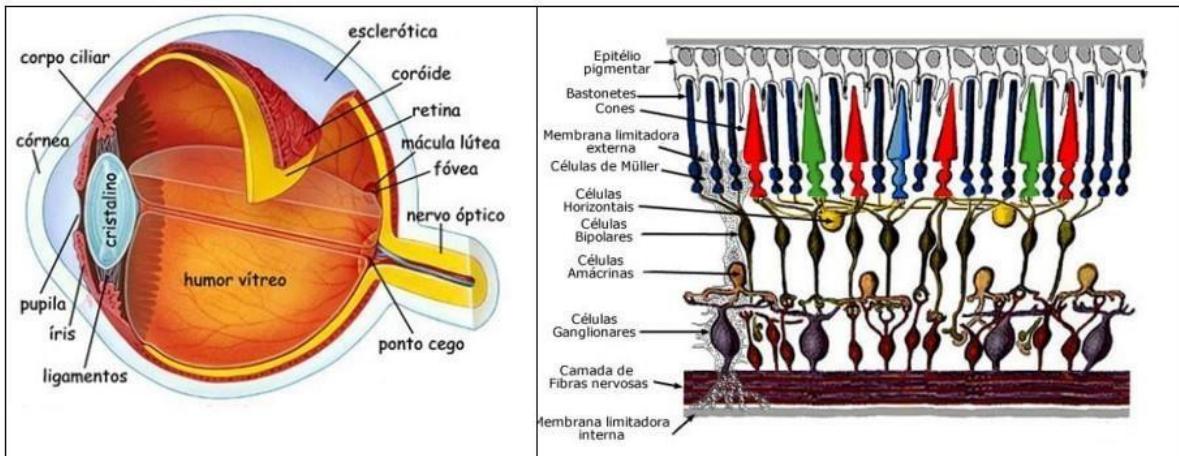
Pode-se afirmar que nos mamíferos o olho tem dupla função: detecção da radiação óptica e formação da imagem (visão) e é responsável pela regulação do ciclo circadiano, neuro endocrinológico e neurocomportamental (Santos, 2017). Essa informação destaca a importância deste órgão para o corpo humano, pois, como mencionado anteriormente, ele está diretamente relacionado à regulação das células cerebrais que controlam a produção de hormônios.

## 2.2 SISTEMA NÃO VISUAL

O sistema não visual humano refere-se a um conjunto de vias e mecanismos no corpo humano que respondem à luz, mas não estão diretamente relacionados à visão. Um dos principais componentes desse sistema é a via retino-hipotalâmica, que conecta a retina do olho ao núcleo supraquiasmático (NSQ) do hipotálamo. Esse sistema desempenha um papel vital na regulação de ritmos biológicos e na resposta do corpo à luz, mesmo sem a percepção consciente dela. É responsável pela regulação do ciclo circadiano, realizando a marcação do ciclo dia e noite para diversas áreas do cérebro, incluindo o hipotálamo, a região responsável pela produção de hormônios como a melatonina e a cortisona (Santos, 2017).

No início dos anos 2000, foi identificado um novo tipo de célula fotorreceptora — as células ganglionares retiniais intrinsecamente fotossensíveis (ipRGCs) — responsáveis pela regulação hormonal ligada ao ciclo circadiano (Berson, 2002). Essas células, ilustradas na Figura 1, conectam o nervo óptico ao núcleo supraquiasmático, desempenhando papel fundamental na sincronização do relógio biológico.

Figura 1 — Estrutura ocular - Conexão das células ganglionares ao nervo óptico



Fonte: Santos (2017)

Como afirma Santos (2017, p.28) “a maior ação espectral da radiação visível para as células fotossensíveis está entre 459 e 484 nm (luz azul)”. Isso significa que, quanto mais exposto a essa radiação, maior a produção de cortisol, e quanto menos exposto, maior a produção de melatonina. O cortisol é o hormônio responsável pela ativação do sistema digestivo, cardiovascular e pelo bom estresse. Já a melatonina tem a função de, dentre outras coisas, iniciar o ciclo de repouso do corpo, reduzir a pressão arterial, a temperatura corporal e reduzir a atividade do sistema digestivo (Santos, 2017).

Segundo Van Gelder (2004) e Albrecht (2002), os NSQs funcionam como o relógio biológico, capaz de gerar um ritmo endógeno que pode ser sincronizado por sinais internos ou ambientais, como a luz solar. O mecanismo conhecido como “relógio mestre”, responsável por determinar o ritmo de 24 horas para todos os outros ritmos fisiológicos do organismo através do ciclo claro e escuro, também é encontrado no NSQ (Pace-Schott, 2002).

Sobre as células ganglionares retinianas, responsáveis por iniciar a foto-sincronização do NSQ, Alóe *et al.* (2005, p. 36) afirmam que estas:

possuem receptores de melatonina tipo I (ML-I) e dois fotopigmentos específicos denominados criptocromo e melanopsina, que são responsáveis pela foto-recepção e transdução do estímulo luminoso transmitido via glutamato pelo trato retino-hipotalâmico até o NSQ (Alóe *et al.*, 2005, p. 36).

As células do NSQ são responsáveis por transmitir a informação rítmica fotosincronizada para outros núcleos hipotalâmicos adjacentes. Estes são responsáveis por variações da temperatura do sistema nervoso central, pela periodicidade da secreção hormonal, tendência e duração do ciclo sono-vigília, ingestão alimentar, além da secreção de melatonina (Pace-Schott, 2002). Essa transmissão de informação também pode ocorrer a partir de outros estímulos não-fóticos, através de ritmos sociais, como o horário das refeições, e do estímulo do sistema límbico (Mrosovsky, 2003).

## 2.3 CICLO CIRCADIANO

O ciclo circadiano ou ritmo circadiano pode ser definido de forma sucinta como um “relógio celular”, que a cada período de 24 horas sofre alterações (Gamble *et al.*, 2014). Souza (2021) afirma ainda que o ciclo circadiano pode ser influenciado por fatores como luz, temperatura, marés e ventos durante o dia e a noite. Aprofundando-se em sua relevância, este sistema é reconhecido como responsável por “manter a sincronização entre comportamentos, sistemas fisiológicos e moleculares, controlando expressões de adipocinas, atividades enzimáticas e hormônios responsáveis pelo controle do processo alimentar” (Bernardi *et al.*, 2009, p. 171).

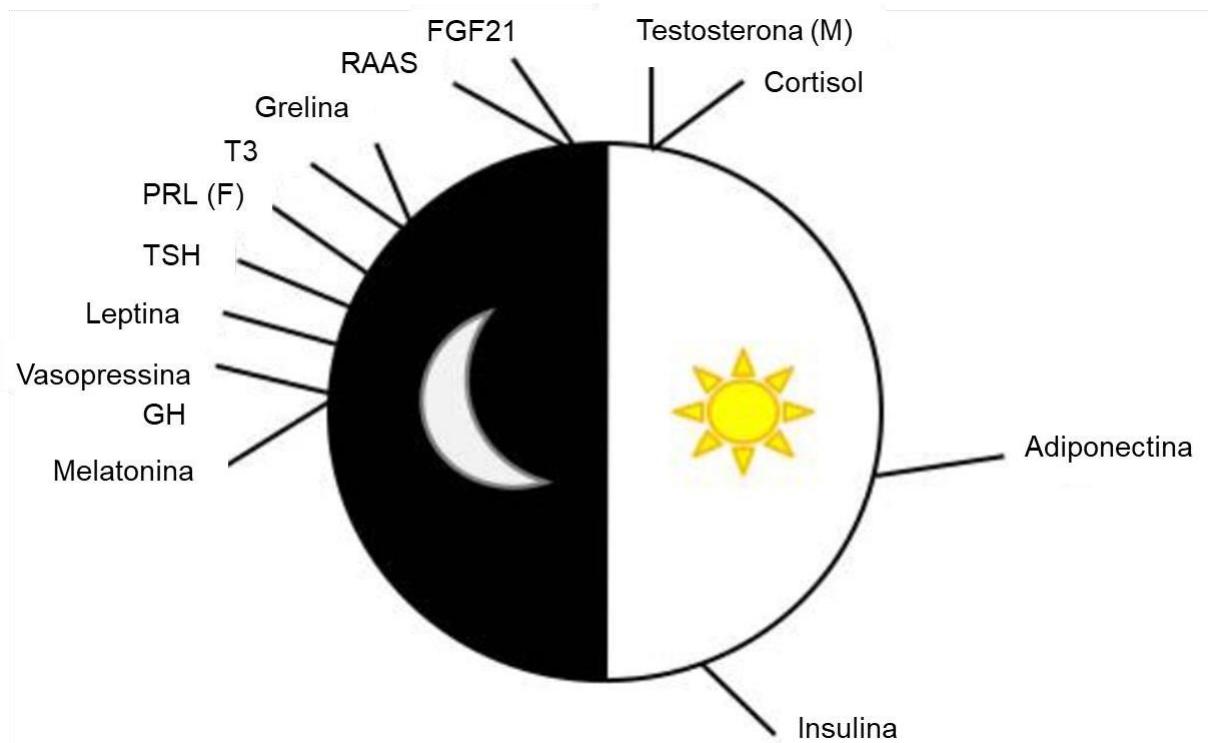
O primeiro registro documentado do ritmo biológico em um ser vivo foi percebido pelo almirante Andróstenes de Tasos sob o comando de Alexandre, o Grande, em 325 a.C., enquanto viajava ao Norte da África e Índia. Ele percebeu o comportamento das folhas de Tamarindo (*Tamarindus indica*), que se erguiam durante o dia e abaixavam-se durante a noite (Schildknecht, 1983, *apud* Schwartz; Daan, 2017).

Já em 1729, em um experimento realizado pelo astrônomo Jean-Jacques D'ortous de Mairan, uma flor foi colocada em um ambiente totalmente escuro. Apesar da ausência de luz, a planta continuou abrindo e fechando suas folhas e pétalas, mantendo suas atividades biológicas, apesar de perder a sincronia com o tempo do lado de fora posteriormente (Corrêa, 2017). Esse experimento permitiu concluir que “os organismos gerenciados pela alternação entre dia e noite deveriam ter desenvolvido uma forma intrínseca (uma característica endógena) de regular os ritmos circadianos: o relógio biológico” (Corrêa, 2017, n.p.).

Como citado anteriormente, o NSQ é um mecanismo responsável por regular nossos ritmos circadianos, que torna o corpo mais ativo durante um período e incentiva o sono em outro.

Gamble *et al.* (2014) afirmam que vários componentes do sistema endócrino estão relacionados à hora do dia, como mostra a Figura 2, a qual exerce um papel modulador dos seus mecanismos de governo, sendo eles: a concentração do hormônio em relação ao receptor, a sua afinidade e a estimulação pós-ligação hormônio-receptor.

Figura 2 — Sistema endócrino e sua relação com o período do dia



Fonte: Adaptado de Gamble *et al.* (2014)

Entre esses fatores endócrinos que oscilam no período de 24 horas estão o cortisol e a melatonina (Gamble *et al.*, 2014). A melatonina é produzida na glândula pineal, localizada na região do NSQ, no interior do hipotálamo. É um hormônio importante para o corpo humano, pois é responsável por retransmitir informações sobre o ciclo claro-escuro ambiental, especialmente quando há mudanças na duração do dia (Gamble *et al.*, 2014). Quando o ambiente está escuro, ocorre um aumento de sua síntese; já na presença de luz, ela é inibida e está fortemente relacionada a

propriedades anti-inflamatórias e prevenção do aumento de gordura (Tordjman *et al.*, 2017). Dentre as atribuições da melatonina no corpo humano estão: “ação sobre o sistema imune (linfócitos, citocinas, inibição de prostaglandinas, regulação da COX-2, entre outros); ação antitumoral; e regulação dos ritmos biológicos (sono, vigília entre outros)” (Souza, 2021, p. 4).

O cortisol desempenha um papel importante na regulação da pressão arterial, do metabolismo dos hidratos de carbono e dos níveis de glicose, dentre outros (IQBAL *et al.*, 2023). Além disso, apresentam um padrão de síntese consistente ao longo do dia nos humanos, geralmente alcançando seu pico pela manhã, entre 7 e 8 horas (Gamble *et al.*, 2014).

A dependência do ciclo circadiano em relação à luz traz diversas consequências para os hábitos da sociedade contemporânea. Como afirma Corrêa (2017), ainda não houve tempo suficiente para adaptação à presença massiva da tecnologia e demais estímulos da modernidade. A rotina se tornou muito diferente da época em que as pessoas se orientavam unicamente pela luz do sol e escuridão da noite. Muitos estímulos nos possibilitam ter atividade noturna seja de lazer ou trabalho, devido à utilização da luz artificial, em que muitas pessoas trocam as atividades diurnas pelas noturnas, prejudicando o funcionamento adequado do corpo humano. Esses hábitos promovem desequilíbrio do ritmo circadiano, que pode configurar o estado chamado de cronodisrupção, que é quando proteínas e hormônios são liberados de forma errada, o que pode culminar em transtornos como a depressão, diabetes e obesidade (Corrêa, 2017).

## 2.4 ILUMINAÇÃO NATURAL E ARQUITETURA

A iluminação natural sempre guiou o modo de viver do ser humano e no que diz respeito a arquitetura, resultou na aplicação de uma grande variedade de vãos, aberturas nas fachadas e coberturas, pátios centrais que possibilitaram a conexão entre os ambientes internos e externos e na captação da luz natural (Matos; Scarazzato, 2017).

A descoberta da eletricidade, entretanto, modificou e ditou novos comportamentos na sociedade. O surgimento da iluminação artificial possibilitou a realização de atividades em diversos períodos do dia, o que anteriormente não era

possível. No início do século XX, especialmente entre as décadas de 1950 e 1970, a iluminação natural foi gradualmente negligenciada e perdeu relevância. No entanto, voltou a ganhar destaque a partir da crise do petróleo nos anos 1970, impulsionada inicialmente pela necessidade de reduzir o consumo de energia elétrica nas edificações (Matos; Scarazzato, 2017).

A utilização da luz natural é um importante recurso para se atingir parâmetros funcionais, econômicos, ambientais e ainda contribuir com o bem-estar do usuário. Seu uso de forma direta ou difusa proporciona maior qualidade ambiental e, consequentemente, contribui para a sustentabilidade das construções (Amorim, 2007).

Por trás das discussões sobre seu uso, existe um complexo estudo acerca dos princípios e práticas da iluminação natural na arquitetura (Hopkinson; Petherbridge; Longmore, 1975; Corbela; Yannas, 2003). O uso da luz requer planejamento adequado de sua intensidade e distribuição. A fotometria é o ramo da ciência que estuda a medição da luz visível considerando a sensibilidade do olho humano à luz, para tanto, define algumas grandezas para quantificá-la (Brasil, 2011):

- Fluxo luminoso (lúmen – lm): quantidade total de luz emitida por uma fonte em todas as direções, por segundo;
- Intensidade luminosa (candela – cd): fluxo luminoso emitido em uma direção específica;
- Iluminância (lux – lx): quantidade de luz que incide sobre uma superfície;
- Luminância ( $\text{cd/m}^2$ ): quantidade de luz que é refletida ou emitida por uma superfície em uma direção específica, relacionada à percepção do brilho.

As fontes de luz podem apresentar diferentes dimensões — sendo pontuais ou extensas — e classificam-se como primárias, quando emitem luz por si mesmas, ou secundárias, quando apenas refletem a luz proveniente de outras fontes. Essa emissão luminosa é percebida visualmente como o brilho dos objetos e pode ser quantificada de forma objetiva por meio da luminância ( $L$ ), expressa em candelas por metro quadrado ( $\text{cd/m}^2$ ) (Hopkinson; Petherbridge; Longmore, 1975 *apud* Araújo, 2006).

A eficiência visual depende da capacidade de perceber contrastes de brilho, cor, sombra, detalhes finos e movimentos no campo de visão. Uma boa iluminação

melhora essa eficiência, pois influencia diretamente a percepção visual e o desempenho nas tarefas. Quando a adaptação visual é inadequada, ocorre o ofuscamento, que compromete a visão, reduz o conforto e a precisão visual (Araújo, 2006).

A combinação de uma iluminação adequada e um olho com boa capacidade visual resulta no que é considerado uma boa visão. Como afirma Araújo (2006, p. 20) “um indivíduo de vista fraca pode ser auxiliado por uma boa iluminação e é possível enxergar bem com má iluminação, graças ao processo de adaptação visual”. Entretanto, o processo de adaptação visual demanda um esforço fisiológico que, quando excessivo, pode causar cansaço e desencadear sintomas como dores de cabeça, irritação e queda no desempenho (Hopkinson; Petherbridge; Longmore, 1975 *apud* Araújo, 2006).

No que diz respeito à saúde humana, Moure e Santos (2023, p. 2) afirmam que “a luz natural é um *zeitberger* natural (do alemão *zeit*, “tempo”, e *geber*, “doador”), capaz de regular o ciclo circadiano”. A ausência de luz natural ocasionada pela falta de aberturas ou janelas pode afetar negativamente o ciclo circadiano, podendo impactar na saúde, alterando a produção hormonal, a função cardiorrespiratória, o sistema de coagulação, o sistema imunológico, dentre outros fatores (Moure; Santos, 2023).

A respeito da importância da luz natural nos projetos, Souza (2005, p. 73) afirma que:

a sua presença torna possível a percepção do ambiente, apresenta vantagens fisiológicas, uma vez que facilita a visão, poupa os órgãos visuais e diminui a fadiga. Também apresenta vantagens técnicas por possibilitar a execução de tarefas de precisão, melhorar a qualidade do trabalho produzido e prevenir acidentes. Embeleza a aparência dos objetos, realça seu valor artístico, dá forma e relevo à arquitetura e, finalmente, inspira bem-estar e segurança (Souza, 2005, p. 73).

Com base nas proposições acima, pode-se afirmar que os profissionais da construção civil, especialmente os projetistas, desempenham um papel crucial na promoção de uma melhor qualidade de vida por meio de seus projetos. Souza (2005, p.72) afirma ainda que “há que se elaborar ambientes que sejam bem iluminados, fartamente claros, onde a luz do dia possa entrar em abundância, mas de forma controlada para não causar desconforto por excesso de calor”.

A luz exerce um papel de grande importância na arquitetura, qualificando os espaços, destacando as formas e cores, além de promover o bem-estar do indivíduo (Costa, 2013). A arquitetura moderna trouxe grandes possibilidades através da integração do ambiente interno com o externo, além da liberdade de se trabalhar com diferentes tipos de aberturas, transparências e materiais diversos. Todavia, para se incluir a iluminação natural nos projetos de forma harmoniosa, desfrutando de todos os seus benefícios, é necessário se atentar para algumas adversidades, como o excesso de insolação, aumento da temperatura do ambiente construído e desconforto do usuário. Para evitar esse conflito entre entrada de calor e a iluminação natural, a arquitetura apresenta diversas soluções criativas que podem ser alinhadas a algumas normas.

A arquitetura vernacular é um grande exemplo de tipologia arquitetônica que respeita as características ambientais do local onde é inserida, como condições geográficas, climáticas e por aspectos culturais específicos, apresentando uma manifestação singular em cada local que é inserida (Santos; Costa, 2018). Um exemplo de bom aproveitamento da luz natural em equilíbrio com o controle de temperatura são construções implantadas nas regiões de clima quente e seco do nordeste brasileiro, caracterizados como exemplares da arquitetura vernacular. Em algumas edificações, a implantação ao redor de um pátio interno possibilita que a própria estrutura projete sombra sobre si mesma, além de bloquear ventos quentes provenientes do exterior, contribuindo para a criação de um microclima interno mais agradável (Medeiros *et al.*, 2012).

Apesar do claro entendimento apresentado em diversas fontes bibliográficas, da necessidade de projetos que valorizem e se utilizem fartamente da iluminação natural, o profissional da área ainda não tem o total domínio da aplicação das ferramentas nos projetos. Diversas pesquisas na área (Amorim, 2001; Garrocho, 2005; Silva, 2007) evidenciam essa dificuldade e propõem novas metodologias para tal. De acordo com Amorim (2007), a dificuldade encontrada por estes profissionais, principalmente no contexto brasileiro, está em alinhar os requisitos de uma boa iluminação com a entrada de luz e calor, e, juntamente a isso, ainda considerar as demandas funcionais, estéticas, construtivas e econômicas.

O desafio é de exercitar o olhar do arquiteto para o bom aproveitamento da luz natural na fase inicial dos projetos, e adotar medidas como a atenção à orientação solar, ao tratamento das superfícies expostas à luz do sol, ao posicionamento

estratégico das aberturas para captação da luz natural, ao uso adequado de sombreamentos e à integração com a iluminação elétrica (Karlen, 2004). A adoção dessas medidas contribui para uma harmonia eficiente entre a luz natural e a artificial, e, nas fases posteriores, é possível utilizar cálculos e ferramentas de simulação apenas como meio de confirmação e ajustes dos conceitos adotados.

## 2.5 ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL E ARQUITETURA

É indiscutível o impacto que a luz pode ter no corpo humano, tanto de forma positiva quanto negativa, considerando desde a escala de um edifício até a de uma cidade. Furuyama *et al.* (2020) afirmam que executar qualquer atividade sob uma iluminação inadequada pode representar um risco físico e psicológico para os usuários, não se restringindo somente aos níveis de baixa iluminância.

A utilização adequada da iluminação natural traz diversos benefícios à saúde dos ocupantes do espaço e ao meio ambiente, além de agregar positivamente no sentido psicológico e estético. É de extrema importância o incentivo às boas práticas de utilização da mesma em projetos arquitetônicos. Em contrapartida, deve-se lembrar que a iluminação natural não está disponível 24 horas por dia e, em alguns períodos, seu nível de iluminação fornecido pode ser menor que o recomendado, tornando-se necessário o emprego da iluminação artificial (Lopes, 2006).

O profissional responsável pelo projeto de iluminação deve garantir uma integração eficiente entre a iluminação natural e a artificial durante a concepção do projeto. As edificações devem ser projetadas levando-se em consideração o máximo aproveitamento da luz natural. A correta avaliação dessa iluminação possibilita a redução da utilização da iluminação artificial, tornando as construções mais eficientes energeticamente. Moraes (2012) aponta que, no Brasil, os aspectos estéticos e físicos tendem a receber maior atenção no projeto de iluminação, sendo que, frequentemente, a execução fica a cargo do instalador do sistema. Isso pode levar à criação de ambientes ineficientes, com mais ou menos luz do que o necessário.

Moraes (2012, p. 22), a respeito dos projetos de iluminação artificial, afirma que:

uma vez que a variedade e o número de equipamentos de iluminação têm crescido constantemente, é imprescindível o conhecimento, por

parte do projetista, das características e do desempenho das luminárias, assim como também são necessários avanços na prática de projeto dos sistemas de iluminação (Moraes, 2012, p. 22).

Apesar da importância de um projeto de iluminação adequado, nem todos os profissionais da área se sentem capacitados para desenvolvê-lo. Para auxiliar os usuários e direcionar o profissional projetista a elaborar um projeto adequado, algumas normas começaram a ser publicadas.

A publicação da NBR ISSO/CIE 8995-1 – Iluminação de ambientes de trabalho – Parte 1: Interior (ABNT, 2013) em vigor, começou a abordar a iluminação de interiores de forma mais específica. Em seu escopo, a norma tem o objetivo de “especificar os requisitos de iluminação para locais de trabalho internos e os requisitos para que as pessoas desempenhem tarefas visuais de maneira eficiente, com conforto e segurança durante todo o período de trabalho” (ABNT, 2013, p. 1). A norma, que possui como foco ambientes de trabalho, já apresenta uma preocupação com a execução de tarefas com conforto. Ela estabelece critérios importantes para a elaboração do projeto de iluminação, como: ambiente luminoso, distribuição da luminância, iluminância, ofuscamento, direcionalidade, aspectos da cor, luz natural, manutenção, considerações sobre energia e iluminação de estações de trabalho com monitores VDT (*Visual display terminals*), também conhecidos como monitores de vídeo e *displays* visuais, cintilação e efeito estroboscópico, iluminação de emergência. Além disso, são apresentadas algumas diretrizes de iluminação que são recomendadas para determinadas atividades e ambientes, e são setorizadas conforme apresentado na Figura 3, para áreas gerais da edificação.

Figura 3 — Diretrizes de iluminação recomendadas pela NBR 8995-1

**PLANEJAMENTO DOS AMBIENTES (ÁREAS), TAREFAS E ATIVIDADES COM A ESPECIFICAÇÃO DA ILUMINÂNCIA, LIMITAÇÃO DE OFUSCAMENTO E QUALIDADE DA COR**

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	$E_m$ lux	UGRL	R <sub>a</sub>	Observações
<b>1. Áreas gerais da edificação</b>				
Saguão de entrada	100	22	60	
Sala de espera	200	22	80	
Áreas de circulação e corredores	100	28	40	Nas entradas e saídas, estabelecer uma zona de transição, a fim de evitar mudanças bruscas.
Escadas, escadas rolantes e esteiras rolantes	150	25	40	
Rampas de carregamento	150	25	40	
Refeitório/Cantinas	200	22	80	
Salas de descanso	100	22	80	

Fonte: ABNT (2013)

Os requisitos apresentados na Figura 3 são estabelecidos da seguinte maneira: na Coluna 1 encontra-se a lista de ambientes, tarefas ou atividades. A Coluna 2 estabelece o nível de iluminância (lux) na superfície de referência para a atividade destinada na Coluna 1. Já a Coluna 3, estabelece o índice limite de ofuscamento unificado (UGRL). A Coluna 4 estabelece o índice de reprodução de cor mínimo ( $R_a$ ). E por fim, na Coluna 5 encontra-se o campo de observações (ABNT, 2013). Apesar de analisar a iluminação do ambiente de forma mais específica, a norma não considera a temperatura de cor, parâmetro importante nos reflexos do ciclo circadiano.

“A descoberta, nos anos 2000, do fotorreceptor ipRGC no olho humano revelou que ele influencia não só a visão, mas também a regulação dos ritmos circadianos” (Neves *et al.*, 2024, p. 6). Apesar dessa importante descoberta, os avanços nos projetos de iluminação ainda focam principalmente no conforto visual, frequentemente negligenciando os impactos da luz no corpo humano, especialmente no ciclo circadiano.

Em 2003, a Associação Brasileira de Normas Técnicas publicou a primeira versão de um conjunto de normas, a NBR 15.215, divididas em quatro partes, com objetivo de regular a utilização de iluminação natural em ambientes construídos. Sua

elaboração foi significativa pois, anteriormente, o Brasil contava apenas com Códigos de Obras municipais com poucos parâmetros e que não garantiam um desempenho adequado da construção (Souza, 2024).

O objetivo principal que levou à elaboração das normas foi o interesse dos profissionais em aplicar as boas práticas de iluminação natural nos projetos, por razões de bem-estar e eficiência energética, conforme ABNT NBR 15.215-1 (2003). Para melhor se adaptar às recorrentes mudanças nas últimas duas décadas, essa norma passou por um processo de atualização, tendo a última parte sendo publicada em junho de 2024 (Souza, 2024).

Um grande avanço em relação às considerações dos efeitos da luz no ciclo circadiano pode ser encontrado nas atualizações da norma referente à iluminação natural NBR 15.215-4 (ABNT, 2024), que apresenta a verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações. A norma passou a considerar parâmetros quantitativos e qualitativos para a análise do ambiente, além de abordar considerações importantes no impacto da luz no ciclo circadiano.

A última seção desse conjunto de normas, Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de medição, atualizada em 2023, trouxe mudanças significativas nos parâmetros de análise e medição da luz. Segundo a norma, esta seção “prescreve métodos para a verificação experimental das condições de iluminância e luminância de ambientes internos” (NBR 15.215-4, p. 1, 2023). A atualização considerou questões fortemente associadas ao ciclo circadiano, além dos parâmetros quantitativos de medições. Além disso, a norma sugere a implementação de questionários sobre estímulos visuais e não visuais, pesquisas de comportamento e preferências, a fim de adotar parâmetros qualitativos para as análises. Essa parte da norma se apresenta mais simplificada para o entendimento e aplicação dos profissionais, oferecendo uma espécie de passo a passo para a adoção prática das ferramentas.

Embora a elaboração e publicação de normas tenha como objetivo orientar os profissionais na criação de projetos de iluminação adequados, ainda existem questões a serem superadas para garantir o sucesso desse processo. Toledo (2008) destaca a falta de sincronia na elaboração do projeto, apontando que os especialistas em iluminação frequentemente são envolvidos apenas nas etapas finais, o que limita sua capacidade de oferecer contribuições mais eficazes.

São diversos os fatores envolvidos em uma iluminação integrativa, capaz de harmonizar o conforto visual e equilibrar os efeitos da luz no corpo humano. Apesar da importância de se ter normas para guiar diversos parâmetros de projeto, “normas não podem garantir a qualidade do projeto, no qual se encontra uma série complexa de parâmetros qualitativos e quantitativos” (Bandeira; Scarazzato, 2018, p. 68). Portanto, é fundamental realizar uma análise abrangente na concepção do projeto, integrando a iluminação natural e artificial na fase adequada do planejamento.

## 2.6 AVALIAÇÃO DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL COM BASE NA PLANILHA DE LUCAS

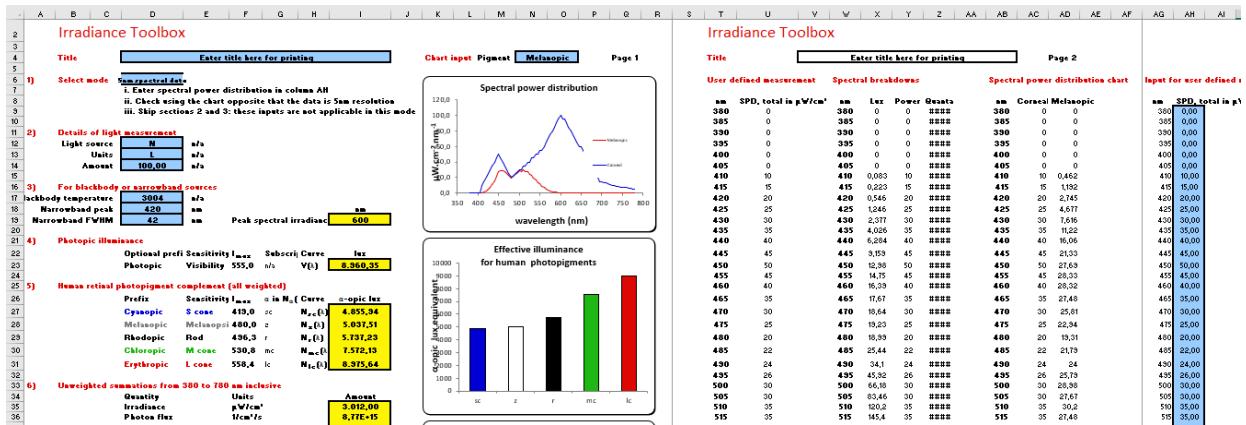
A NBR 15.215-4 (ABNT, 2023) fornece um conjunto de ferramentas e procedimentos para a avaliação das condições de iluminação natural, organizados em uma tabela que sintetiza as principais métricas e métodos passíveis de verificação experimental. Essa tabela, é estruturada em quatro categorias: Aspecto, Foco, Métrica/Indicadores e Ferramentas/Equipamentos. Conforme mencionado anteriormente, a atualização da norma inclui métricas voltadas à análise do impacto da luz no ciclo circadiano. No item Aspecto, destaca-se o tópico Estímulo Não Visual, que contempla, entre outros focos, o Potencial Circadiano. Como indicadores para esse foco, são listados, entre outros, o EML (*Equivalent Melanopic Lux*) e a razão M/P (*Melanopic/Photopic Ratio*). Para análise dessas métricas, a norma recomenda o uso de ferramentas como a Planilha de Lucas, além dos softwares ALFA e Lark (ABNT, 2023).

Pesquisas conduzidas pela Universidade de Manchester (2004), em parceria com o professor Ph.D. Robert Lucas e a divisão de neurociência da instituição, fundamentam parte da atualização da NBR 15.215-4 (ABNT, 2023). Como resultado desses estudos, foi desenvolvido um método para quantificar a intensidade da luz percebida pela melanopsina e por outros fotorreceptores do olho humano (Neves, 2024). Esse método, denominado Planilha de Lucas ou *Irradiance Toolbox*, tem como principal objetivo calcular a iluminância efetiva para cada um dos cinco fotopigmentos presentes no sistema visual humano, utilizando como base a distribuição espectral de potência da luz (Lucas, 2013).

A planilha de Lucas (2013) utiliza duas metodologias principais: Cálculo da iluminância melanópica (*Equivalent Melanopic Lux – EML*), que quantifica o estímulo

que uma fonte de luz causa nos fotorreceptores não visuais, principalmente nas células que contêm melanopsina, responsáveis por regular o ritmo biológico (circadiano); e, Razão M/P (*Melanopic/Photopic Ratio*) que compara a iluminância melanópica (M) com a iluminância fotópica tradicional (P), usada para medir a luz percebida visualmente. É fundamental destacar o papel da melanopsina no corpo humano, pois ela auxilia o cérebro a perceber a luz de forma indireta, influenciando o ritmo circadiano e as respostas a estímulos luminosos, como a adaptação à luz ambiente. A melanopsina é particularmente sensível à luz azul, o que explica por que a exposição a essa luz, especialmente à noite, pode interferir no sono e na produção de melatonina. Em suma, o objetivo principal da metodologia de cálculo da EML é medir o estímulo biológico da luz, utilizando o lux como unidade de medida e indica, por fim, a intensidade circadiana da luz. Já a metodologia Razão M/P tem como objetivo avaliar a composição espectral da luz e indicar se a luz é mais avermelhada ou azulada. A Figura 4 apresenta uma visão geral da planilha que será explicada mais detalhadamente a seguir.

Figura 4 — Visão geral da Planilha de Lucas



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A planilha apresenta algumas células na cor azul, disponíveis para serem editadas, o restante encontra-se bloqueada para que não haja interferência nas análises com dados previamente definidos. A primeira parte possibilita que o usuário dê um título específico para cada análise. O item 1 *Select Mode* (Selecionar Modo) pode ser usado de três formas: Modo "1 nm" (dados com resolução de 1 nanômetro),

Modo "5 nm" (resolução de 5 nanômetros) ou Modo "aproximado" (usa valores-padrão de luz), como apresentado na Figura 5.

Figura 5 — Planilha de Lucas – Seção 1

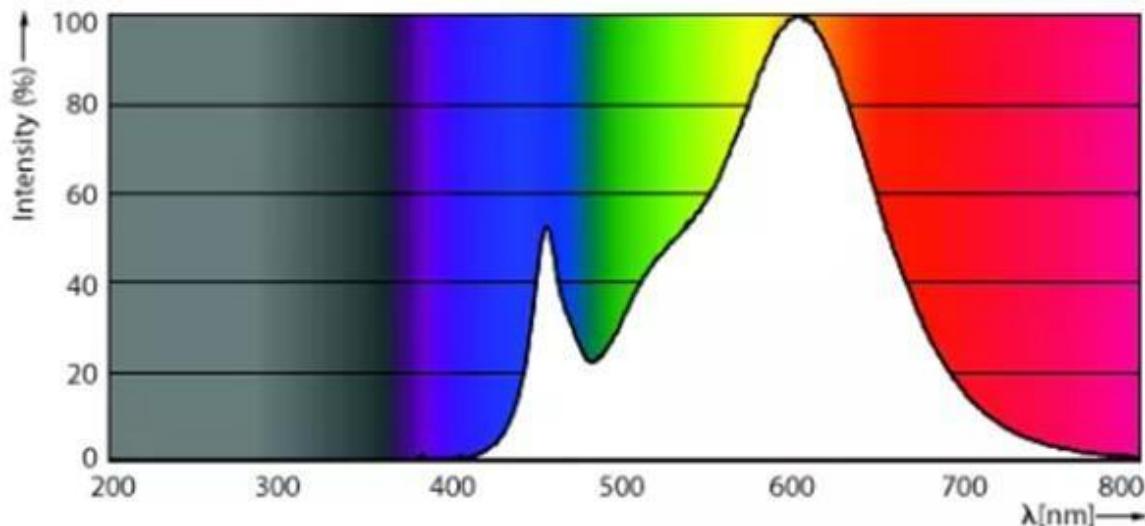
## Irradiance Toolbox

Title	Enter title here for printing
1) Select mode	<input type="text" value="5nm spectral data"/> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Enter spectral power distribution in column AH</li> <li>ii. Check using the chart opposite that the data is 5nm resolution</li> <li>iii. Skip sections 2 and 3: these inputs are not applicable in this mode</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Nos modos "1nm" e "5nm", o usuário precisa inserir os dados da luz medida, ou seja, como a luz se distribui em diferentes cores (comprimentos de onda), na coluna AH da planilha. Esses dados mostram quanta energia (irradiância) chega aos olhos em cada faixa de cor. Os dados da luz medida podem ser encontrados nas especificações técnicas disponíveis nos sites de alguns fabricantes, como é possível verificar na Figura 6, onde são apresentados os dados da luz da lâmpada bulbo LED Philips 3.000K de 13W de potência. É possível obter a distribuição espectral de cada lâmpada, quando disponibilizado pelo fabricante, informações que podem variar conforme a temperatura de cor, entre outros fatores. Dessa forma, é possível analisar diferentes tipos de lâmpadas e como elas podem influenciar diretamente no ciclo circadiano, estimulando mais ou menos a melanopsina.

Figura 6 — Distribuição espectral da lâmpada bulbo LED Philips 3.000K de 13W



Fonte: Retirado do site lighting.philips (2025)

O tópico 2 *Details of light measurement* (Detalhes da medição da luz), apresentado na Figura 7, deverá ser preenchido apenas se a opção *Aproximate Mode* houver sido selecionada no tópico anterior. É necessário selecionar a Fonte de Iluminação, que pode variar entre as opções: lâmpadas incandescentes de temperatura igual a 2.856 K (Kelvin), luz do dia, lâmpadas incandescentes de aproximadamente 3.000 K, LED branco de 4.730 K, temperatura de corpo negro (*blackbody spectral*) - que simula uma lâmpada incandescente ou outra luz quente com a temperatura de cor de 3.004 K, entre outros. Além disso, é necessário definir também a Unidade de Medida da Quantidade de Luz, podendo ser lux (*lumens per square metre or lm/m<sup>2</sup>*), P Power ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ) ou Q Log quanta ( $\log_{10} \text{photons}/\text{cm}^2/\text{s}$ ). E a Quantidade, ou seja, a medida de luz utilizada para os cálculos seguintes. Trata-se de uma medida não espectral (ou seja, um valor único), na unidade definida na caixa anterior.

Figura 7 — Planilha de Lucas – Seção 2

2)	<b>Details of light measurement</b>	
Light source	B	n/a
Units	L	n/a
Amount	100,00	n/a

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A seção 3, como mostra a Figura 8, assim como a seção anterior, só precisará ser preenchida caso o Modo Aproximado tenha sido selecionado no tópico 1. Esta seção trata de parâmetros utilizados para simular fontes de luz com espectros de corpo negro ou de banda estreita. Nele, define-se a temperatura do corpo negro (em Kelvin), que representa a cor da luz emitida por uma fonte térmica ideal.

Figura 8 — Planilha de Lucas – Seção 3

3) **For blackbody or narrowband sources**

Blackbody temperature	3004	K	
Narrowband peak	420	n/a	
Narrowband FWHM	42	n/a	

Peak spectral irradiance

nm

600

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

No tópico 4, como mostra a Figura 9, é calculada a iluminância fotópica, ou seja, a quantidade de luz visível percebida pelo olho humano em condições de luz do dia. Conforme explicado no Guia da Planilha de Lucas (Lucas, 2013), esta seção apresenta o valor de iluminância fotópica calculado a partir dos dados inseridos na seção 1 e, se estiver sendo usado o modo aproximado, também com base nas seções 2 e 3. Quando a opção "Unidades" na seção 2 estiver definida como lux (L), o resultado será igual ao valor especificado em "Quantidade". No modo "exato", os campos "Unidades" e "Quantidade" não são considerados, e o valor de saída é obtido convertendo a distribuição espectral da luz medida em lux, utilizando a curva de sensibilidade do olho humano à luz diurna, conhecida como  $V(\lambda)$  (Lucas, 2013).

Figura 9 — Planilha de Lucas – Seção 4

4) **Photopic illuminance**

Optional prefix	Sensitivity	$\lambda_{max}$	Subscript	Curve	lux
Photopic	Visibility	555,0	n/a	$V(\lambda)$	8.960,35

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Já o tópico 5 apresenta os valores de iluminância efetiva para os diferentes fotorreceptores da retina humana, conforme ilustrado na Figura 10.

Figura 10 — Planilha de Lucas – Seção 5

5) Human retinal photopigment complement (all weighted)

Prefix	Sensitivity	$\lambda_{max}$	$\alpha$ in $N_\alpha(\lambda)$	Curve	$\alpha$ -opic lux
Cyanopic	S cone	419,0	sc	$N_{sc}(\lambda)$	4.855,94
Melanopic	Melanopsin	480,0	z	$N_z(\lambda)$	5.037,51
Rhodopic	Rod	496,3	r	$N_r(\lambda)$	5.737,23
Chloropic	M cone	530,8	mc	$N_{mc}(\lambda)$	7.572,13
Erythropic	L cone	558,4	lc	$N_{lc}(\lambda)$	8.975,64

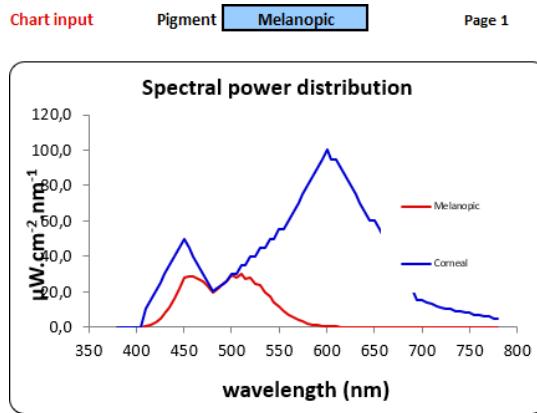
Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

- Cyanopic (Cones S) - sensíveis à luz azul, cerca de 420 nm. Participa da percepção de tons frios e influencia o sistema circadiano;
- Melanopic (Melanopsina) - associado às células ganglionares intrinsecamente fotossensíveis (ipRGCs), que contêm o fotopigmento melanopsina e é sensível à luz azul-claro, cerca de 480 nm. Regula funções não visuais, como o relógio biológico (ciclo circadiano), alerta e produção de melatonina;
- Rodópticos (Rod) - Relaciona-se aos bastonetes. Sensíveis à luz em torno de 498nm. São responsáveis pela visão em baixa luminosidade (escotópica);
- Chloropic (Cones M) - sensíveis à luz verde, cerca de 534 nm. Contribuem para a percepção das cores médias do espectro (verde/amarelo);
- Erythropic (Cones L) - respondem à luz vermelha, cerca de 564 nm. Essenciais para a percepção de tons quentes e distinção de cores.

Cada valor indica quanto a luz estimula esses fotopigmentos, com base na distribuição espectral da fonte de luz. Esses dados são fundamentais para avaliar os efeitos não visuais da luz, como a influência no ciclo circadiano.

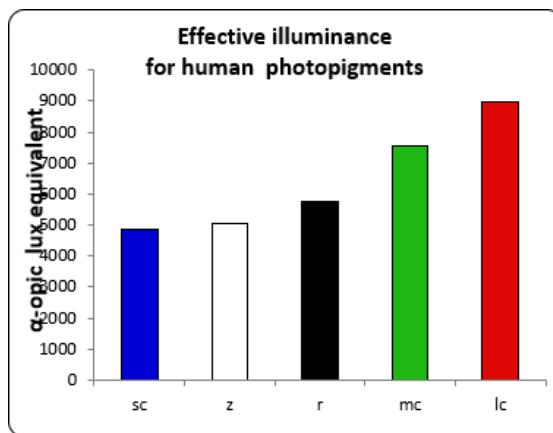
Ao preencher a coluna AH, como mencionado anteriormente, é possível analisar diferentes tipos de lâmpadas e como elas podem influenciar diretamente no ciclo circadiano, estimulando mais ou menos a melanopsina. A inserção dos dados da luz da lâmpada bulbo LED Philips 3.000 K de 13 W de potência na coluna AH gerou os resultados apresentados no Gráfico 1, Gráfico 2 e Gráfico 3.

Gráfico 1 — Distribuição da potência espectral



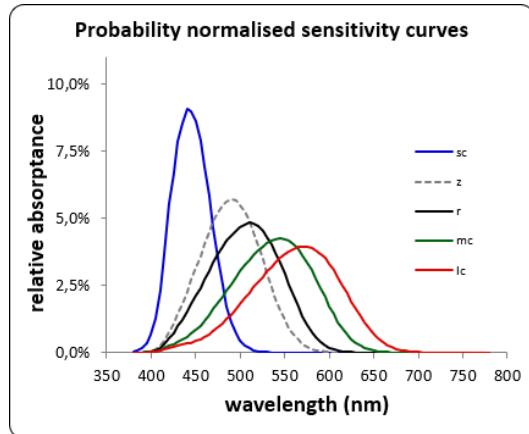
Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Gráfico 2 — Iluminância efetiva para o fotopigmento humano



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Gráfico 3 — Curvas de sensibilidade normalizadas por probabilidade



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Os três gráficos (Gráfico 1, Gráfico 2 e Gráfico 3) apresentados na imagem representam diferentes aspectos da análise espectral da luz em relação aos fotorreceptores humanos. No Gráfico 1 *Spectral power distribution* (distribuição da potência espectral), é possível analisar duas curvas, representando os estímulos visuais e não visuais à luz, de acordo com a distribuição da intensidade da luz ao longo dos comprimentos de onda (350–800 nm). A cor azul (corneal) representa a estimulação das células fotorreceptoras visuais, ou seja, indica a quantidade total de luz que atinge a córnea do olho humano. Já a curva vermelha (melanopic) representa as células não visuais, indicando quanto dessa luz é eficaz em estimular os receptores melanopsínicos, diretamente relacionados ao ciclo circadiano. O resultado apresentado no gráfico em relação a inserção dos dados da luz da lâmpada bulbo LED Philips 3.000 K de 13 W de potência, mostra que a curva vermelha mostra uma baixa intensidade nas faixas de comprimento de onda entre 450 e 500 nm, que é a região de maior sensibilidade da melanopsina, indicando a baixa emissão de luz azul, o que caracteriza as lâmpadas de tonalidades mais quentes. Já a curva azul mostra um pico na região em torno dos 600nm, que corresponde à faixa de luz mais avermelhada, indicando que a lâmpada é enriquecida em luz quente. Em suma, pode-se considerar com base nos resultados deste gráfico que a lâmpada possui baixo potencial de estímulo circadiano por apresentar uma distribuição espectral baixa em luz azul.

O Gráfico 2 *Effective Illuminance for Human Photopigments* (Iluminância efetiva para fotopigmentos humanos) mostra a intensidade da luz percebida por cada tipo de fotorreceptor no olho humano. Este gráfico permite comparar a resposta de diferentes fotorreceptores à mesma fonte de luz, indicando seu potencial efeito visual e não visual. A barra “z” (*melanopic*) tem um valor inferior em comparação às barras “mc” (*chloropic*) e “lc” (*erythropic*). Isso indica que a lâmpada ativa mais intensamente os cones M (verde) e L (vermelho) do que os receptores relacionados ao ciclo circadiano. A barra “r” (*rhodopic*) e “sc” (*cyanopic*) também são menores, mostrando que os bastonetes e cones S (azul) são menos estimulados.

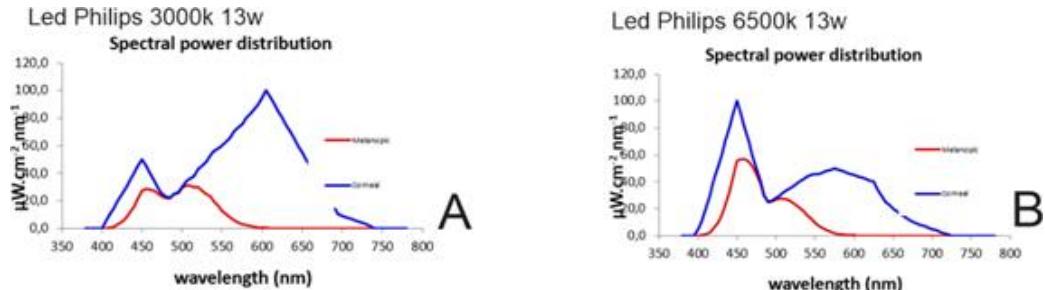
Por último, o Gráfico 3 indica como cada tipo de fotorreceptor humano responde a diferentes comprimentos de onda da luz. A região onde a melanopsina tem maior sensibilidade, aproximadamente 480 nm não coincide com o pico de emissão da lâmpada. As curvas dos cones L (vermelho) e M (verde) estão mais próximas dos

picos da distribuição espectral da lâmpada, o que confirma sua predominância. Conclui-se através desses resultados que o espectro da lâmpada não coincide com a sensibilidade da melanopsina, reduzindo seu impacto fisiológico no ciclo sono-vigília.

Neves (2024) analisou em seu estudo quatro tipos de lâmpadas diferentes, sendo elas: lâmpada bulbo LED Philips de 3.000 K e 13 W de potência, lâmpada bulbo LED Philips 6.500 K e 13 W de potência, lâmpada Fluorescente Philips 3.000 K - utilizada também como base de análise neste estudo - e lâmpada Fluorescente Philips 6.500 K. Como apresentado no Gráfico 4, o resultado da análise das lâmpadas de LED de 3.000 K e 6.500 K, mostrou que as respostas visuais foram estimuladas no mesmo pico em  $100 \text{ wcm}^2.\text{nm}^{-1}$ , porém, na lâmpada de 3.000 K, a ativação da córnea pela luz ocorreu com mais intensidade dentro do espectro da cor laranja a partir de 600 nm enquanto na lâmpada de 6.500 K, a córnea foi estimulada com mais intensidade no espectro de luz azul em 450 nm. Isso significa que a lâmpada emite o máximo de luz dentro deste intervalo específico de cor, o que determina se a lâmpada é “quente” ou “fria” (Neves, 2024). A respeito da estimulação da melanopsina, fotopigmento responsável pelos estímulos não visuais, o gráfico mostra que ela apresenta seu pico no espectro na luz azul em torno de 450 nm, tanto na lâmpada de 3.000 K quanto na de 6.500 K. Porém, na lâmpada considerada “quente”, de 3.000 K, esse estímulo é menor, alcançando um valor máximo de  $20 \text{ w cm}^2.\text{nm}^{-1}$ , enquanto na lâmpada considerada “fria”, com temperatura de cor de 6.500 K, os valores são superiores à  $55 \text{ wcm}^2.\text{nm}^{-1}$ .

Destaca-se que, no contexto de interesse deste estudo, a análise das lâmpadas de LED se torna mais relevante em comparação às lâmpadas fluorescentes, também abordadas no estudo de Neves (2024), pois as lâmpadas de LED são atualmente reconhecidas como as mais eficientes no mercado.

Gráfico 4 — Distribuição da potência espectral referente à lâmpada bulbo LED Philips de 3.000K e 13W de potência, lâmpada bulbo LED Philips 6.500K e 13W de potência



Fonte: Neves (2024)

## 2.7 DIAGRAMA MORFOLÓGICO COMO INSTRUMENTO PROJETUAL DE OTIMIZAÇÃO DA LUZ NATURAL

Para nortear este estudo, que tem como objetivo analisar um ambiente residencial em um edifício, com foco na eficiência da iluminação natural e artificial em benefício do bem-estar humano e da regulação do ciclo circadiano, optou-se pela utilização do Diagrama Morfológico (Baker *et al.*, 1993) como método para análise da luz natural. Baker *et al.* (1993) propuseram várias maneiras de realizar o uso eficiente da luz natural nos espaços construídos. Uma delas foi mostrar as possibilidades arquitetônicas através de estudos de caso exemplares, analisando algumas informações relevantes. Os autores desenvolveram um instrumento chamado *Morphological Box*, que pode ser utilizado para análise e catalogação de projetos. De acordo com Amorim (2007, p. 60):

o método, segundo os autores, pode ser chamado de ‘método tipológico’, com um repertório armazenado de formas e tipos, estruturados em uma gramática arquitetônica, que permite que estes modelos sejam adaptados a programas específicos (Amorim, 2007, p. 60).

A partir desse conceito, gerou-se um novo instrumento denominado “Diagrama Morfológico”, que além de ser um modelo para análise de projetos já existentes, também pode ser utilizado para auxiliar na fase de concepção do mesmo. Este instrumento adapta o conceito original acrescentando algumas categorias relevantes,

como contexto climático brasileiro no qual o projeto está inserido, ventilação natural, integração com luz artificial e controles, o que, dessa forma, otimiza as análises ambientais de controle térmico e eficiência energética. Segundo o autor, essa ampliação das categorias se baseia no fato de que as decisões do projeto arquitetônico envolvem esses conceitos através de sua forma, invólucro e aberturas (Amorim, 2007).

Para a utilização do método, é necessário preencher o diagrama com as características do edifício para analisar se é um bom exemplo de projeto de iluminação ou se o mesmo precisa de algumas adequações e otimizações. A partir da combinação de “Parâmetros” e “Variáveis”, pode-se apresentar diversas soluções de projeto. O diagrama se divide em três Níveis: Espaço Urbano, Edifício e Ambiente Interno. Cada Nível apresenta diversos Parâmetros, que podem conter algumas Variáveis.

No diagrama, o ambiente interno e externo é entendido como um conjunto de planos que formam o piso, as paredes com aberturas, o teto, entre outros. Como explica Amorim (2007, p. 61), “os planos que compõem este ambiente são os “PARÂMETROS” do DIAGRAMA MORFOLÓGICO, e as várias possibilidades de configuração de pisos, paredes, janelas são suas “VARIÁVEIS”.

O Quadro 1 apresenta os Níveis, Parâmetros e Variáveis do Diagrama Morfológico.

Quadro 1 — Nível, Parâmetros e Variáveis do Diagrama Morfológico

Níveis	Parâmetros	Variáveis
I Espaço Urbano	A Desenho B Refletância de fachada C Especularidade fachadas D Ângulo máximo do sol na base do edifício	A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8, A9 B1, B2, B3, B4 C1, C2, C3, C4 D1, D2, D3, D4
II Edifício	E Forma e Planta Baixa F Taxa de abertura G Distribuição de aberturas H Proteções solares nas fachadas I Aberturas zenitais J Mecanismos de ventilação natural	E1, E2, E3, E4, E5, E6 F1, F2, F3, F4 G1, G2, G3, G4 H1, H2, H3, H4, H5, H6 I1, I2, I3, I4, I5, I6 J1, J2, J3, J4
III Ambiente	K Planta Baixa L Posição do coletor de luz M Área do coletor de luz N Forma do coletor de luz O Controle da entrada de luz P Controle da ventilação natural Q Controle e integração da iluminação artificial	K1, K2, K3, K4 L1, L2, L3, L4, L5, L6 M1, M2, M3, M4, M5, M6 N1, N2, N3, N4, N5, N6 O1, O2, O3, O4, O5, O6 P1, P2, P3, P4, P5, P6 Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6

Fonte: Adaptado de Amorim (2007)

Esta etapa do estudo propõe analisar a eficiência lumínica, levando-se em conta a iluminação natural e artificial de uma residência com base nos métodos apresentados no Diagrama Morfológico. Como apresentado anteriormente, o método é caracterizado por um processo analítico estruturado, em uma sequência que parte da maior complexidade (Espaço Urbano), passa pela análise do Edifício e é concluído no Ambiente Interno da edificação, que pode ser um único ambiente ou aqueles que se julgar necessários para análise.

Para realizar a análise, é essencial fornecer informações detalhadas sobre a edificação, como sua tipologia, localização (cidade, latitude, longitude e altitude), data de construção e nome do arquiteto, conforme exposto por Amorim (2007). Em seguida, devem ser apresentadas as condições climáticas locais, incluindo dados sobre as temperaturas médias anuais, as médias mínimas e máximas de radiação solar, os ventos, as precipitações e a carta solar da região (Amorim, 2007). Posteriormente, inclui-se a implantação do edifício ou uma fotografia aérea que ilustre sua inserção no contexto urbano. Por fim, são adicionadas plantas, cortes, fotografias e outras representações consideradas essenciais para a análise dos diferentes níveis do Diagrama Morfológico (Edifício e Ambiente), conforme Amorim (2007).

Para a análise do objeto de estudo, foram analisados e implementados os parâmetros e variáveis apresentados no Diagrama Morfológico (Amorim, 2007) que se encontram no Anexo A.

### **3 APLICAÇÃO DO ESTUDO NA ANÁLISE DA ILUMINAÇÃO INTEGRATIVA DE UMA RESIDÊNCIA**

#### **3.1 OBJETO DE ESTUDO: EDIFÍCIO RESIDENCIAL EM SANTO ANDRÉ – SP (CONDOMÍNIO VERSATILE)**

A pesquisa tem como objetivo aplicar a teoria abordada na fundamentação teórica à prática, por meio da análise de um ambiente residencial. Para efeito de estudo, será analisado o comportamento das soluções propostas na região de Santo André, SP.

Conforme delineado nos objetivos gerais e específicos desta dissertação, busca-se aplicar os conceitos apresentados na fundamentação teórica em um ambiente residencial, com o intuito de analisar a iluminação integrativa sob a perspectiva dos impactos da luz no ciclo circadiano humano. A proposta considera não apenas os aspectos técnicos da iluminação, mas também a rotina e as atividades desempenhadas pelos moradores em diferentes períodos do dia, reconhecendo a influência da luz artificial e natural na saúde, no bem-estar e na regulação biológica dos indivíduos.

Para uma análise mais aprofundada, foi realizado um levantamento métrico do local, acompanhado da elaboração de um relatório fotográfico com o objetivo de ilustrar a situação atual e as principais características técnicas do ambiente. A avaliação da iluminação natural foi conduzida por meio da metodologia do Diagrama Morfológico (Amorim, 2007), contemplando análises que abrangem desde a escala macro – o espaço urbano – até a escala micro – o ambiente interno. Por sua vez, a iluminação artificial foi analisada com base na metodologia da Planilha de Lucas (Lucas, 2013), considerando os tipos de lâmpadas utilizadas e seu desempenho no contexto do espaço em estudo.

O ambiente de 17,7m<sup>2</sup> foi escolhido por apresentar múltipla função visto que é utilizado pelos moradores como sala de estar, sala de jantar e escritório. O estudo busca propor soluções individuais para cada atividade dentro do mesmo ambiente.

Para a elaboração do estudo, foi utilizada uma abordagem baseada na análise quantitativa, com o objetivo de fundamentar tecnicamente as decisões relacionadas à aplicação da iluminação integrativa. Por meio da quantificação de

parâmetros luminotécnicos, foi possível avaliar de forma objetiva o potencial da proposta em influenciar o ritmo circadiano dos ocupantes. Essa análise permitiu correlacionar os dados obtidos com diretrizes científicas sobre a exposição à luz e seu impacto na regulação do ciclo sono-vigília, contribuindo para a definição de estratégias de iluminação que favoreçam o bem-estar e a saúde dos usuários.

### 3.2 ANÁLISE ACERCA DA ILUMINAÇÃO NATURAL SEGUNDO O DIAGRAMA MORFOLÓGICO

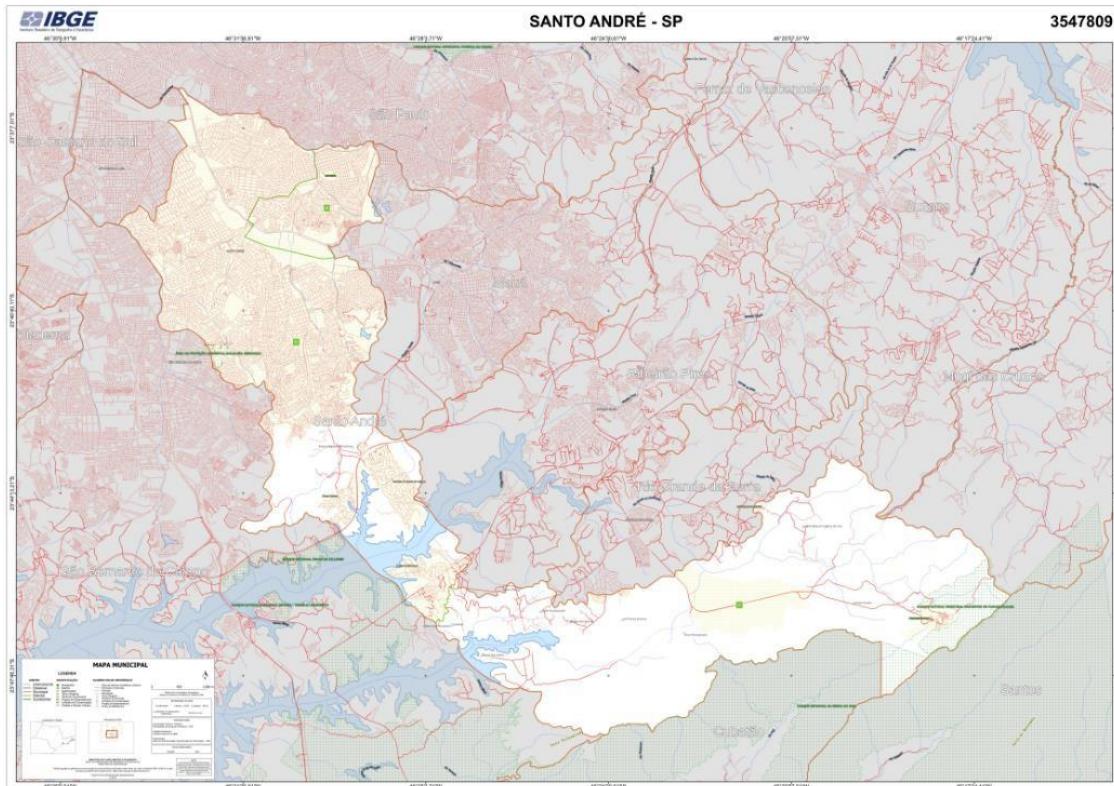
Com base nas premissas de análise indicadas no Diagrama Morfológico (Amorim, 2007), é necessário levantar algumas informações acerca da edificação objeto de estudo. De acordo com as orientações, estas análises estão divididas em quatro etapas neste estudo, sendo elas:

- 01- Características da edificação: análise tipológica, localização (cidade, latitude, longitude e altitude), data de construção e nome do arquiteto;
- 02- Condições climáticas locais: temperaturas médias anuais, as médias mínimas e máximas de radiação solar, os ventos, as precipitações e a carta solar da região;
- 03- Implantação do edifício: inserção no contexto urbano;
- 04- Representações gráficas do ambiente: plantas, cortes, fotografias, entre outros.

#### 3.2.1 CARACTERÍSTICAS DA EDIFICAÇÃO

A edificação, objeto de estudo desta pesquisa, localiza-se na cidade de Santo André, região metropolitana de São Paulo (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2023), como mostra a Figura 11 e encontra-se aproximadamente na latitude -23.62991 e longitude -46.54690 (Google, 2025), e está a uma altitude de cerca de 760 m acima do nível do mar (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2023). A edificação está localizada no bairro Campestre, região oeste da cidade de Santo André, e é caracterizada como um edifício residencial multifamiliar, composto por dois andares subsolo de garagem, pavimento térreo com áreas comuns e dez pavimentos contendo cinco apartamentos por andar.

Figura 11 — Mapa de localização da cidade de Santo André – SP



Fonte: IBGE (2023)

Os registros fotográficos do edifício objeto deste estudo foram realizados no mês de julho de 2025 no horário das 14 horas, e estão apresentados na Figura 12.

Figura 12 — Fachada do edifício objeto de estudo



Fonte: Do Autor (2025)

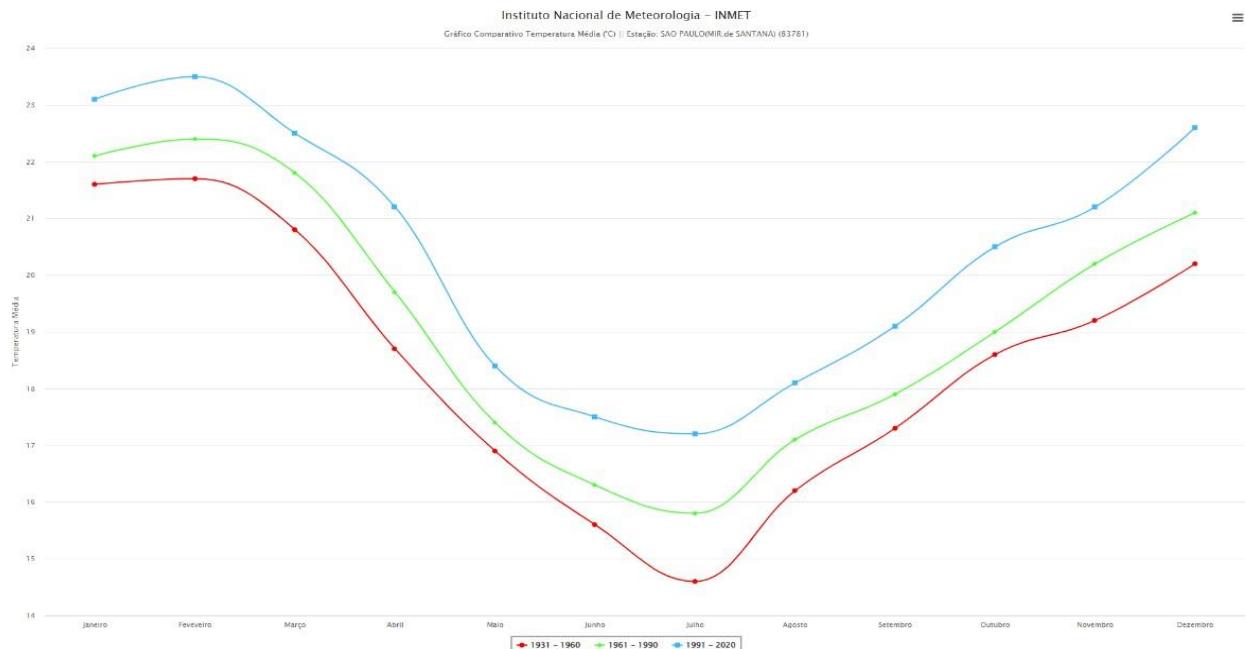
### 3.2.2 CONDIÇÕES CLIMÁTICAS LOCAIS

O clima da cidade de Santo André – SP é monitorado através de uma rede de 26 estações meteorológicas automáticas que se encontram distribuídas pela cidade

(Santo André, n.d.). O Mirante de Santana, localizado na zona norte, é considerada uma estação meteorológica de referência para análises climáticas da cidade de São Paulo e regiões metropolitanas (INMET, 2020). Com base nestas informações, considera-se que a cidade de Santo André - SP apresenta clima subtropical úmido mesotérmico. O verão é quente e úmido, o inverno é ameno, e a nebulosidade varia sazonalmente, com menor cobertura de nuvens entre março e outubro (Santo André, 2025).

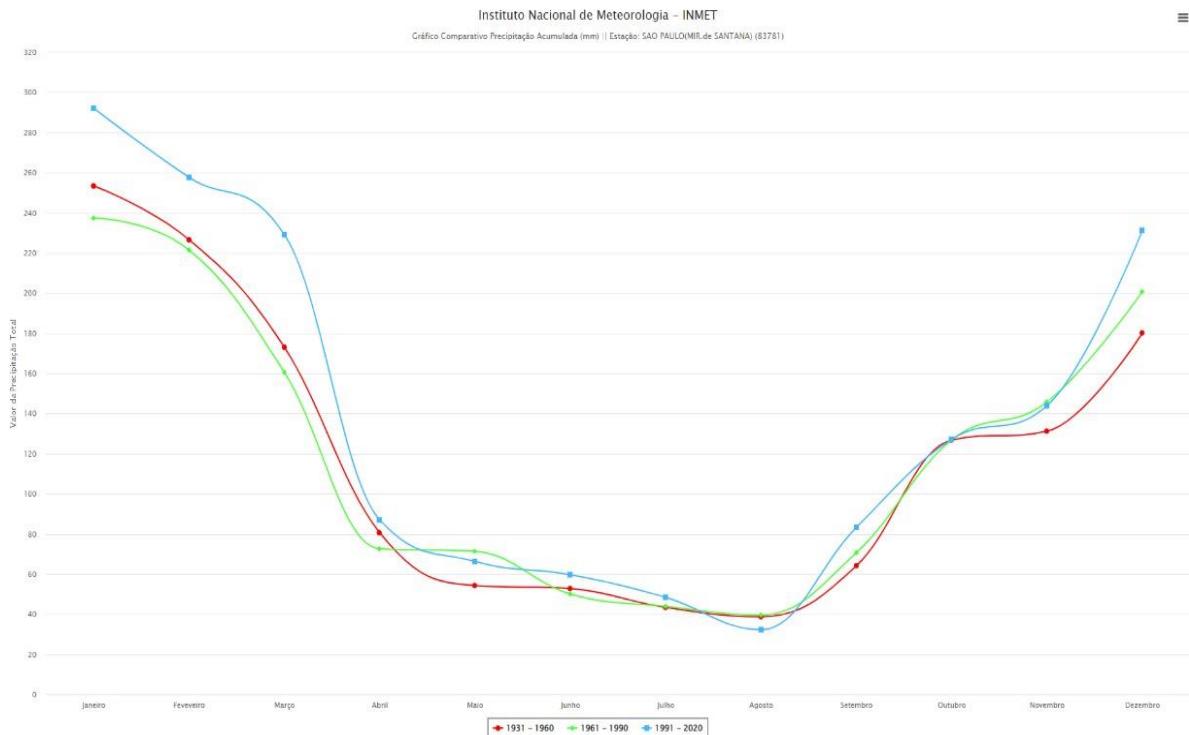
A temperatura média anual fica em torno de 19 °C, com médias mensais próximas de 22–24 °C no verão, em janeiro e fevereiro e entre 15-16 °C no inverno, entre junho e julho, como apresentado no Gráfico 5 (INMET, 2020). A precipitação anual média é em torno de 1.400–1.500 mm, tendo como a estação mais chuvosa o verão, de dezembro a março, com cerca de 200 mm por mês e mais seca o inverno, de junho a agosto com aproximadamente 40 a 60 mm por mês, como mostra o Gráfico 6 (INMET, 2020). Os ventos predominam de leste a sudeste, com velocidades médias de 2–3 m/s (CETESB, 2021).

Gráfico 5 — Gráfico comparativo de temperatura média (°C) para a cidade de São Paulo e região metropolitana



Fonte: Estação Mirante de Santana, São Paulo (INMET, 2020)

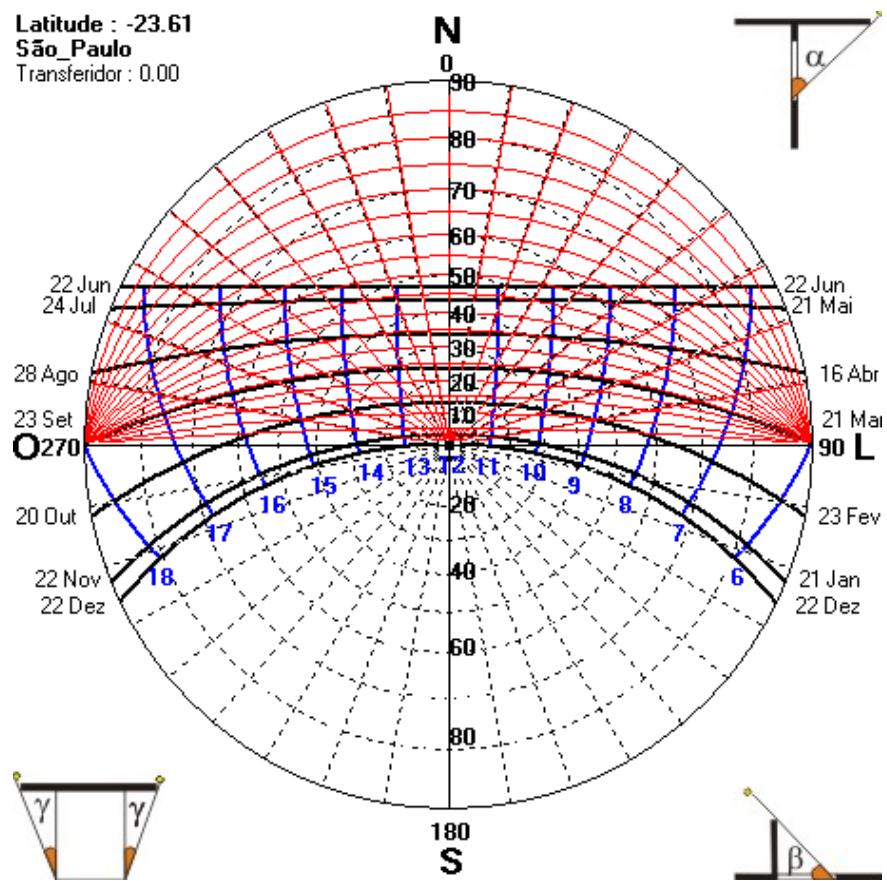
Gráfico 6 — Gráfico comparativo de precipitação acumulada (mm) para a cidade de São Paulo e região metropolitana



Fonte: Estação Mirante de Santana, São Paulo (INMET, 2020)

A carta solar apresentada na Figura 13 corresponde à latitude aproximada de  $-23,61^{\circ}$ , região metropolitana de São Paulo, incluindo Santo André – SP e representa graficamente a trajetória aparente do Sol no céu ao longo do ano. As linhas curvas coloridas indicam os diferentes caminhos solares para datas específicas ao longo do ano, destacando-se os solstícios e equinócios. A carta solar da cidade de Santo André – SP indica inclinações solares entre  $33^{\circ}$  e  $83^{\circ}$  ao meio-dia.

Figura 13 — Carta Solar para Santo André – SP



Fonte: Elaborado pelo autor no programa SOL-AR (LABEEE – UFSC, 2025)

### 3.2.3 IMPLANTAÇÃO DO EDIFÍCIO

O edifício fica implantado no bairro Campestre, em uma das principais avenidas da cidade de Santo André - SP, conforme ilustrado na Figura 14 e Figura 15, em uma região caracterizada pelo uso misto das edificações, distribuídos entre comércio, serviços e residências, com forte presença da verticalização das residências.

Figura 14 – Entorno do edifício objeto de estudo – Bairro Campestre



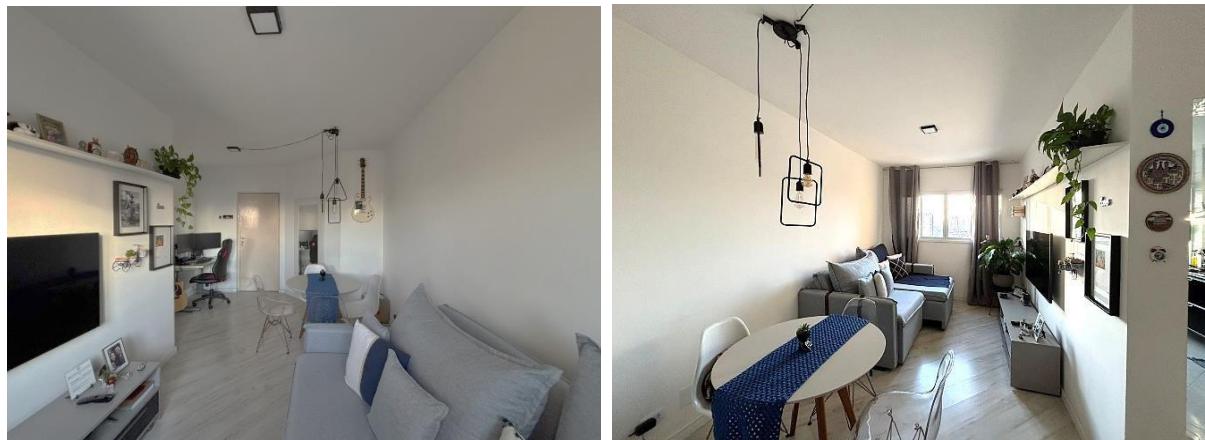
Fonte: Google (2025)

### 3.2.4 REPRESENTAÇÕES GRÁFICAS DO AMBIENTE

Este estudo, analisa um dos ambientes do apartamento localizado no décimo andar de uma edificação de dez pavimentos, com  $45,66m^2$  composto por um quarto, sala de estar e jantar, cozinha, área de serviço e banheiro. O ambiente escolhido para análise, a sala de estar e jantar integradas com uma área de escritório, possui  $17,70m^2$  e uma janela para atender a iluminação e ventilação deste local, conforme fotos apresentadas na Figura 15 registradas no mês de julho de 2025 às 17 horas.

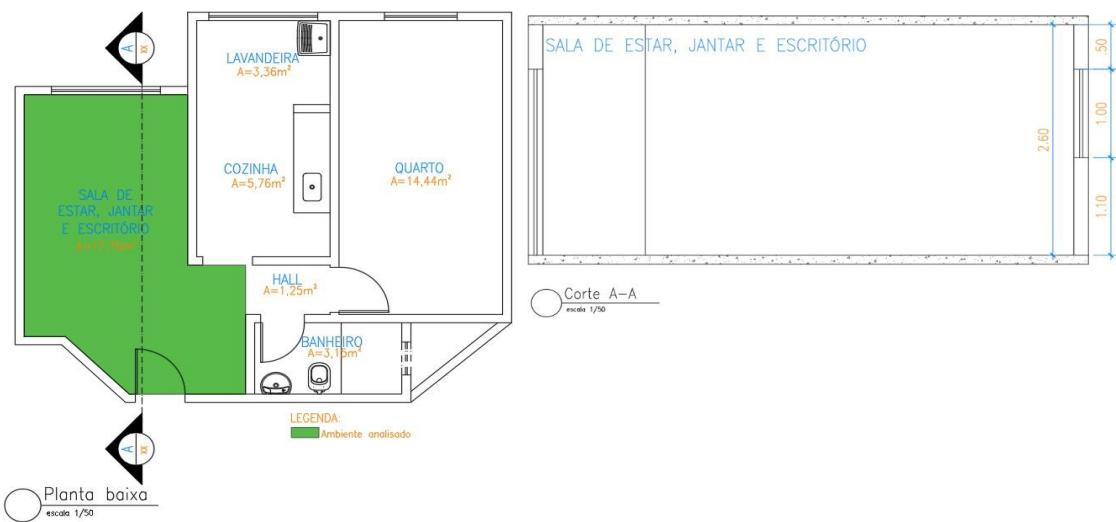
As dimensões e detalhes técnicos do ambiente estão representados na Figura 16, através de planta baixa e o corte.

Figura 15 — Fotos do ambiente analisado



Fonte: Autor (2025)

Figura 16 — Planta baixa do apartamento e Corte do ambiente analisado



Fonte: Autor (2025)

### 3.2.5 APLICAÇÃO DOS DADOS

Após o levantamento das informações sobre o edifício residencial objeto deste estudo, e com base nas premissas do Diagrama Morfológico (Amorim, 2007), os dados foram organizados e classificados em Nível, Parâmetros e Variáveis, conforme as categorias definidas pelo método. O Quadro 2 apresenta a classificação dos parâmetros e variáveis do Nível I – Espaço Urbano, incluindo desenho urbano, a refletância e a especularidade das fachadas, além do ângulo máximo de incidência solar. As variáveis atribuídas a cada parâmetro caracterizam o contexto urbano do entorno imediato do edifício estudado. As informações acerca das particularidades do edifício encontram-se no Quadro 3, no qual são apresentadas a classificação dos parâmetros e variáveis no Nível II – Edifício, descrevendo características como planta baixa, taxa e distribuição das aberturas, proteções solares, existência de aberturas zenitais e mecanismos de ventilação natural. Essa sistematização permite compreender as qualidades morfológicas e funcionais do edifício analisado. O Quadro 4 apresenta a classificação dos parâmetros e variáveis no Nível III – Ambiente Interno. Nela são encontrados dados mais específicos em relação à característica do ambiente, incluindo modelo de aberturas, proteções relacionadas à insolação e ventilação e iluminação artificial.

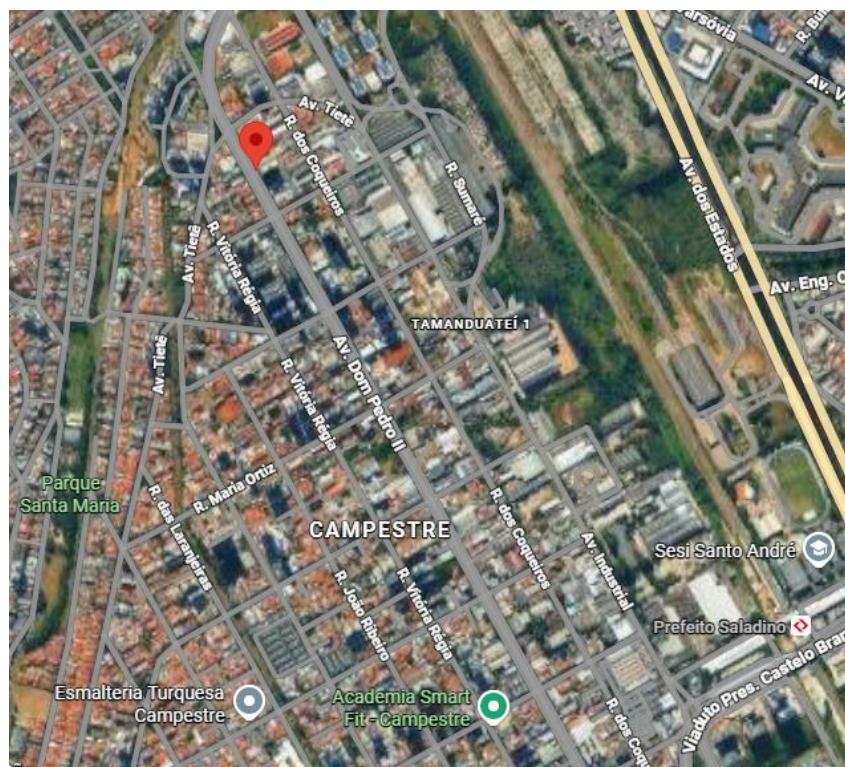
Quadro 2 — Classificação de parâmetros e variáveis no Nível I – Espaço Urbano

NÍVEL	PARÂMETROS	VARIÁVEIS	
I Espaço Urbano	<b>A</b> Desenho urbano	<b>A1</b> Pequenos quarteirões irregulares	
	<b>B</b> Refletância das fachadas	<b>B2</b> Média	
	<b>C</b> Especularidades das fachadas	<b>C3</b> Baixa	
	<b>D</b> Ângulo máximo de incidência do sol nas fachadas do edifício	<b>D3</b> Ângulo de 60° a 90°	

Fonte: Autor (2025)

A Figura 17, Figura 18 e Figura 19 ilustram as variáveis em que o objeto de estudo encontra-se classificado.

Figura 17 — Desenho urbano caracterizado por pequenos quarteirões irregulares



Fonte: Google (2025)

Figura 18 — Refletância e especularidades das fachadas



Fonte: Do Autor (2025)

Figura 19 — Ângulo máximo de incidência do sol nas fachadas do edifício



Fonte: Google (2025)

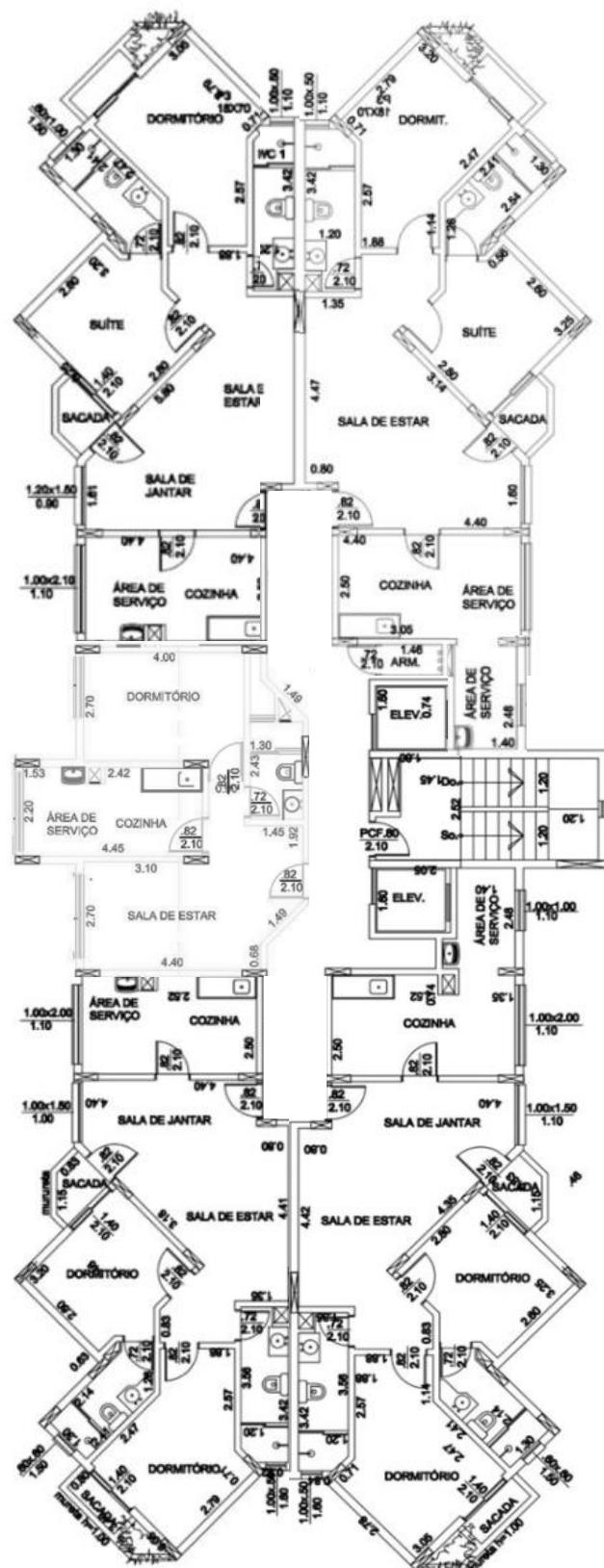
Quadro 3 — Classificação de parâmetros e variáveis no Nível II – Edifício

NÍVEL	PARÂMETROS	VARIÁVEIS	
II Edifício	E Planta baixa e forma	E1 Edifício com planta profunda	
	F Taxa de abertura para o exterior	F1 Até 25% de aberturas	
	G Distribuição das aberturas	G1 Fachadas uniformes	
	H Proteções solares nas fachadas	H1 Pórticos e varandas	
	I Aberturas Zenitais	I6 Não há	
	J Mecanismos de ventilação natural	J4 Abertura única	

Fonte: Autor (2025)

O Parâmetro E referente à Planta baixa e forma do edifício, classificado como E1 – Edifício com planta profunda, está ilustrado na Figura 20. Em relação aos parâmetros F – Taxa de abertura, G – Distribuição das aberturas e H – Proteções solares nas fachadas, é possível a classificação de suas variáveis na Figura 18 e Figura 19, que ilustram as variáveis. A ausência de aberturas zenitais, classificada no Parâmetro I, é apresentada na planta baixa do edifício na Figura 20. O Parâmetro J – Mecanismos de ventilação natural, classificado como variável J4 – Abertura única, é apresentado na Figura 15.

Figura 20 — Planta baixa do edifício



Fonte: Autor (2025)

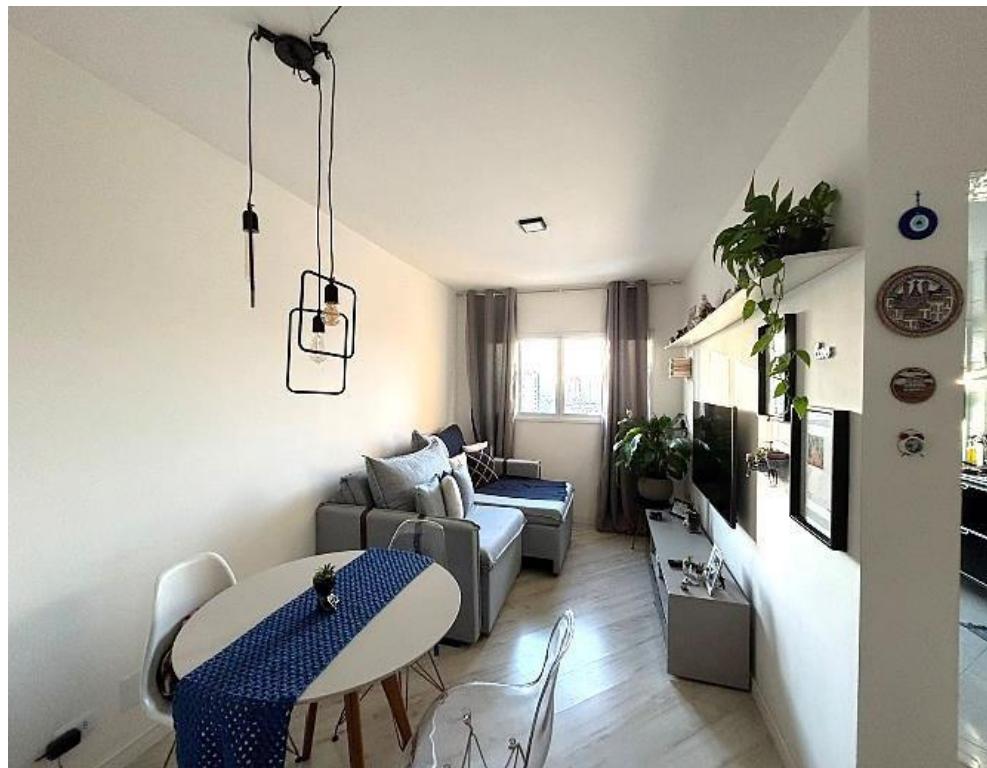
Quadro 4 — Classificação de parâmetros e variáveis no Nível III – Ambiente Interno

NÍVEL	PARÂMETROS	VARIÁVEIS	
III Ambiente Interno	L Planta baixa	L1 Unilateral	
	M Posição do coletor de luz	M1 Centro do plano lateral	
	N Área do coletor e difusor de luz	N2 Abertura lateral de 15% a 30%	
	O Forma do coletor de luz	O2 Janela horizontal	
	P Controle de entrada de luz	P6 Cortinas, películas ou vidros especiais	
	Q Controle de ventilação natural	Q1 Janela de correr	
	R Controle e integração da iluminação artificial	R1 On/off manual	

Fonte: Autor (2025)

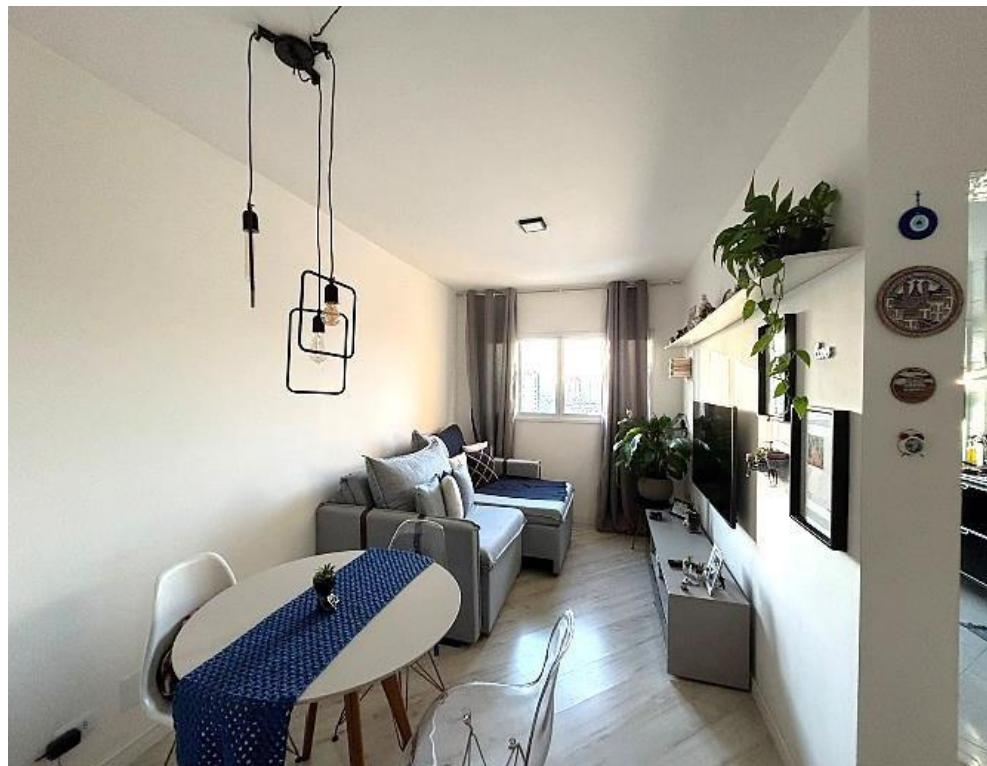
O Parâmetro L – Planta baixa, classificado como L1 – Unilateral, dentro das possíveis variáveis apresentadas pode ser confirmado na Figura 16. As variáveis classificadas nos Parâmetros M – Posição do coletor de luz, N – Área do coletor de luz, O – Forma do coletor de luz, P – Controle de entrada de luz e Q – Controle de ventilação natural são apresentadas na Figura 21. A Figura 22 apresenta o Parâmetro R – Controle e integração da iluminação artificial, classificado como variável R1 – On/Off manual.

Figura 21 — Posição do coletor de luz, área do coletor de luz, forma do coletor de luz, controle de entrada de luz e controle de ventilação natural



Fonte: Autor (2025)

Figura 22 — Controle e integração da iluminação artificial – On/Off manual



Fonte: Autor (2025)

O edifício está implantado de forma a posicionar apartamentos nos quatro pontos cardeais: Norte, Sul, Leste e Oeste. Para garantir um maior controle da insolação incidente nos ambientes, o ideal seria que cada fachada recebesse um tratamento específico e mais adequado à sua orientação solar. No entanto, conforme evidenciado na análise do Diagrama Morfológico e Figura 12 e Figura 20, as fachadas apresentam uma distribuição uniforme de aberturas, adotando o mesmo padrão para todas as orientações. Essa solução homogênea pode resultar em desconforto térmico ou luminoso em determinados apartamentos, dependendo de sua exposição solar levando-se também em consideração o alto grau de incidência solar no edifício, que varia em um ângulo de 60° a 90°.

Apesar de alguns apartamentos do edifício possuírem varandas que auxiliam no controle da incidência solar, o apartamento analisado neste estudo não dispõe desse recurso. Conforme indicado na planta baixa, suas aberturas estão voltadas para o Oeste, o que o expõe à incidência solar no período da tarde, sendo que a única forma de proteção utilizada consiste em cortinas. Segundo o Diagrama Morfológico (Amorim, 2007), a forma do coletor de luz é caracterizada por janelas horizontais com folhas de correr, com vãos entre 15% e 30%, o que, de acordo com a análise visual do local, proporciona uma recepção considerada satisfatória de iluminação natural no ambiente.

Devido a configuração espacial dos apartamentos nos pavimentos, não há ventilação cruzada, o que pode gerar desconforto térmico em períodos mais quentes. Em relação ao controle de integração da iluminação artificial, não há dispositivos que possibilitem a regulagem de intensidade luminosa, sendo utilizados apenas interruptores manuais do tipo *on/off*, conforme variável identificada no Diagrama Morfológico (Amorim, 2007) e apresentado na Figura 22.

### 3.2.6 ANÁLISES DOS RESULTADOS

Os dados obtidos por meio do Diagrama Morfológico (Amorim, 2007) permitem analisar os efeitos sobre o ciclo circadiano dos usuários. O tratamento homogêneo das fachadas, por exemplo, interfere diretamente nesse ritmo biológico, ao não possibilitar um controle adequado da luz natural ao longo do dia, dificultando

a exposição matinal mais suave e intensificando a incidência solar no período vespertino, como ocorre no apartamento voltado para o Noroeste, objeto deste estudo. O fato de as aberturas ocuparem entre 15% e 30% da área da parede, intensifica o ganho de luz no período da tarde o que pode atrasar a diminuição natural da luz no período pré-noturno, dificultando o início da produção de melatonina e a preparação fisiológica para o sono. Além disso, o sistema de iluminação artificial limitado a interruptores *on/off*, sem dispositivos de ajuste de intensidade, não permite compensar adequadamente as variações de luz natural, impedindo uma transição controlada para níveis mais baixos de iluminância no período noturno. Isso reforça a exposição prolongada a estímulos luminosos intensos e frios, potencialmente desregulando o ciclo circadiano dos moradores. Ainda que haja diversidade de tipos de iluminação na área integrada de estar, jantar e escritório, a ausência de controle de intensidade limita seu potencial para apoiar a higiene circadiana adequada.

Para entender se a iluminação artificial do local se encontra adequada às atividades do ambiente e o impacto que ela exerce no ciclo circadiano, será realizada uma análise com base na metodologia da Planilha Lucas (Lucas, 2013).

### 3.3 ANÁLISE ACERCA DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL SEGUNDO A PLANILHA DE LUCAS

Como foi exposto anteriormente neste estudo, a Planilha de Lucas (2013) adota as metodologias para o cálculo da iluminância melanópica (*Equivalent Melanopic Lux – EML*), que mensura o impacto de uma fonte de luz nos fotorreceptores não visuais, e a Razão M/P (*Melanopic/Photopic Ratio*), que faz a comparação entre a iluminância melanópica (M) e a iluminância fotópica convencional (P), utilizada para avaliar a luz percebida visualmente. A aplicação da metodologia de cálculo da EML na residência, objeto deste estudo, visa analisar a iluminação artificial utilizada pelos moradores e medir o estímulo biológico e a intensidade circadiana da luz e a metodologia Razão M/P objetiva avaliar a composição espectral da luz, indicando se ela é mais avermelhada ou azulada.

Para o desenvolvimento do estudo, foi realizado um levantamento do local, com a coleta de informações dos tipos de lâmpadas utilizadas no ambiente, através de

registros fotográficos e apuração de informações técnicas retiradas do site das fabricantes das lâmpadas.

### 3.3.1 LEVANTAMENTO DAS INFORMAÇÕES DO LOCAL

O ambiente analisado, uma sala de estar e jantar integrada a uma área de escritório, localizada no décimo andar de um edifício residencial, trata-se de um espaço destinado a três tipos distintos de atividades, para os quais se recomenda a adoção de diferentes tipos de iluminação, de modo a atender adequadamente cada uso.

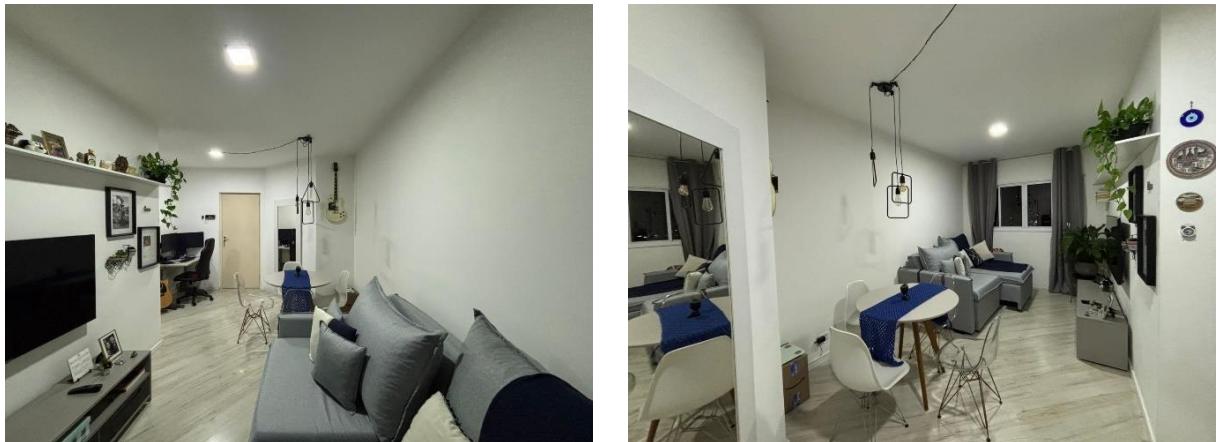
Originalmente, o ambiente não possui forro rebaixado, apresentando dois pontos de iluminação geral, compostos por luminárias modelo Plafon de sobrepor, posicionadas no centro da área de estar e da área de jantar, que para este estudo será caracterizado como fonte de luz 1, conforme apresentado na Figura 17.

No local há também uma luminária pendente posicionada acima da mesa de jantar, composto por um trio de lâmpadas, que será caracterizado como fonte de luz 2, como mostra a Figura 18.

As características técnicas da fonte de luz 1, conforme apresentado no site da fabricante Avant (2025) são apresentadas a seguir:

- Modelo: Painel Pop Sobrepor Quadrado 12W
- Marca: Avant
- Temperatura de cor: 6500 K
- Potência: 12 W
- Fluxo luminoso: 720 lm
- Dimensões: 170 mm (altura) × 170 mm (largura) × 30 mm (profundidade)

Figura 23 — Fonte de luz 1 do ambiente: Painel de sobrepor quadrado com temperatura de cor de 6.500 K



Fonte: Autor (2025)

A fonte de luz 2 apresenta as seguintes especificações técnicas, conforme informações disponibilizadas no site da fabricante Elgin (2025):

#### Lâmpada 1

- Modelo: Lâmpada de filamento – ST64;
- Marca: Elgin;
- Temperatura de cor: 2.200 K;
- Potência: 4 W;
- Fluxo luminoso: 300 lm;
- Dimensões: 140 mm (altura) × 60 mm (largura) × 40 mm (profundidade).

#### Lâmpada 2

- Modelo: Lâmpada de filamento Led – G45;
- Marca: Elgin;
- Temperatura de cor: 2.200 K;
- Potência: 2 W;
- Fluxo luminoso: 150 lm;
- Dimensões: 85 mm (altura) × 85 mm (largura).

### Lâmpada 3

- Modelo: Lâmpada de filamento Led – E27;
- Marca: Elgin;
- Temperatura de cor: 2.200 K;
- Potência: 2 W;
- Fluxo luminoso: 200 lm;
- Dimensões: 180 mm (altura) × 30 mm (largura) × 30 mm (profundidade).

Figura 24 — Fonte de luz 2 do ambiente: Luminária pendente com três lâmpadas com temperatura de cor de 2.200K



Fonte: Autor (2025)

### 3.3.2 APLICAÇÃO DOS DADOS

A análise da iluminação artificial do ambiente teve início com a busca por informações sobre os fabricantes das lâmpadas e luminárias instaladas no local. Em seguida, foram consultados os sites de cada fabricante para obter as informações técnicas necessárias ao preenchimento da planilha.

O objetivo inicial do estudo era inserir os dados da distribuição espectral de cada lâmpada na Planilha de Lucas (Lucas, 2013), conforme o exemplo apresentado neste estudo. No entanto, nenhuma das duas fabricantes disponibilizou essas informações em seus sites. Como alternativa, foi adotado o recurso do *Approximate mode* (modo aproximado), indicado no item 1 da planilha *Select mode*, recomendado para situações em que as informações detalhadas dos equipamentos não estão disponíveis.

### 3.3.3 RESULTADOS OBTIDOS NA ANÁLISE DA FONTE DE LUZ 1

O preenchimento dos dados foi iniciado no item 2, intitulado *Details of light measurement*, no qual foram inseridas as informações referentes à fonte luminosa, sendo selecionada a opção “D”, correspondente ao iluminante padrão D65 — representativo da luz natural ao meio-dia, com temperatura de cor em torno de 6.504 K. Essa escolha se justifica pela semelhança com a temperatura de cor da luminária analisada. A unidade de iluminância (*Units*) escolhida foi lux, representado pela letra “L” na tabela. Por fim, o campo *Amount* foi preenchido com os valores de iluminância (lux) informados pelos fabricantes em seus respectivos sites, conforme apresentado na Figura 19.

Figura 24 — Preenchimento dos dados da fonte de luz 1 para análise

**Irradiance Toolbox**

1)	Title	Enter title here for printing																																						
1) Select mode <b>approximate mode</b> i. Select illuminant details below ii. Example spectra A, D, F and L are not necessarily representative iii. Consider entering 1nm or 5nm spectral data for more accurate results																																								
2) Details of light measurement Light source <b>D</b> daylight Units <b>L</b> illuminance Amount <b>720,00</b> lux																																								
3) For blackbody or narrowband sources Blackbody temperature <b>4200</b> nm Narrowband peak <b>420</b> Narrowband FWHM <b>42</b> Peak spectral irradiance <b>460</b>																																								
4) Photopic illuminance Optional prefix Photopic Sensitivity $\lambda_{\max}$ Subscript Curve lux <b>Photopic</b> <b>Visibility</b> <b>555,0</b> <b>n/a</b> <b>V(λ)</b> <b>720,00</b>																																								
5) Human retinal photopigment complement (all weighted) <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Prefix</th> <th>Sensitivity</th> <th><math>\lambda_{\max}</math></th> <th><math>\alpha</math> in <math>N_{\alpha}(\lambda)</math></th> <th>Curve</th> <th><math>\alpha</math>-opic lux</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cyanopic</td> <td>S cone</td> <td>419,0</td> <td>sc</td> <td><math>N_{sc}(\lambda)</math></td> <td>765,42</td> </tr> <tr> <td>Melanopic</td> <td>Melanopsin</td> <td>480,0</td> <td>z</td> <td><math>N_z(\lambda)</math></td> <td>794,93</td> </tr> <tr> <td>Rhodopic</td> <td>Rod</td> <td>496,3</td> <td>r</td> <td><math>N_r(\lambda)</math></td> <td>781,95</td> </tr> <tr> <td>Chloropic</td> <td>M cone</td> <td>530,8</td> <td>mc</td> <td><math>N_{mc}(\lambda)</math></td> <td>749,20</td> </tr> <tr> <td>Erythropic</td> <td>L cone</td> <td>558,4</td> <td>lc</td> <td><math>N_{lc}(\lambda)</math></td> <td>715,77</td> </tr> </tbody> </table>					Prefix	Sensitivity	$\lambda_{\max}$	$\alpha$ in $N_{\alpha}(\lambda)$	Curve	$\alpha$ -opic lux	Cyanopic	S cone	419,0	sc	$N_{sc}(\lambda)$	765,42	Melanopic	Melanopsin	480,0	z	$N_z(\lambda)$	794,93	Rhodopic	Rod	496,3	r	$N_r(\lambda)$	781,95	Chloropic	M cone	530,8	mc	$N_{mc}(\lambda)$	749,20	Erythropic	L cone	558,4	lc	$N_{lc}(\lambda)$	715,77
Prefix	Sensitivity	$\lambda_{\max}$	$\alpha$ in $N_{\alpha}(\lambda)$	Curve	$\alpha$ -opic lux																																			
Cyanopic	S cone	419,0	sc	$N_{sc}(\lambda)$	765,42																																			
Melanopic	Melanopsin	480,0	z	$N_z(\lambda)$	794,93																																			
Rhodopic	Rod	496,3	r	$N_r(\lambda)$	781,95																																			
Chloropic	M cone	530,8	mc	$N_{mc}(\lambda)$	749,20																																			
Erythropic	L cone	558,4	lc	$N_{lc}(\lambda)$	715,77																																			
6) Unweighted summations from 380 to 780 nm inclusive <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Quantity</th> <th>Units</th> <th>Amount</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Irradiance</td> <td><math>\mu\text{W}/\text{cm}^2</math></td> <td>353,78</td> </tr> <tr> <td>Photon flux</td> <td><math>1/\text{cm}^2/\text{s}</math></td> <td>1,01E+15</td> </tr> <tr> <td>Log photon flux</td> <td><math>\log_{10}(1/\text{cm}^2/\text{s})</math></td> <td>15,00</td> </tr> </tbody> </table>					Quantity	Units	Amount	Irradiance	$\mu\text{W}/\text{cm}^2$	353,78	Photon flux	$1/\text{cm}^2/\text{s}$	1,01E+15	Log photon flux	$\log_{10}(1/\text{cm}^2/\text{s})$	15,00																								
Quantity	Units	Amount																																						
Irradiance	$\mu\text{W}/\text{cm}^2$	353,78																																						
Photon flux	$1/\text{cm}^2/\text{s}$	1,01E+15																																						
Log photon flux	$\log_{10}(1/\text{cm}^2/\text{s})$	15,00																																						

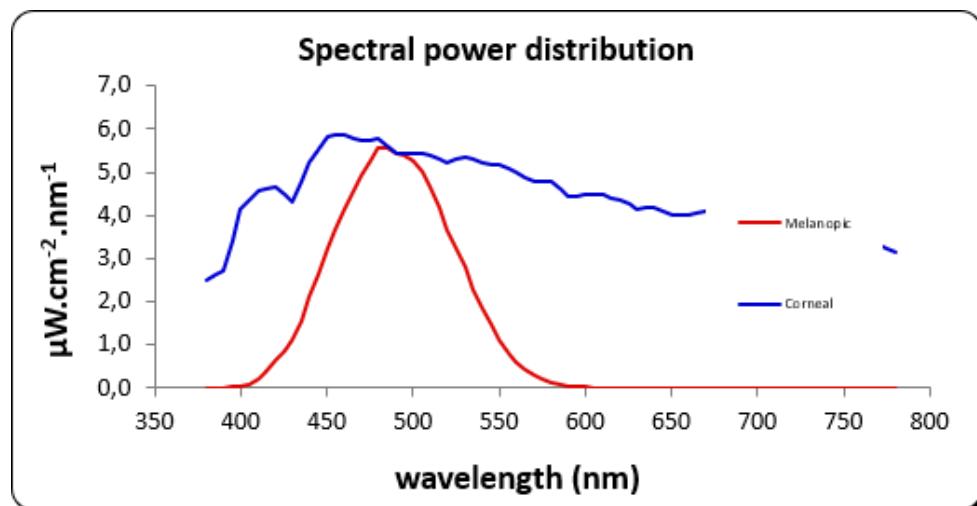
Fonte: Autor (2025)

Os resultados, representam diversos aspectos da análise espectral da luz em

relação à resposta dos fotorreceptores humanos.

O Gráfico 7, *Spectral power distribution* (distribuição da potência espectral), apresenta 2 curvas, representadas pela estimulação das células fotorreceptoras visuais na cor azul (*corneal*) e o estímulo dos receptores melanopsínicos, representando as células não visuais na cor vermelha (*melanopic*). Os resultados mostram que as respostas visuais foram estimuladas no pico de aproximadamente  $6,0 \text{ } \mu\text{W.cm}^{-2}.\text{nm}^{-1}$ . Além disso, é possível notar que a córnea, representada pela curva azul, foi estimulada entre 450 nm e 500 nm no espectro de luz azul, região de maior sensibilidade da melanopsina. Outro fator importante a ser analisado que corrobora com a análise anterior é que comprimentos de onda menores correspondem a cores mais próximas do violeta e azul, e como pode ser observado, a curva melanópica apresenta um comprimento de onda com essas características. A curva vermelha mostra que a maior parte da energia luminosa está concentrada entre 450 e 550 nm, o que corresponde principalmente à luz azul e verde e representa que a iluminação pode ser caracterizada como “luz fria”.

Gráfico 7 — Distribuição da potência espectral referente à fonte de luz 1 com temperatura de cor de 6.500K

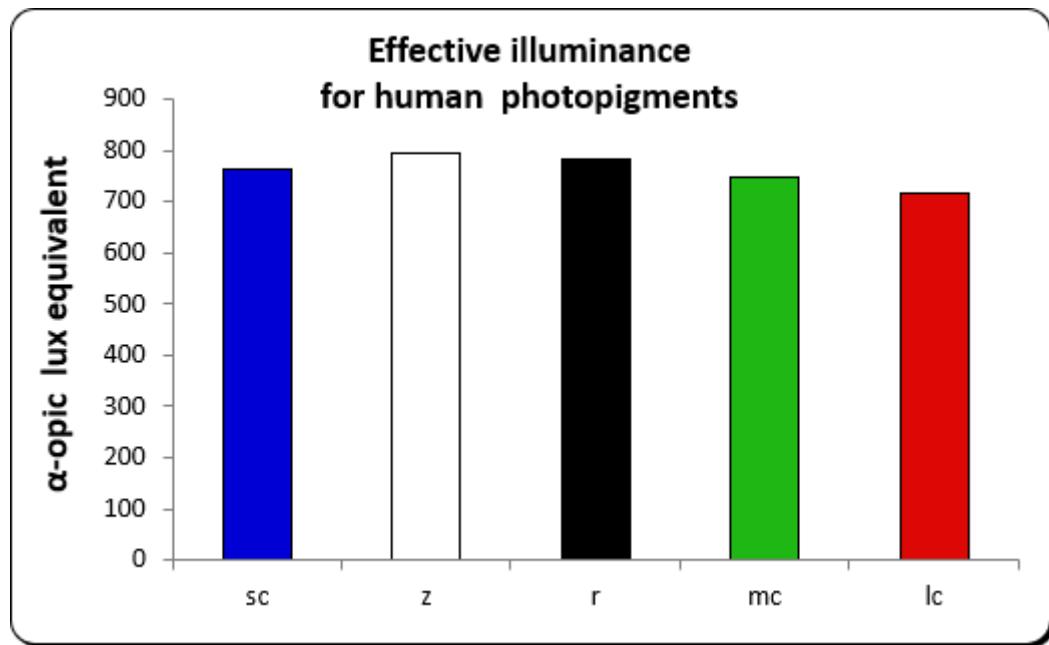


Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

O Gráfico 8 Effective Illuminance for Human Photopigments (Iluminância efetiva para fotopigmentos humanos), conforme já explicado anteriormente nesta pesquisa, possibilita a comparação da reação de distintos fotorreceptores a uma

mesma fonte luminosa, mostrando seu possível impacto tanto na visão quanto em funções não visuais. A barra de cada pigmento indica a quantidade de luz efetiva que excita esse tipo de fotopigmento, ou seja, o quanto a luz considerada estimula cada um desses pigmentos. O resultado da inserção das informações da fonte de luz 1 indica que a iluminação analisada provoca níveis semelhantes de ativação para todos os fotopigmentos listados, com pequenas variações. Isso quer dizer que tanto as células visuais quanto as células não visuais são estimuladas da mesma maneira.

Gráfico 8 — Iluminância efetiva para fotopigmentos humanos referente à fonte de luz 1 com temperatura de cor de 6.500K



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Representada pela cor azul no gráfico, a barra correspondente aos cones S curtos (sc), que combinados com os sinais dos cones M e L permitem a percepção de uma ampla gama de cores e estão associados também ao ciclo circadiano, apresenta um valor elevado no eixo de iluminância efetiva ( $\alpha$ -optic lux), atingindo aproximadamente 770 lux. Esse resultado indica uma forte presença de luz azul emitida pela lâmpada analisada, uma vez que os cones S são sensíveis a comprimentos de onda curtos, especialmente na faixa entre 420 e 440 nanômetros.

Os cones M (mc) médios e cones L (lc) longos, assim como os cones S, são responsáveis principalmente pela visão fotópica (em luz diurna) e pela percepção das

cores. Os cones M se apresentam mais sensíveis à luz de comprimento de onda longo, ou seja, vermelho, com tamanho aproximado de 560 nm a 580 nm, já os cones L são mais sensíveis ao comprimento de onda médio, aproximadamente 530 nm a 550 nm. O fato das barras verde e vermelha, que representam os cones M e cones L, se apresentarem elevadas no eixo da iluminância efetiva ( $\alpha$ -opic lux), pode indicar que a fonte de luz 1 emite quantidades significativas de luz nos comprimentos de onda referentes a cor verde e vermelho. O que pode representar que a fonte de luz oferece uma boa reprodução de cores, o que é importante em determinadas tarefas visuais e percepção do ambiente.

A barra na cor branca (z) no Gráfico 8 representa a melanopsina, fotopigmento sensível à luz azul, associada às células ganglionares intrinsecamente fotossensíveis (ipRGCs). O valor aproximado de 800 lux no eixo da iluminância efetiva ( $\alpha$ -opic lux) indica uma alta estimulação da melanopsina pela fonte de luz analisada. Considerando que sua sensibilidade máxima ocorre em torno de 480 nm, conclui-se que o espectro da lâmpada possui componente azul significativo. Essa elevada estimulação pode ativar intensamente as ipRGCs, o que, quando ocorre em horários inadequados, pode contribuir para alterações no ritmo circadiano e possíveis impactos negativos na regulação do ciclo sono-vigília.

O fato de a barra na cor preta, que representa os bastonetes (r) estar elevada indica que a lâmpada de 6.500 K emite luz com comprimento de onda suficiente para estimular fortemente os bastonetes. Isso reflete um espectro com alta componente azul-verde, e mostra que a fonte de luz tem potencial para ativar mecanismos visuais relacionados à visão periférica e ao contraste, mesmo que os bastonetes não sejam os principais responsáveis pela visão em ambientes iluminados.

### 3.3.4 ANÁLISES DOS RESULTADOS

A distribuição relativamente homogênea entre os fotopigmentos sugere que se trata de uma fonte de luz branca artificial com espectro amplo, possivelmente com elevado conteúdo na faixa azul e temperatura de cor. No que diz respeito ao impacto no ciclo circadiano, essa fonte apresenta alto potencial de interferência, pois estimula intensamente os fotorreceptores não visuais da retina, em especial as células

ganglionares intrinsecamente fotossensíveis (ipRGCs), que contêm melanopsina. A ativação dessas células pela luz azul inibe a produção de melatonina pela glândula pineal — hormônio essencial para a indução do sono e pode levar à desregulação dos ritmos circadianos (Souza, 2021). Embora esse tipo de luz possa ser benéfico durante o dia, por promover o estado de alerta, sua exposição no período noturno, como ocorre no contexto de uso analisado, pode prejudicar o início do sono e comprometer a qualidade do ritmo biológico.

### 3.3.5 RESULTADOS OBTIDOS NA ANÁLISE DA FONTE DE LUZ 2

A fonte de luz 2, também analisada por meio do *Approximate mode* (modo aproximado), apresenta características distintas em relação à fonte de luz 1. No item *Details of light measurement*, a opção selecionada para a fonte de luz (*Light source*) foi a letra “A”, correspondente à luz incandescente, cuja temperatura de cor se assemelha à da fonte analisada nesta pesquisa, aproximadamente 2.856 K, justificando sua escolha para o estudo. A unidade de iluminância (*Units*) selecionada foi o lux, a mesma utilizada na análise da fonte de luz 1, sendo representada pela letra “L” na tabela. O campo *Amount*, por sua vez, foi preenchido com os valores de iluminância (em lux) fornecidos pelos próprios fabricantes em seus sites oficiais.

Como mencionado anteriormente, a Fonte de Luz 2 é composta por uma luminária com três lâmpadas de características semelhantes. Embora apresentem diferenças nos valores de iluminância (lux) e potência, todas possuem a mesma temperatura de cor, o que justifica sua análise conjunta como uma única fonte luminosa. Ainda assim, as três lâmpadas serão analisadas individualmente neste tópico, com o objetivo de verificar a consistência dos resultados.

A Figura 20 apresenta a inserção dos dados da Lâmpada 1. Já os dados das Lâmpadas 2 e 3 são representadas sucessivamente na Figura 21 e Figura 22.

Figura 25 — Preenchimento dos dados da fonte de luz 2 – Lâmpada 1

**Irradiance Toolbox**

Title	Enter title here for printing					
1) Select mode	approximate mode i. Select illuminant details below ii. Example spectra A, D, F and L are not necessarily representative iii. Consider entering 1nm or 5nm spectral data for more accurate results					
2) Details of light measurement	Light source A L Amount 300,00	incandescent illuminance lux				
3) For blackbody or narrowband sources	Blackbody temperature 4200 Narrowband peak 420 Narrowband FWHM 42	n/a n/a n/a	Peak spectral irradiance	nm n/a		
4) Photopic illuminance	Optional prefix Photopic	Sensitivity Visibility	$\lambda_{\max}$ 555,0	Subscript n/a	Curve V( $\lambda$ )	lux 300,00
5) Human retinal photopigment complement (all weighted)	Prefix Cyanopic Melanopic Rhodopic Chloropic Erythropic	Sensitivity S cone Melanopsin Rod M cone L cone	$\lambda_{\max}$ 419,0 480,0 496,3 530,8 558,4	$\alpha$ in $N_a(\lambda)$ sc z r mc lc	Curve $N_s(\lambda)$ $N_z(\lambda)$ $N_r(\lambda)$ $N_{mc}(\lambda)$ $N_{lc}(\lambda)$	$\alpha$ -opic lux 94,77 164,18 192,84 250,55 300,49
6) Unweighted summations from 380 to 780 nm inclusive	Quantity Irradiance Photon flux Log photon flux	Units $\mu W/cm^2$ $1/cm^2/s$ $\log_{10}(1/cm^2/s)$	Amount 194,63 6,40E+14 14,81			

Fonte: Autor (2025)

Figura 26 — Preenchimento dos dados da fonte de luz 2 – Lâmpada 2

**Irradiance Toolbox**

Title	Enter title here for printing					
1) Select mode	approximate mode i. Select illuminant details below ii. Example spectra A, D, F and L are not necessarily representative iii. Consider entering 1nm or 5nm spectral data for more accurate results					
2) Details of light measurement	Light source A L Amount 200,00	incandescent illuminance lux				
3) For blackbody or narrowband sources	Blackbody temperature 4200 Narrowband peak 420 Narrowband FWHM 42	n/a n/a n/a	Peak spectral irradiance	nm n/a		
4) Photopic illuminance	Optional prefix Photopic	Sensitivity Visibility	$\lambda_{\max}$ 555,0	Subscript n/a	Curve V( $\lambda$ )	lux 200,00
5) Human retinal photopigment complement (all weighted)	Prefix Cyanopic Melanopic Rhodopic Chloropic Erythropic	Sensitivity S cone Melanopsin Rod M cone L cone	$\lambda_{\max}$ 419,0 480,0 496,3 530,8 558,4	$\alpha$ in $N_a(\lambda)$ sc z r mc lc	Curve $N_s(\lambda)$ $N_z(\lambda)$ $N_r(\lambda)$ $N_{mc}(\lambda)$ $N_{lc}(\lambda)$	$\alpha$ -opic lux 63,18 109,46 128,56 167,03 200,33
6) Unweighted summations from 380 to 780 nm inclusive	Quantity Irradiance Photon flux Log photon flux	Units $\mu W/cm^2$ $1/cm^2/s$ $\log_{10}(1/cm^2/s)$	Amount 129,75 4,27E+14 14,63			

Fonte: Autor (2025)

Figura 27 — Preenchimento dos dados da fonte de luz 2 – Lâmpada 3

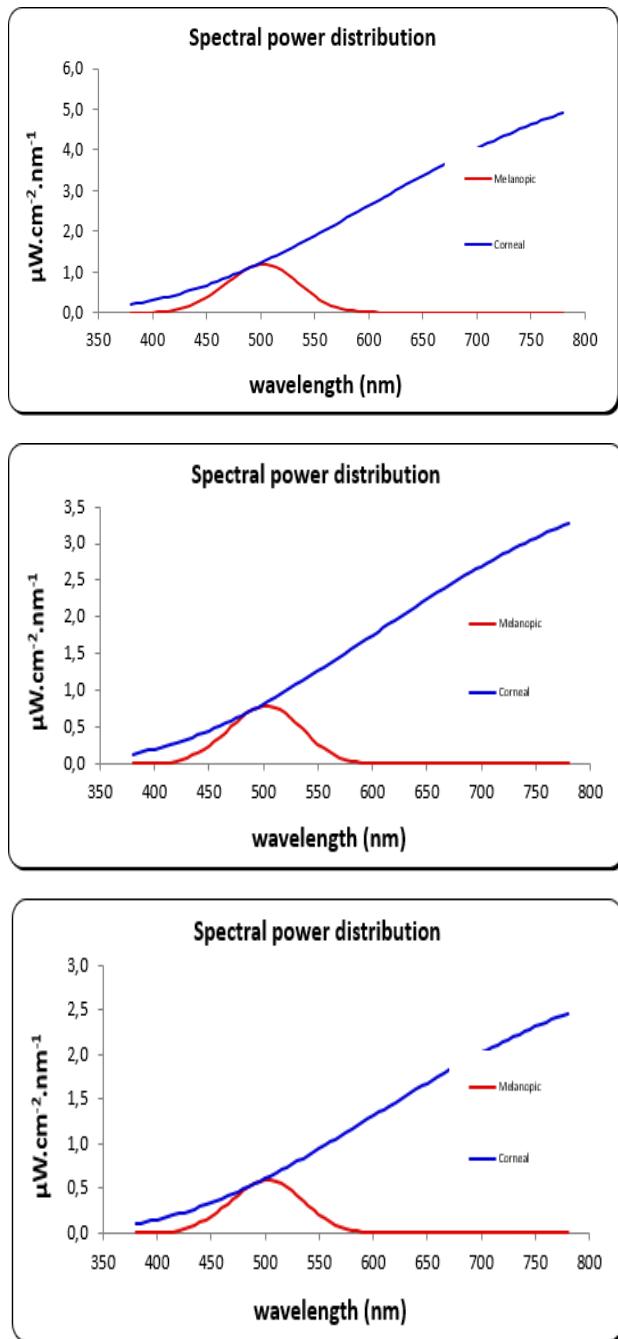
**Irradiance Toolbox**

1)	Title	Enter title here for printing																																																	
2) Select mode		approximate mode i. Select illuminant details below ii. Example spectra A, D, F and L are not necessarily representative iii. Consider entering 1nm or 5nm spectral data for more accurate results																																																	
3) Details of light measurement		<table border="1" style="margin-bottom: 5px; width: 100%;"> <tr><td>Light source</td><td>A</td><td>incandescent</td></tr> <tr><td>Units</td><td>L</td><td>illuminance</td></tr> <tr><td>Amount</td><td>150,00</td><td>lux</td></tr> </table>		Light source	A	incandescent	Units	L	illuminance	Amount	150,00	lux																																							
Light source	A	incandescent																																																	
Units	L	illuminance																																																	
Amount	150,00	lux																																																	
4) For blackbody or narrowband sources		<table border="1" style="margin-bottom: 5px; width: 100%;"> <tr><td>Blackbody temperature</td><td>4200</td><td>n/a</td></tr> <tr><td>Narrowband peak</td><td>420</td><td>n/a</td></tr> <tr><td>Narrowband FWHM</td><td>42</td><td>n/a</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr><td style="width: 60%;">Peak spectral irradiance</td><td style="width: 40%;">nm</td></tr> <tr><td style="background-color: #FFFFCC;">n/a</td><td style="background-color: #FFFFCC;">n/a</td></tr> </table>		Blackbody temperature	4200	n/a	Narrowband peak	420	n/a	Narrowband FWHM	42	n/a	Peak spectral irradiance	nm	n/a	n/a																																			
Blackbody temperature	4200	n/a																																																	
Narrowband peak	420	n/a																																																	
Narrowband FWHM	42	n/a																																																	
Peak spectral irradiance	nm																																																		
n/a	n/a																																																		
5) Photopic illuminance		<table border="1" style="margin-bottom: 5px; width: 100%;"> <tr><td>Optional prefix</td><td>Sensitivity</td><td><math>\lambda_{\max}</math></td><td>Subscript</td><td>Curve</td><td></td></tr> <tr><td>Photopic</td><td>Visibility</td><td>555,0</td><td>n/a</td><td>V(λ)</td><td>lux</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr><td style="width: 60%;">150,00</td><td style="width: 40%;">lux</td></tr> <tr><td style="background-color: #FFFFCC;">150,00</td><td style="background-color: #FFFFCC;">lux</td></tr> </table>		Optional prefix	Sensitivity	$\lambda_{\max}$	Subscript	Curve		Photopic	Visibility	555,0	n/a	V(λ)	lux	150,00	lux	150,00	lux																																
Optional prefix	Sensitivity	$\lambda_{\max}$	Subscript	Curve																																															
Photopic	Visibility	555,0	n/a	V(λ)	lux																																														
150,00	lux																																																		
150,00	lux																																																		
6) Human retinal photopigment complement (all weighted)		<table border="1" style="margin-bottom: 5px; width: 100%;"> <tr><td>Prefix</td><td>Sensitivity</td><td><math>\lambda_{\max}</math></td><td><math>\alpha</math> in <math>N_d(\lambda)</math></td><td>Curve</td><td><math>\alpha</math>-opic lux</td></tr> <tr><td>Cyanopic</td><td>S cone</td><td>419,0</td><td>sc</td><td><math>N_s(\lambda)</math></td><td>47,38</td></tr> <tr><td>Melanopic</td><td>Melanopsin</td><td>480,0</td><td>z</td><td><math>N_z(\lambda)</math></td><td>82,09</td></tr> <tr><td>Rhodopic</td><td>Rod</td><td>496,3</td><td>r</td><td><math>N_r(\lambda)</math></td><td>96,42</td></tr> <tr><td>Chloropic</td><td>M cone</td><td>530,8</td><td>mc</td><td><math>N_{mc}(\lambda)</math></td><td>125,28</td></tr> <tr><td>Erythropic</td><td>L cone</td><td>558,4</td><td>lc</td><td><math>N_l(\lambda)</math></td><td>150,25</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr><td style="width: 60%;">97,31</td><td style="width: 40%;">α-opic lux</td></tr> <tr><td style="background-color: #FFFFCC;">97,31</td><td style="background-color: #FFFFCC;">α-opic lux</td></tr> <tr><td style="width: 60%;">3,20E+14</td><td style="width: 40%;">Amount</td></tr> <tr><td style="background-color: #FFFFCC;">3,20E+14</td><td style="background-color: #FFFFCC;">Amount</td></tr> <tr><td style="width: 60%;">14,51</td><td style="width: 40%;">Amount</td></tr> <tr><td style="background-color: #FFFFCC;">14,51</td><td style="background-color: #FFFFCC;">Amount</td></tr> </table>		Prefix	Sensitivity	$\lambda_{\max}$	$\alpha$ in $N_d(\lambda)$	Curve	$\alpha$ -opic lux	Cyanopic	S cone	419,0	sc	$N_s(\lambda)$	47,38	Melanopic	Melanopsin	480,0	z	$N_z(\lambda)$	82,09	Rhodopic	Rod	496,3	r	$N_r(\lambda)$	96,42	Chloropic	M cone	530,8	mc	$N_{mc}(\lambda)$	125,28	Erythropic	L cone	558,4	lc	$N_l(\lambda)$	150,25	97,31	α-opic lux	97,31	α-opic lux	3,20E+14	Amount	3,20E+14	Amount	14,51	Amount	14,51	Amount
Prefix	Sensitivity	$\lambda_{\max}$	$\alpha$ in $N_d(\lambda)$	Curve	$\alpha$ -opic lux																																														
Cyanopic	S cone	419,0	sc	$N_s(\lambda)$	47,38																																														
Melanopic	Melanopsin	480,0	z	$N_z(\lambda)$	82,09																																														
Rhodopic	Rod	496,3	r	$N_r(\lambda)$	96,42																																														
Chloropic	M cone	530,8	mc	$N_{mc}(\lambda)$	125,28																																														
Erythropic	L cone	558,4	lc	$N_l(\lambda)$	150,25																																														
97,31	α-opic lux																																																		
97,31	α-opic lux																																																		
3,20E+14	Amount																																																		
3,20E+14	Amount																																																		
14,51	Amount																																																		
14,51	Amount																																																		
<p style="text-align: center;">6) Unweighted summations from 380 to 780 nm inclusive</p> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr><td style="width: 60%;">Quantity</td><td style="width: 40%;">Units</td></tr> <tr><td>Irradiance</td><td><math>\mu\text{W}/\text{cm}^2</math></td></tr> <tr><td>Photon flux</td><td><math>1/\text{cm}^2/\text{s}</math></td></tr> <tr><td>Log photon flux</td><td><math>\log_{10}(1/\text{cm}^2/\text{s})</math></td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: right;">Amount</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: right;">97,31</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: right;">3,20E+14</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: right;">14,51</td></tr> </table>				Quantity	Units	Irradiance	$\mu\text{W}/\text{cm}^2$	Photon flux	$1/\text{cm}^2/\text{s}$	Log photon flux	$\log_{10}(1/\text{cm}^2/\text{s})$	Amount		97,31		3,20E+14		14,51																																	
Quantity	Units																																																		
Irradiance	$\mu\text{W}/\text{cm}^2$																																																		
Photon flux	$1/\text{cm}^2/\text{s}$																																																		
Log photon flux	$\log_{10}(1/\text{cm}^2/\text{s})$																																																		
Amount																																																			
97,31																																																			
3,20E+14																																																			
14,51																																																			

Fonte: Autor (2025)

Os resultados, após a inserção dos dados da fonte de luz 2, como mostra o Gráfico 9, apontam que as três lâmpadas que compõe a luminária apresentam resultados semelhantes, havendo apenas variações referentes a quantidade de energia emitida por unidade de comprimento de onda e área. O gráfico referente à distribuição espectral das lâmpadas (*Spectral power distribution*) indica que as respostas visuais foram estimuladas em picos que variam de  $6,0 \text{ wcm}^2.\text{nm}^{-1}$  para a Lâmpada 1 com iluminância de 300 lx, até cerca de  $3,0 \text{ wcm}^2.\text{nm}^{-1}$  para a mesma lâmpada com menor iluminância de 150 lx. Em todos os resultados é possível notar que a curva azul, que representa a córnea, possui um maior comprimento de onda, o que corresponde a uma composição maior de cores como amarelo, laranja e vermelho, característico de luz quente. A curva vermelha apresenta um comprimento curto de onda na faixa de luz azul, entre 450 nm e 550 nm, porém baixa em relação a quantidade de energia emitida, o que representa um menor estímulo da melanopsina.

Gráfico 9 — Distribuição espectral de potência das três lâmpadas da Fonte de Luz 2



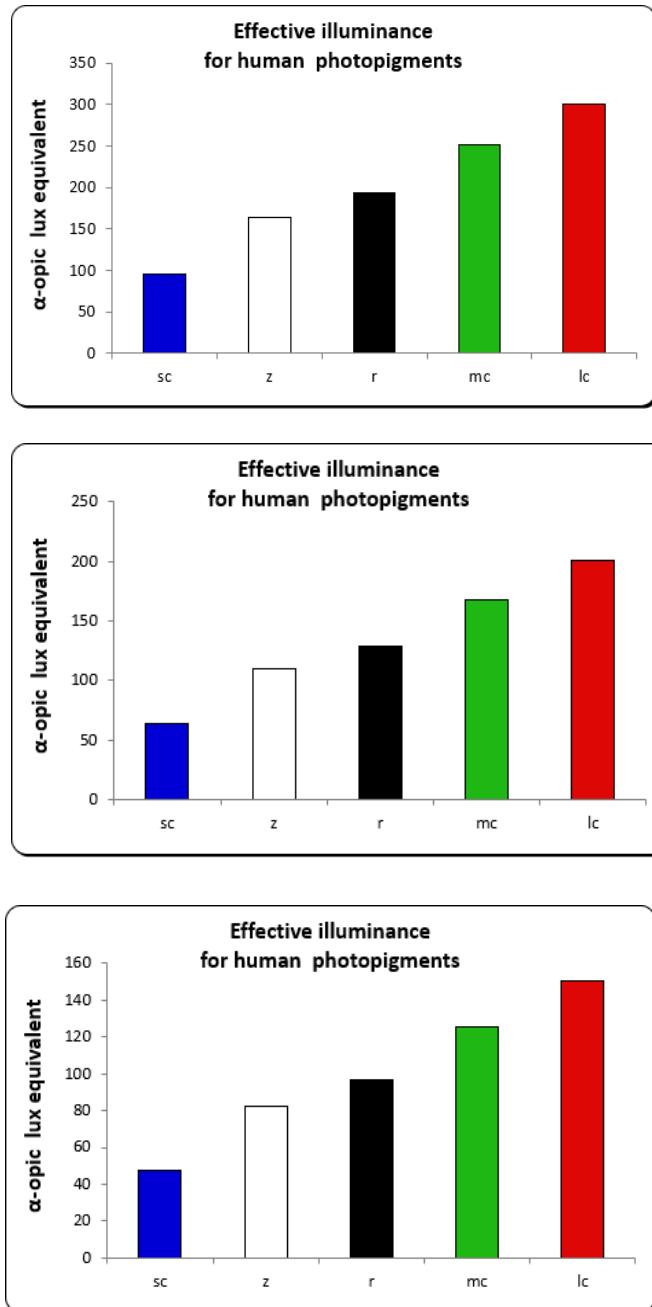
Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Assim como identificado nos gráficos que apresentam a distribuição espectral da fonte de luz 2, é possível notar também que os resultados obtidos no gráfico sobre a Iluminância efetivam para fotopigmentos humanos se mostram muito semelhantes ao comparar as 3 lâmpadas, como mostra a Figura 23.

A variação entre os resultados encontra-se na quantidade de energia emitida por unidade de comprimento de onda e área, bem como o ocorrido com o gráfico

referente à distribuição espectral das lâmpadas.

Figura 28 — Gráficos de Iluminância efetiva para fotopigmentos humanos das três lâmpadas da Fonte de Luz



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Os resultados obtidos para as três lâmpadas da fonte de luz 2 indicam que a barra azul, correspondente aos cones S (sc), apresenta baixos níveis de iluminância efetiva ( $\alpha$ -opic lux), com valores aproximados de 95 lux, 65 lux e 50 lux,

respectivamente. Considerando que esses cones são sensíveis à luz de curto comprimento de onda, especialmente na faixa do azul (aproximadamente 420–440 nm), conclui-se que essas lâmpadas não promovem um estímulo significativo sobre esses fotorreceptores. Isso sugere que a emissão luminosa das fontes analisadas possui baixa intensidade na faixa azul do espectro.

A melanopsina, representada pela barra branca (z), apresenta baixos níveis de estimulação nas três lâmpadas da Fonte de Luz 2, com valores de iluminância efetiva ( $\alpha$ -opic lux) em torno de 165 lux, 110 lux e 80 lux, respectivamente. Esses valores são significativamente inferiores aos observados na fonte de luz 1, cujo estímulo à melanopsina atingiu aproximadamente 800 lux. Esse resultado reforça a evidência de que o espectro das lâmpadas analisadas na Fonte de Luz 2 contém uma quantidade reduzida de radiação na faixa do azul, região à qual a melanopsina é especialmente sensível (aproximadamente 460–480 nm). Assim, conclui-se que essas fontes luminosas exercem menor impacto sobre os fotorreceptores não visuais envolvidos na regulação do ciclo circadiano.

A barra preta, que representa a resposta dos bastonetes (r), apresenta níveis de iluminância efetiva ligeiramente superiores aos da melanopsina, mas ainda considerados baixos. Esse resultado indica que as lâmpadas analisadas emitem pouca radiação nos comprimentos de onda necessários para estimular significativamente os bastonetes, especialmente nas faixas do azul ao verde (cerca de 500 nm), às quais esses fotorreceptores são mais sensíveis. Em comparação com a fonte de luz 1, cujo espectro mostrou maior potencial de ativação desses receptores, a fonte de luz 2 demonstra baixa capacidade de acionar mecanismos visuais relacionados à visão escotópica — responsável pela percepção em ambientes com pouca luz e pela detecção de contraste em condições de baixa iluminância.

Os resultados obtidos para os cones M (mc) e L (lc), representados pelas cores verde e vermelha, indicam que esses fotorreceptores foram os mais estimulados pelas lâmpadas da fonte de luz 2. Responsáveis pela visão fotópica (em ambientes bem iluminados) e pela percepção das cores, os cones M e L são mais sensíveis a comprimentos de onda médios e longos, correspondentes às regiões do verde e vermelho do espectro visível. A elevada estimulação desses cones sugere que as lâmpadas analisadas emitem quantidades significativas de radiação nessas faixas, o que contribui para uma boa reprodução cromática do ambiente, favorecendo conforto

visual e fidelidade de cores.

### 3.3.6 ANÁLISES DOS RESULTADOS

A respeito dos resultados analisados, pode-se afirmar que a fonte de luz 2, composta por três lâmpadas com características técnicas semelhantes, apresenta baixa capacidade de estímulo circadiano, pois emite pouca luz azul e, consequentemente, estimula pouco a melanopsina e os cones S. Em contrapartida, estimula mais significativamente os cones L e M, favorecendo a percepção visual nas faixas de vermelho e verde, o que é característico da luz quente. Por isso, é uma fonte adequada para uso noturno ou em ambientes de relaxamento, pois minimiza a supressão de melatonina e contribui para a preservação do ritmo circadiano natural.

## 4 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo avaliar se a aplicação combinada do Diagrama Morfológico e da Planilha de Lucas em um ambiente residencial existente pode otimizar a iluminação integrativa, favorecendo o bem-estar dos usuários e gerando impactos positivos nos indicadores do ciclo circadiano.

A aplicação dos métodos permitiu avaliar o ambiente em seu estado atual. Através do Diagrama Morfológico foi possível constatar que por consequência de possuir fachadas homogêneas, o edifício em estudo apresenta-se sem proteção adequada de acordo com a insolação, impactando diretamente no ritmo biológico dos moradores. No caso do apartamento em estudo, localizado na região Noroeste, as aberturas da sala, que ocupam de 15% a 30% da parede, acentuam esse efeito, atrasando a redução da luz no fim do dia e interferindo na produção de melatonina.

Na análise da iluminação artificial, realizada por meio do método da Planilha de Lucas, identificaram-se três tipos de fontes luminosas no ambiente. Duas delas apresentam temperatura de cor fria, com predominância de componentes brancos e azulados em seu espectro, enquanto a terceira é caracterizada por uma temperatura de cor quente, com maior presença de tons avermelhados. Os resultados indicam um certo equilíbrio na composição das fontes de luz utilizadas no ambiente. Embora duas das luminárias apresentem espectro com predominância de componentes azulados — os quais podem interferir na produção de melatonina e, consequentemente, no ciclo circadiano —, a presença de uma fonte com baixa emissão de luz azul, associada à temperatura de cor quente, contribui para mitigar esse impacto, especialmente durante o período noturno.

No entanto, ao considerar as atividades desempenhadas no ambiente, observa-se que a disposição das fontes de luz artificial não foi planejada de forma a atendê-las adequadamente. As duas luminárias de teto, responsáveis pela iluminação geral, parecem ter sido concebidas com foco na uniformidade do espaço, sem considerar as exigências específicas das tarefas realizadas. Já a luminária pendente, equipada com lâmpadas de temperatura de cor quente, foi inserida posteriormente, com um propósito predominantemente decorativo e para proporcionar uma iluminação mais aconchegante, porém sem atender diretamente às demandas funcionais do ambiente.

Observou-se de maneira geral que o projeto arquitetônico da edificação não considerou, como premissa, o conforto e o bem-estar dos usuários no que diz respeito à iluminação natural e artificial. Diante desse cenário, é importante que haja a adequação do ambiente por meio de soluções que permitam mitigar os impactos da luz no ciclo circadiano e promover uma iluminação integrativa mais eficaz — alinhada tanto às atividades realizadas no local quanto à saúde dos moradores.

Dessa forma, com base no objetivo geral deste trabalho, é possível afirmar que a aplicação conjunta do método do Diagrama Morfológico e da Planilha de Lucas possibilita tanto a análise de ambientes construídos quanto a elaboração de projetos com soluções de iluminação integrativa mais adequadas, favorecendo o equilíbrio entre conforto, funcionalidade e saúde.

Destaca-se também, que através dos resultados obtidos neste estudo, é possível promover uma maior conscientização sobre a importância de projetar com base não apenas em critérios estéticos e funcionais, mas também em aspectos relacionados à saúde. Para isso, é necessário considerar, desde as etapas iniciais do projeto, as condições climáticas locais e, posteriormente, as atividades desempenhadas nos espaços residenciais.

#### 4.1 LIMITAÇÕES DO MÉTODO

Durante o desenvolvimento da pesquisa, identificou-se uma limitação no método utilizado para a análise da iluminação artificial — a Planilha de Lucas. Para uma avaliação mais precisa das luminárias do ambiente estudado, seria necessário utilizar dados de distribuição espectral, que indicam a quantidade de energia (irradiância) que atinge os olhos em cada faixa de comprimento de onda, geralmente em intervalos de 1 nm ou 5 nm. No entanto, observou-se que os fabricantes das lâmpadas analisadas não disponibilizavam essas informações. Diante disso, foi necessário recorrer à análise aproximada oferecida pela planilha.

Embora, neste estudo, tenha sido possível encontrar alternativas compatíveis com as características técnicas das lâmpadas avaliadas, é importante destacar que, em outros casos, a ausência de dados espectrais pode comprometer a precisão da análise, especialmente quando não há opções semelhantes disponíveis para comparação.

## 4.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Dando continuidade a essa pesquisa, sugere-se para estudos futuros a aplicação dos conhecimentos teóricos e práticos aqui apresentados na proposição de um projeto de melhorias para ambientes que também venham a ser analisados sob a mesma perspectiva. Ao integrar os fundamentos sobre os impactos da luz no ciclo circadiano com os dados obtidos por meio da análise da iluminação natural e artificial, torna-se viável desenvolver soluções projetuais que promovam maior conforto visual, bem-estar e saúde dos usuários.

Esses futuros trabalhos poderiam propor intervenções arquitetônicas e estratégias de iluminação integrativa que considerem o uso de tecnologias ajustáveis, o posicionamento adequado de luminárias e aberturas, bem como a adequação da temperatura de cor e intensidade luminosa às atividades realizadas nos espaços ao longo do dia.

Além disso, tais propostas poderiam ser testadas por meio de simulações computacionais ou estudos de caso práticos, contribuindo para o avanço da aplicação dos princípios da cronobiologia na arquitetura residencial.

## REFERÊNCIAS

Albrecht U. Invited review: regulation of mammalian circadian clock genes. **J Appl Physiol.** 2002;92(3):1348-55

Alóe, F., Azevedo, A. P. de ., Hasan, R.. (2005). Mecanismos do ciclo sono-vigília. *Brazilian Journal of Psychiatry*, 27, 33–39. <https://doi.org/10.1590/S1516-44462005000500007>

AMORIM, Cláudia Naves David. Diagrama morfológico parte I: instrumento de análise e projeto ambiental com uso de luz natural. **Paranoá**, [S. I.], v. 3, n. 3, p. 58–77, 2007. DOI: 10.18830/issn.1679-0944.n3.2007.12111. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/paranoa/article/view/10511>. Acesso em: 3 jul. 2024.

AMORIM, Cláudia Naves David. Diagrama morfológico parte II ”“ projetos exemplares para a luz natural: treinando o olhar e criando repertório. **Paranoá**, [S. I.], v. 3, n. 3, p. 78–98, 2007. DOI: 10.18830/issn.1679-0944.n3.2007.12112. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/paranoa/article/view/10514>. Acesso em: 17 abr. 2025.

AMORIM, C. N. D. Illuminazione Naturale, Comfort Visivo ed Eficienza Energetica in Edifici Commerciali: Proposte Progettuali e Tecnologiche in contesto di clima Tropicale. 2001. Tese de Doutorado. Università degli Studi di Roma “La Sapienza” (desenvolvida no Politecnico di Milano), 2001.

ARAÚJO, Iuri Ávila Lins de. *Influência da luz natural refletida pelo entorno na iluminação de edifícios no trópico úmido*. 2006. 131 f. Dissertação (Mestrado em Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15215-1: iluminação natural: parte 1: conceitos básicos e definições. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15215-2: Iluminação natural – Parte 2 – Procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural e para a distribuição espacial da luz natural. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15215-3: Iluminação natural – Parte 3: Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15215-4: Iluminação natural - Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação natural interna. Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5493: Iluminância de interiores. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho – Parte 1: Interior. Rio de Janeiro, 2013.

AVANTLUX. *Site institucional*. Disponível em: <https://avantlux.com.br/>. Acesso em: 26 jul. 2025.

BANDEIRA, F. B.; SCARAZZATO, P. S. Iluminação artificial aplicada à arquitetura: processo de projeto. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 13, n. 2, p. 67–80, 26 maio 2018.

BANDEIRA, F. B.; SCARAZZATO, P. S. Iluminação artificial aplicada à arquitetura: processo de projeto. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, São Carlos, v. 13, n. 2, p. 67-80, 2018. <http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v13i2.132105>

BERMAN, Louise M. *Novas prioridades para o currículo*. Porto Alegre: Globo, 1975. 242 p.

BERNARDI, F. et al. Transtornos alimentares e padrão circadiano alimentar: uma revisão. Revista de Psiquiatria do Rio Grande do Sul, v. 31, n. 3, p. 170-176, dez. 2009. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rprs/a/5BHqdcNj7VybXqLjMWhTkmQ/?lang=pt>

Berson, D. M., Dunn, F. A., & Takao, M. (2002). Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. *Science (New York, N.Y.)*, 295(5557), 1070–1073. <https://doi.org/10.1126/science.1067262>

BOYCE, P. R. Lighting research for interiors: the beginning of the end or the end of the beginning. **Lighting Research and Technology**, v. 36, n. 4, p. 283-294, 2004. BRASIL. Ministério de Minas e Energia. *Manual de Iluminação Eficiente*. Procel, 2011. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/ee/publicacoes-e-estudos/ManualdeiluminacaoeficienteProcel.pdf>. Acesso em: 17 maio 2025.

CANDURA, P. Visão Humana. **Lume Arquitetura**, v. 03, p. 48–52, set. 2003.

CASAGRANDE, C. G.; NOGUEIRA, F. J.; SALMENTO, M. L. G.; BRAGA, H. A. C. Efficiency in Street Lighting Projects by Employing LED Luminaires and Mesopic Photometry. **IEEE Latin America Transactions**, [S. I.], v. 17, n. 6, p. 921–929, 2019. Disponível em: <https://latamt.ieeer9.org/index.php/transactions/article/view/933>. Acesso em: 15 feb. 2025.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. *Qualidade do ar e meteorologia na Região Metropolitana de São Paulo*. São Paulo: CETESB, 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/>. Acesso em: 26 jun. 2025.

CINTRA, M. S. **Arquitetura e luz natural : a influência da profundidade de ambientes em edificações residenciais**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)-Universidade de Brasília, Brasília, p. 158. 2011.

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE. **The correlation of models of vision and visual performance: CIE Publication 145**. Vienna: CIE, 2002.

CORBELA, Oscar; YANNAS, Simon. *Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: conforto ambiental*. Rio de Janeiro: Revan, 2003. 288 p.

Corrêa, C. C., Oliveira, F. K., Pizzamiglio, D. S., Ortolan, E. V. P., & Weber, S. A. T. (2017). Sleep quality in medical students: a comparison across the various phases of the medical course. *Jornal brasileiro de pneumologia : publicacao oficial da Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia*, 43(4), 285–289.  
<https://doi.org/10.1590/S1806-37562016000000178>

**CORREA, Y. Nobel de Medicina joga uma luz sobre problemas da modernidade - Ciência.** Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/ciencia/nobel-de-medicina-joga-uma-luz-sobre-problemas-da-modernidade/>>. Acesso em: 2 fev. 2025.

Costa, Leandra. A luz como modeladora do espaço na Arquitetura. Disponível em: <https://www.proquest.com/openview/9b77ee0becf7268a6f4f374761dc2522/1?cbl=2026366&diss=y&pq-origsite=gscholar>. Acesso em: 16 de junho de 2025.

ELGIN. *Loja oficial Elgin*. Disponível em: <https://loja.elgin.com.br/>. Acesso em: 26 jul. 2025.

ERIC – Institute of Education Sciences. *School Lighting*. Disponível em: <https://eric.ed.gov/?id=ED034389>. Acesso em: 26 jul. 2025.

FURUYAMA, C. M. S.; GONÇALVES, J. C. S.; LIMA, E. G.; MÜLFARTH, R. C. K.; ROMERO, M. de A. O aproveitamento da luz natural e o uso consciente da iluminação artificial no edifício vilanova artigas, sede da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAUUSP): Diretrizes de uso e gestão energética / The use of natural light and the conscious use of artificial lighting in the building vilanova artigas, headquarters of the Faculty of Architecture and Urbanism of the University of São Paulo (FAUUSP): Guidelines for energy use and management. **Brazilian Journal of Development**, [S. I.], v. 6, n. 11, p. 89456–89477, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n11-390. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/20089>. Acesso em: 2 feb. 2025.

GAMBLE, K. L. et al. Circadian clock control of endocrine factors. *Nature Reviews Endocrinology*, v. 10, n. 8, p. 466-475, maio 2014. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4304769/>

GARROCHO, J. S. **Luz Natural e projeto de Arquitetura:** estratégias para iluminação zenital em centros de compras. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, 2005.

GOOGLE. *Google Maps*. Disponível em: <https://maps.google.com>. Acesso em: 26 jun. 2025.

HOPKINSON, R. G.; PETHERBRIDGE, P.; LONGMORE, J. *Iluminação natural*. Tradução de Antônio S. L. de Farias. 2. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1975.

ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA. Rea, M. S. (Ed.). **The IESNA Lighting Handbook Reference & Application.** 9 Ed. New York: Illuminating Engineering Society of North America, 2000.

ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA. **Recommended Practice for Lighting Merchandise Areas – IESNA RP-2-01:** A Store Lighting Guide, New York, 2001.

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. *Comissão Internacional de Iluminação (CIE)*. Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos.metrologia-cientifica/forums-comites-e-redes/cie>. Acesso em: 26 jul. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Modelos Digitais de Elevação – Dados Geoespaciais*. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>. Acesso em: 26 jun. 2025.

IQBAL, T. et al. Cortisol detection methods for stress monitoring in connected health. **Health sciences review (Oxford, England)**, v. 6, n. 100079, p. 100079, 2023.

KARLEN, Mark B.; BENYA, James R. *Lighting design basics*. Hoboken, New Jersey: John Wiley, 2004.

LOPES, A. C. DE S. **Avaliação de duas propostas de sistema de iluminação artificial suplementar ao sistema de iluminação natural existente em sala de aula padrão**. Dissertação (mestrado)—Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura: [s.n.].

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

MALLGRAVE, H.F. **Architecture and Embodiment: The Implications of the New Sciences and Humanities for Design**. 1. ed. [s.l.] London ; New York : Routledge, 2013.

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

MARKUS, R. P.; JUNIOR, E. J. M. B.; FERREIRA, Z. S. Ritmos biológicos: entendendo as horas, os dias e as estações do ano. Einstein, v. 1, p. 143–148, 2003.

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

MATOS, Jéssica Cristine da Silva Fonseca; SCARAZZATO, Paulo Sergio. A iluminação natural no projeto de arquitetura: revisão sistemática da literatura. *PARC: Pesquisa em Arquitetura e Construção*, Campinas, SP, v. 8, n. 4, p. 249–256, 2017. DOI: 10.20396/parc.v8i4.8650250. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8650250>. Acesso em: 11 maio 2025.

MEDEIROS, D.; NOME, C.; ELALI, G. *Construindo no clima quente e seco do Brasil: conforto térmico e eficiência energética para a Zona Bioclimática 7*. In: Seminário Internacional NUTAU 2012. São Paulo: USP, 2012.

**MORAES, L. N. ESTUDO COMPARATIVO DE SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL COM DIFERENTES LUMINÁRIAS CONSIDERANDO A DISPONIBILIDADE DE LUZ NATURAL.** Dissertação (mestrado)—Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina : [s.n.].

Moure R. V.; Santos I. M. M. dos. Iluminação natural, artificial e arquitetura em UTI: impactos na saúde do paciente. **Revista Eletrônica Acervo Saúde**, v. 23, n. 7, p. e12573, 3 jul. 2023.

MROSOVSKY, N. Beyond the suprachiasmatic nucleus. **National Library of Medicine**, v. 20, n. 20, p. 1–8, 7 jul. 2009.

NEVES, Liziê Froeder; GUIMARÃES , Tuanny Cristinny da Cunha; MOREIRA, Felipe Duarte; CASAGRANDE, Cristiano Gomes. Análise da Iluminação Circadiana e Adequação às Normas brasileiras em Ambientes Residenciais. **Revista Latino-americana de Ambiente Construído & Sustentabilidade**, [S. I.], v. 5, n. 23, 2024. DOI: [10.17271/q53znd49](https://doi.org/10.17271/q53znd49). Disponível em: [https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/rlaac\\_sustentabilidade/article/view/5380](https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/rlaac_sustentabilidade/article/view/5380). Acesso em: 21 jan. 2025.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. *Normais Climatológicas do Brasil 1991–2020*. Brasília. Disponível em: <https://www.gov.br/inmet/pt-br/assuntos/clima/normais-do-brasil>. Acesso em: 26 jun. 2025.

**Normalização em Eficiência Energética em Edificações | Laboratório de Eficiência Energética em Edificações.** Disponível em: <<https://labeee.ufsc.br/pt-br/normalizacao-em-eficiencia-energetica-em-edificacoes>>. Acesso em: 2 fev. 2025.

Pace-Schott EF, Hobson JA. The neurobiology of sleep: genetics, cellular physiology and subcortical networks. **Nat Rev Neurosci**. 2002;3(9):591-605.

PENG XUE, C.M. MAK, H.D. CHEUNG, The effects of daylighting and human behavior on luminous comfort in residential buildings: A questionnaire survey. **Building and Environment**, Volume 81, 2014, Pages 51-59, ISSN 0360-1323, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.06.011>.

PHILIPS. Para profissionais. Habitações. Produtos. Lâmpadas tubulares Led. Standard Led bulbs. Disponível em: [https://www.lighting.philips.com.br/prof/lampadas-e-lampadas-tubulares-led/lampadas-de-led/standard-led-bulbs/LP\\_CF\\_6979538\\_EU/family](https://www.lighting.philips.com.br/prof/lampadas-e-lampadas-tubulares-led/lampadas-de-led/standard-led-bulbs/LP_CF_6979538_EU/family). Acessado em: 30 de janeiro de 2025

Rea MS, Ouellette MJ. Relative visual performance: A basis for application. *Lighting Research & Technology*. 1991;23(3):135-144. doi:[10.1177/096032719102300301](https://doi.org/10.1177/096032719102300301)

REA, M. S., OUELLETTE, M. J. (1991). Relative visual performance: A basis for application. *Lighting Research and Technology*, 23, 135-144.

RENNHACKKAMP, W. M. H. *School lighting: technical report by the National Building Research Institute on an aspect of school buildings research*. Pretoria: Council for Scientific and Industrial Research, 1964. 47 p.

SANTO ANDRÉ. *Geografia*. Santo André: Prefeitura Municipal, [s.d.]. Disponível em: <https://web.santoandre.sp.gov.br/portal/servicos/1002/geografia/>. Acesso em: 26 jun. 2025.

SANTOS, Eder Ferreira dos. **A influência dos espectros da luz em usuários residenciais**. 2017. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. doi:10.11606/D.16.2019.tde-05072017-110655. Acesso em: 2024-09-03.

SANTOS, L. F.; PEREIRA, C. J. Composição de cores através da calibração radiométrica e fotométrica de LEDs: teoria e experimento. **Scielo Brasil**, v. 35, n. 2, jun. 2013.

SANTOS, Soraia Costa dos; COSTA, Silvia Kimo. Arquitetura vernacular ou popular brasileira: conceitos, aspectos construtivos e identidade cultural local. *Cadernos de Arquitetura e Urbanismo*, Belo Horizonte, v. 24, n. 35, p. 218, 2018. DOI: 10.5752/P.2316-1752.2017v24n35p218. Disponível em: <https://periodicos.pucminas.br/Arquiteturaeurbanismo/article/view/P.2316-1752.2017v24n35p218>. Acesso em: 11 maio 2025.

SCHILDKNACHT, H. **Turgorins, Hormones of the Endogenous Daily Rhythms of Higher Organized Plants—Detection, Isolation, Structure, Synthesis, and Activity**. Angew. Chem. Int. Ed., England, n.22, p. 695-710, 1983.

Schwartz, W.J., Daan, S. (2017). Origins: A Brief Account of the Ancestry of Circadian Biology. In: Kumar, V. (eds) *Biological Timekeeping: Clocks, Rhythms and Behaviour*. Springer, New Delhi. [https://doi.org/10.1007/978-81-322-3688-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-81-322-3688-7_1)

**Secretaria Nacional da Família Arranjos Familiares no Brasil Fatos e Números**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.gov.br/mdh/pt-br/navegue-por-temas/observatorio-nacional-da-familia/fatos-e-numeros/ArranjosFamiliares.pdf>>.

SILVA, Joene Saibrosa. **A eficiência do brise-soleil em edifícios públicos de escritórios**: estudo de casos no Plano Piloto de Brasília. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília, 2007.

SOUZA, R. Revisada, parte 4 da norma técnica de iluminação natural entra em vigor. **Site AECweb.** São Paulo-SP. 25 mar. 2024. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/revista/materias/revisada-parte-4-da-norma-tecnica-de-iluminacao-natural-entra-em-vigor/24891>. Acesso em: 05 maio 2024.

SOUZA, R. V. G. (2005). Luz natural no projeto arquitetônico: Uma fonte sustentável para a iluminação. Disponível em: [http://www.lumearquitetura.com.br/pdf/ed31/ed\\_31\\_Iluminacao\\_Natural.pdf](http://www.lumearquitetura.com.br/pdf/ed31/ed_31_Iluminacao_Natural.pdf). Acesso em: 03/07/2024.

SOUZA, Roberta Vieira Gonçalves de. *Publicada a revisão da NBR 15215 – Iluminação Natural*. 25 out. 2024. Disponível em: <https://normalizacaooee.com.br/publicada-a-revisao-da-nbr-15215-iluminacao-natural/>. Acesso em: 26 jul. 2025.

TOLEDO, B. G. Integração de iluminação natural e artificial: métodos e guia prático para um projeto luminotécnico. 2008. 190 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

TORDJMAN, Sylvie *et al.* Melatonin: pharmacology, functions and therapeutic benefits. Current neuropharmacology, v. 15, n. 3, p. 434-443, 2017

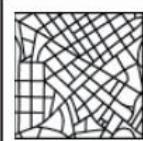
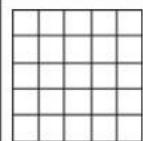
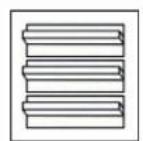
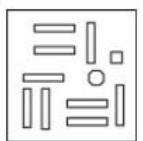
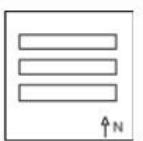
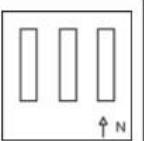
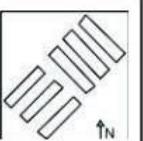
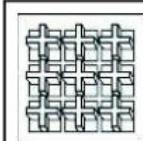
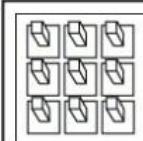
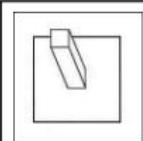
Van Gelder RN. Recent insights into mammalian circadian rhythms. **Sleep**. 2004;27(1):166-71.

WANG, J.; WEI, M.; RUAN, X. Characterization of the acceptable daylight quality in typical residential buildings in Hong Kong. **Building and Environment**, v. 182, p. 107094, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107094>

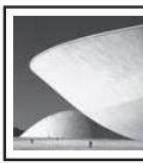
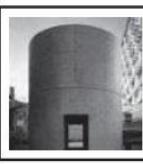
## ANEXO A - PARÂMETROS E VARIÁVEIS APRESENTADOS NO DIAGRAMA MORFOLÓGICO

### Nível I – Espaço Urbano

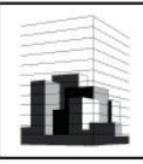
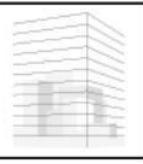
#### Parâmetro A – Desenho Urbano

						
A1 Pequenos quarteirões irregulares	A2 Grandes quarteirões	A3 Quarteirões orientados em relação ao sol	A4 Super-quadradas	A5 Fachadas principais orientadas para Norte-Sul	A6 Fachadas principais orientadas para Leste-Sul	A7 Fachadas principal com orientação intermediária
						
A8 Blocos abertos	A9 Torres	A10 Torre isolada	A11 Outros			

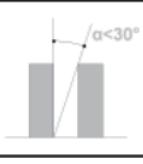
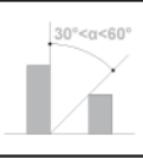
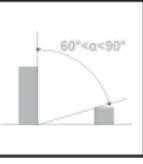
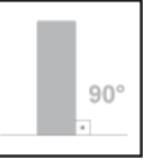
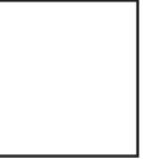
#### Parâmetro B – Refletância das Fachadas

			
B1 Alta	B2 Média	B3 Baixa	B4 Outros

#### Parâmetro C – Especularidade das Fachadas

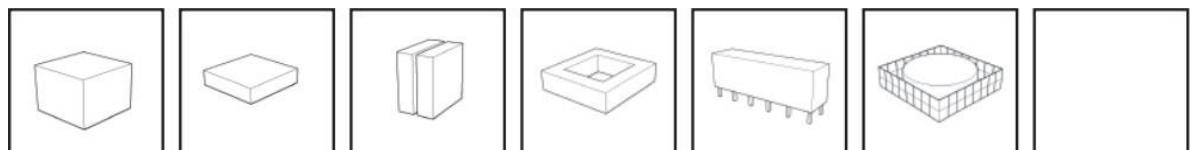
			
C1 Alta	C2 Média	C3 Baixa	C4 Outros

#### Parâmetro D – Ângulo máximo de Incidência do Sol na Fachada do Edifício

				
D1 Ângulo menor que 30°	D2 Ângulo de 30° a 60°	D3 Ângulo de 60° a 90°	D4 Ângulo de 90°	D5 Outros

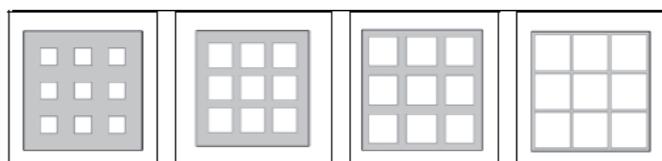
## PARÂMETROS DO NÍVEL II - EDIFÍCIO

### Parâmetro E – Forma e Planta Baixa



- E1 Edifícios com planta profunda    E2 Edifício térreo    E3 Blocos unilaterais/ bilaterais    E4 Edifício com Pátio Interno ou Átrio    E5 Edifício sobre pilotis    E6 Edifício com pele dupla    E7 Outros

### Parâmetro F – Taxa de Abertura nas Fachadas



- F1 Até 25% de aberturas    F2 Entre 25% e 50% de aberturas    F3 Entre 50% e 75% de aberturas    F4 Mais de 75% de aberturas

### Parâmetro G – Distribuição das Aberturas nas Fachadas



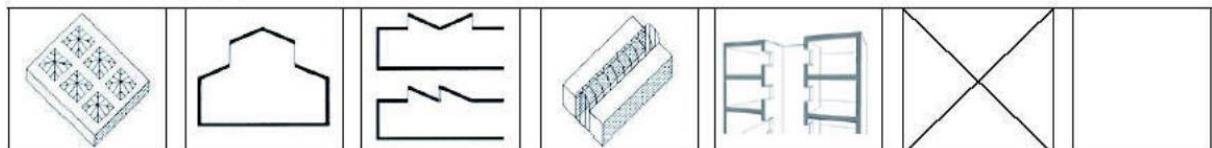
- G1 Fachadas uniformes    G2 Fachadas não uniformes – com relação à orientação solar    G3 Fachadas não uniformes – com relação ao espaço urbano    G4 Outros

### Parâmetro H – Proteções Solares nas Fachadas



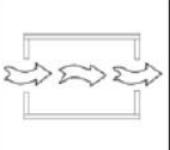
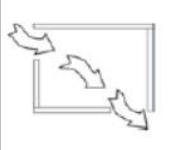
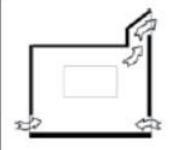
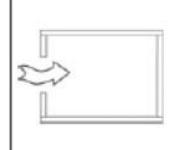
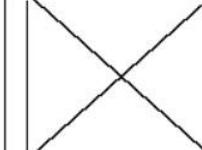
- H1 Pórticos e varandas    H2 Brise-soleil    H3 Cobogós    H4 Beirais e Marquises    H5 Pergolados    H6 Vegetação    H7 Outros

### Parâmetro I – Aberturas Zenitais



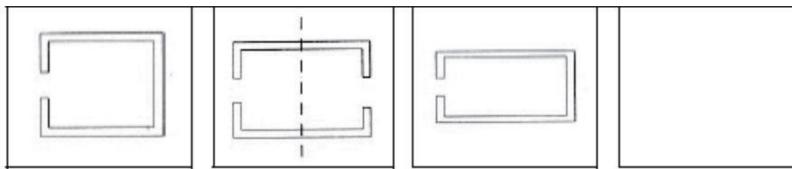
- I1 Clarabóia    I2 Lanternim    I3 Shed ou dente de serra    I4 Zenital horizontal    I5 Poço de luz    I6 Não há    I7 Outros

**Parâmetro J – Mecanismos de Ventilação Natural**

					
J1 Cruzada	J2 Cruzada adjacente	J3 Efeito chaminé	J4 Abertura única	J5 Não há	J6 Outros

## PARÂMETROS DO NÍVEL III - AMBIENTE

### Parâmetro L – Planta Baixa



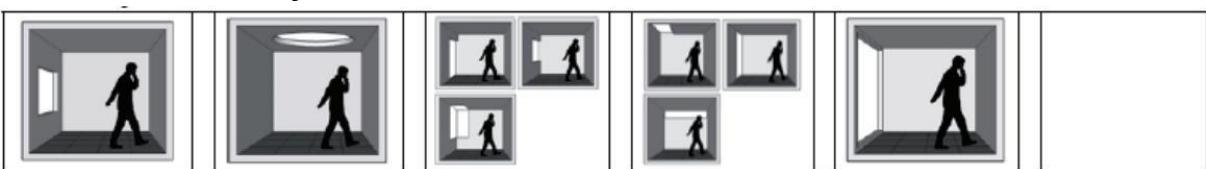
L1  
Unilateral

L2 Bilateral

L3  
Ambiente  
profundo

L4 Outros

### Parâmetro M – Posição do Coletor de Luz



M1 Centro  
do plano  
lateral

M2 Centro  
do plano  
zenital

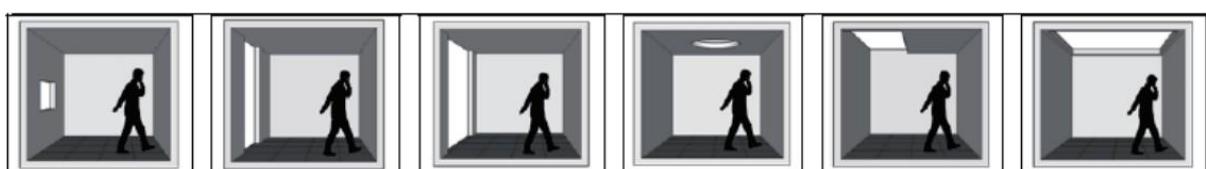
M3 Entre  
planos

M4 Ao  
longo do  
canto entre  
planos

M5 Parede  
aberta

M6 Outros

### Parâmetro N – Dimensões do Coletor de Luz



N1 Abertura  
lateral de  
até 15%

N2 Abertura  
lateral de  
15% a 30%

N3 Abertura  
lateral  
acima de  
30%

N4 Abertura  
zenital de  
até 15%

N5 Abertura  
zenital de  
15% a 30%

N6 Abertura  
zenital  
acima de  
30%

### Parâmetro O – Forma do Coletor de Luz



O1  
Janela  
intermedi-  
ária

O2  
Janela  
horizontal

O3  
Janela  
vertical

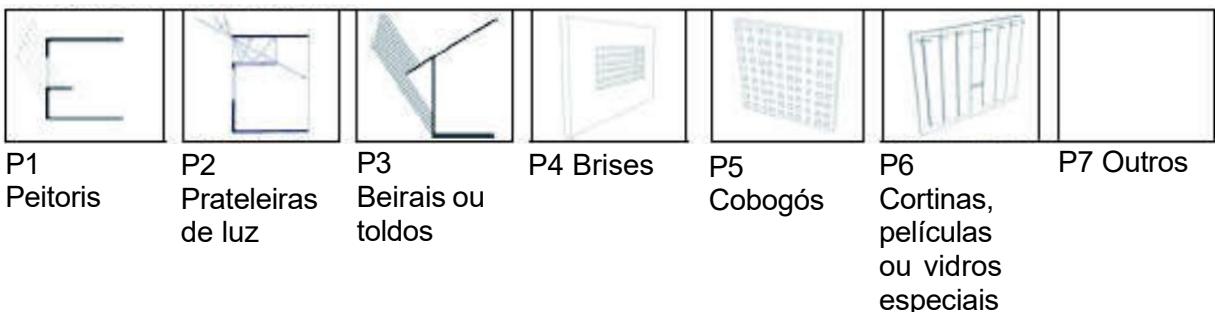
O4  
Cortina  
de vidro

O5  
Abertura  
zenital  
horizontal

O6  
Abertura  
zenital  
vertical

O7 Teto  
envidraça-  
do

### Parâmetro P – Controle de Entrada de Luz



P1  
Peitoris

P2  
Prateleiras  
de luz

P3  
Beirais ou  
toldos

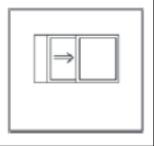
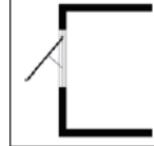
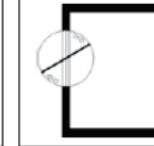
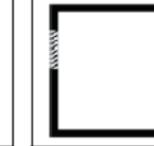
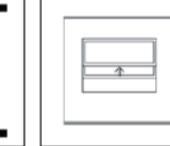
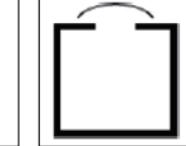
P4 Brises

P5  
Cobogós

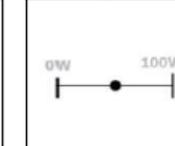
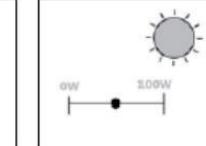
P6  
Cortinas,  
películas  
ou vidros  
especiais

P7 Outros

### Parâmetro Q – Controle de Ventilação Natural

						
Q1 Janela de correr	Q2 Janela máximo ar ou basculante	Q3 Janela pivotante	Q4 Aberturas com lamela	Q5 Guilhotina	Q6 Abertura no teto	Q7 Outros

### Parâmetro R – Controle e Integração da iluminação artificial

					
R1 On/off manual	R2 On/off com sensor	R3 Dimming manual	R4 Dimming com sensor	R5 Sensor de presença ou temporizador	R6 Outros