

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

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTE CONSTRUÍDO

Felipe Duarte Moreira

**Análise de projetos de iluminação de ambientes hospitalares considerando o
ciclo circadiano humano**

Juiz de Fora
2025

Felipe Duarte Moreira

Análise de projetos de iluminação de ambientes hospitalares considerando o ciclo circadiano humano

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)

Duarte Moreira, Felipe.

Análise de projetos de iluminação de ambientes hospitalares considerando o ciclo circadiano humano / Felipe Duarte Moreira. -- 2025.

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

Felipe Duarte Moreira

Análise de projetos de iluminação de ambientes hospitalares considerando o ciclo circadiano humano

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.

Aprovada em 26 de novembro de 2025

BANCA EXAMINADORA

Professor Doutor Cristiano Gomes Casagrande - Orientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Professor Doutor Marcos Martins Borges - Coorientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Professor Doutor Leonardo Rocha Olivi
Universidade Federal de Juiz de Fora

Doutora Juliana Mara Batista Menezes Hybiner

Dedico este trabalho a minha família e amigos que me apoiaram, auxiliaram e acreditaram em mim, mesmo quando eu não acreditava.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, pela força, saúde e serenidade concedidas durante esta jornada. Sua presença foi meu guia e sustentação nos momentos de maior desafio, permitindo que eu concluísse este trabalho com fé e perseverança.

À minha família, meu porto seguro, que jamais me deixou desistir. A vocês, que estiveram ao meu lado em todos os momentos, oferecendo apoio, amor e confiança mesmo quando eu duvidava de mim. Cada palavra de incentivo e cada gesto de carinho foram fundamentais para que eu chegasse até aqui. Este sonho também é de vocês.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Cristiano Gomes Casagrande, expresso minha mais sincera gratidão pela paciência, dedicação e por cada orientação, crítica construtiva que me impulsionaram a ir além. Seu acompanhamento e comprometimento foram essenciais para o amadurecimento deste estudo e para o meu crescimento pessoal e acadêmico.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Marcos Martins Borges, e aos professores Dr. Leonardo Rocha Olivi e Dra. Juliana Mara Batista Menezes Hybiner, membros da banca de defesa, deixo meu profundo agradecimento pela generosidade em compartilhar seus conhecimentos e por suas valiosas contribuições, que enriqueceram significativamente este trabalho.

Agradeço também ao Darlan, Lilian, Vladimir, Francisca, Marina e a todos que estiveram envolvidos nessa etapa final, pelo apoio inestimável desta pesquisa. A dedicação, disponibilidade e esforço de ambos foram fundamentais para a conclusão deste trabalho, especialmente nos momentos mais desafiadores do dia-a-dia.

Estendo minha gratidão à equipe da Flama Projetos, pelo apoio e incentivo no início desta caminhada e pelas palavras de motivação.

Por fim, agradeço a todos que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho. Cada colaboração, conselho e gesto de apoio deixaram uma marca nesta trajetória e tornaram esta conquista possível. A todos, o meu mais sincero e afetuoso muito obrigado.

Se olharmos para os valores humanos, encontraremos um bom design que reconhece o valor do indivíduo. Se olharmos para a ciência, podemos encontrar não apenas excelência técnica em maquinário, mas também bases biológicas para um design cuidadoso. E se olharmos para o passado, podemos ter confiança de que a beleza ainda tem um lugar em nosso campo. (Kellman, 1988, p. 48)

RESUMO

O presente estudo analisa a iluminação natural e artificial de quartos de internação hospitalar, com o propósito de evidenciar como a aplicação de uma iluminação integrativa pode contribuir para o conforto visual, o bem-estar e a regulação do ciclo circadiano dos pacientes. Assim, o objetivo central consiste em investigar soluções projetuais e tecnológicas de iluminação integrativa fundamentadas nas premissas do Diagrama Morfológico — ferramenta analítica voltada à otimização do aproveitamento da luz natural — e na Planilha de Lucas, aplicada à avaliação do desempenho das lâmpadas e da iluminação artificial em relação à saúde dos usuários. A pesquisa foi conduzida sob a abordagem metodológica da *Design Science Research*, integrando revisão bibliográfica e documental com a finalidade de compreender os princípios do projeto arquitetônico, bem como os fundamentos técnicos e biológicos que relacionam iluminação, ritmo circadiano e bem-estar humano. Na segunda etapa, realizou-se a análise de dois quartos de internação hospitalar em hospitais distintos, avaliando sua condição atual sob a ótica dos impactos da luz natural e artificial, à luz dos conceitos previamente discutidos. Os resultados obtidos demonstram que a combinação metodológica entre o Diagrama Morfológico e a Planilha de Lucas constitui uma estratégia eficaz para a avaliação integrada da luz em ambientes de internação, oferecendo subsídios para que arquitetos e projetistas otimizem as condições de iluminação, favorecendo a preservação do ritmo biológico e o aperfeiçoamento do conforto ambiental em espaços hospitalares.

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

ABSTRACT

The present study analyzes the natural and artificial lighting conditions of hospital inpatient rooms, aiming to demonstrate how the application of integrative lighting can contribute to visual comfort, well-being, and the regulation of patients' circadian rhythms. Accordingly, the central objective is to investigate design and technological solutions for integrative lighting based on the premises of the Morphological Diagram—an analytical tool dedicated to optimizing the use of natural light—and the Lucas Spreadsheet, applied to assessing the performance of lamps and artificial lighting in relation to user health. The research was conducted using the Design Science Research methodological approach, integrating bibliographic and documentary review to understand architectural design principles as well as the technical and biological foundations that link lighting, circadian rhythms, and human well-being. In the second stage, two inpatient rooms from different hospitals were analyzed to evaluate their current conditions in terms of the impacts of natural and artificial light, in accordance with the previously discussed concepts. The findings show that the methodological combination of the Morphological Diagram and the Lucas Spreadsheet constitutes an effective strategy for the integrated evaluation of light in inpatient settings, providing support for architects and designers to optimize lighting conditions, promote the preservation of biological rhythms, and improve environmental comfort in hospital spaces.

Keywords: Hospital lighting. Circadian rhythm. Integrative lighting.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	– Anatomia do olho.....	21
Figura 2	– Corte com cobertura em arco móvel e entrada de iluminação natural.....	24
Figura 3	– Mapa de localização da cidade de Juiz de Fora – MG.....	39
Figura 4	– Mapa de localização das estações meteorológicas de Juiz de Fora – MG.....	40
Figura 5	– Carta solar –Cidade de Juiz de Fora – MG.....	42
Figura 6	– Vista da fachada principal da edificação analisada.....	43
Figura 7	– Mapa de implantação da edificação.....	43
Figura 8	– Fotos do quarto de internação.....	44
Figura 9	– Planta baixa do quarto de internação e corte esquemático.....	44
Figura 10	– Planta de teto refletido.....	50
Figura 11	– Inserção dos dados técnicos da fonte de luz para análise.....	52
Figura 12	– Vista da Fachada da Edificação Analisada.....	56
Figura 13	– Mapa de implantação da edificação.....	57
Figura 14	– Fotos do quarto de internação.....	58
Figura 15	– Planta baixa do quarto de internação e corte esquemático.....	58
Figura 16	– Planta de teto refletido.....	62
Figura 17	– Inserção dos dados técnicos da fonte de luz para análise.....	64
Gráfico 1	– Temperatura média anual (°C) –Cidade de Juiz de Fora – MG.....	41
Gráfico 2	– Gráfico comparativo de precipitação acumulada – Cidade de Juiz de Fora – MG.....	41
Gráfico 3	– Curva de Distribuição Espectral da Fonte de Luz com temperatura de cor de 6.500K.....	53
Gráfico 4	– Iluminância efetiva para fotopigmentos humanos da fonte de luz com temperatura de cor de 6.500K.....	54
Gráfico 5	– Curva de Distribuição Espectral da Fonte de Luz com temperatura de cor de 6.500K.....	65
Gráfico 6	– Iluminância efetiva para fotopigmentos humanos da fonte de luz com temperatura de cor de 6.500K.....	66
Quadro 1	– Classificação de parâmetros e variáveis no Nível I – Espaço	

	Urbano.....	46
Quadro 2	– Classificação de parâmetros e variáveis no Nível II – Edifício.....	46
Quadro 3	– Classificação de parâmetros e variáveis no Nível III – Ambiente Interno.....	47
Quadro 4	– Classificação de parâmetros e variáveis no Nível I – Espaço Urbano.....	59
Quadro 5	– Classificação de parâmetros e variáveis no Nível II – Edifício.....	59
Quadro 6	– Classificação de parâmetros e variáveis no Nível III – Ambiente Interno.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Diretrizes de iluminação recomendadas pela NBR 8995-1.....	27
Tabela 2	– Métricas e procedimentos para verificação experimental.....	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CIE	Commission Internationale de l'Éclairage (Comissão Internacional de Iluminação)
DSR	<i>Design Science Research</i>
EAS	Estabelecimento Assistencial de Saúde
EML	<i>Equivalent Melanopic Lux</i> (Lux Melanópico Equivalente)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ipRGCs	Células Ganglionárias Retinais Intrinsecamente Fotossensíveis
ISO	International Organization for Standardization (Organização Internacional para Padrões)
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
lx	Lux
M/P	<i>Melanopic/Photopic Ratio</i> (Razão Melanópica/Fotópica)
NBR	Norma Brasileira
nm	Nanômetro
Ra	Reprodução de Cor Mínimo
SCRD	<i>Sleep and Circadian Rhythm Disruption</i> (Distúrbios Do Sono E Do Ritmo Circadiano)
SUS	Sistema Único de Saúde
SPD	Distribuição Espectral de Potência
UFJF	Universidade Federal de Juiz de Fora
UGRL	<i>Unified Glare Rating Limit</i> (Índice Limite de Ofuscamento Unificado)
UTI	Unidade de Tratamento Intensivo
α -opic	Iluminância Efetiva

LISTA DE SÍMBOLOS

λ Lambda

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	13
1.2	OBJETIVOS.....	16
1.2.1	Objetivo geral.....	16
1.2.2	Objetivos específicos.....	16
1.3	METODOLOGIA.....	17
1.4	ESTRUTURA.....	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1	ILUMINAÇÃO NATURAL E A PERCEPÇÃO DA LUZ EM HUMANOS... 20	
2.2	ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL EM AMBIENTE HOSPITALAR.....	25
2.3	SISTEMA NÃO VISUAL HUMANO.....	29
2.4	CICLO CIRCADIANO.....	30
2.5	APLICAÇÃO DA PLANILHA DE LUCAS NA AVALIAÇÃO DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL.....	32
2.6	APLICAÇÃO DO DIAGRAMA MORFOLÓGICO NA QUALIFICAÇÃO DA LUZ NATURAL EM PROJETOS ARQUITETÔNICOS.....	34
3	APLICAÇÃO DO ESTUDO NA ANÁLISE DA ILUMINAÇÃO INTEGRATIVA DE DOIS QUARTOS DE INTERNAÇÃO.....	37
3.1	OBJETO DE ESTUDO: EDIFÍCIO HOSPITALAR EM JUIZ DE FORA – MG.....	37
3.2	O DIAGRAMA MORFOLÓGICO COMO REFERENCIAL PARA A ANÁLISE DA ILUMINAÇÃO NATURAL.....	38
3.2.1	Dados gerais da cidade de Juiz de Fora.....	39
3.2.2	Parâmetros climáticos da área de estudo.....	39
3.2.3	Dados gerais da edificação do hospital A.....	42
3.2.4	Elementos gráficos de apoio à análise do ambiente.....	44
3.2.5	Tratamento e aplicação dos dados.....	45
3.2.6	Análise dos resultados obtidos.....	48
3.3	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DA PLANILHA DE LUCAS NA ANÁLISE DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL.....	49
3.3.1	Caracterização do local de estudo.....	50

3.3.2	Aplicação e interpretação dos dados.....	51
3.3.3	Resultados obtidos.....	51
3.3.4	Avaliação dos resultados obtidos.....	55
3.4	DADOS GERAIS DA EDIFICAÇÃO DO HOSPITAL B.....	56
3.4.1	Caracterização do local de estudo.....	57
3.4.2	Tratamento e aplicação dos dados.....	59
3.4.3	Análise dos resultados obtidos.....	61
3.6	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DA PLANILHA DE LUCAS NA ANÁLISE DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL.....	62
3.6.1	Aplicação e interpretação dos dados.....	63
3.6.2	Resultados obtidos.....	63
3.6.3	Avaliação dos resultados obtidos.....	67
3.7	LIMITAÇÕES METODOLÓGICAS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	67
4	CONCLUSÃO	69
	REFERÊNCIAS	72
	ANEXO A – Parâmetros e variáveis apresentados no diagrama morfológico.....	77

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A história da arquitetura de edifícios para a saúde confunde-se com a evolução do conceito de hospital. O significado do termo – e de seus semelhantes (hospedaria, hotel) – passa pela consideração de abrigo e do “passar a noite”, o que coincide por sua atual definição, como aquele estabelecimento que possui uma unidade de internamento ou que trata de pacientes por mais de vinte e quatro horas (Carvalho, 2023).

Em outros aspectos, para Carvalho (2023), a percepção que se tinha dos hospitais na Idade Média, caracterizada por índices de mortalidade extremamente altos, difere significativamente da visão contemporânea que se tem dessas instituições.

Durante o século XX, especialmente entre as décadas de 1950 e 1970, com ampla adoção da iluminação elétrica, a importância da iluminação natural foi relegada a um plano secundário (Matos, Scarazzato, 2017).

Para Miquelin (1992), a descoberta da luz elétrica trouxe diversos impactos na arquitetura de hospitais, entre elas espaços sem luz natural e sem aberturas para ambientes externos, já que a iluminação artificial permitia o atendimento a qualquer hora do dia e da noite. Somente após as crises do petróleo na década de 1970, houve um gradual ressurgimento do reconhecimento da iluminação natural, inicialmente como uma medida para reduzir o consumo de energia elétrica nos edifícios (Matos, Scarazzato, 2017).

No Brasil, a maioria dos estabelecimentos de saúde não apresentam variações na iluminação, sendo que em grande parte ela não está de acordo com as normas estabelecidas. No entanto, essa abordagem não é apropriada, uma vez que cada espaço possui suas próprias necessidades e requisitos de desempenho (Kasper *et al*, 2009). Segundo Koth (2013), a eficácia de um sistema de iluminação não depende apenas de sua potência luminosa, mas também da qualidade da luz e da forma como é direcionada e utilizada. Entre os aspectos mais relevantes, destaca-se o campo de visão do paciente e dos profissionais, cuja adequação é essencial para o uso eficiente e confortável da iluminação.

Uma vez que os pacientes hospitalizados têm contato limitado com o ambiente externo, a presença de luz natural e raios solares nos espaços hospitalares assume uma relevância significativa. Um dos benefícios primordiais da iluminação está relacionado à harmonização dos ritmos fisiológicos dos pacientes (Peccin, 2002). Para Scuri (1995), a existência de janelas reduz as ocorrências de dor, febre e depressão pós-operatórias em pacientes internados. Para Peccin (2002), o principal objetivo dos hospitais é o restabelecimento dos enfermos, assim, a iluminação natural é, portanto, fator determinante de saúde.

A luz artificial desempenha papel essencial na continuidade das atividades noturnas, permitindo distribuir as luminâncias conforme as necessidades visuais do ambiente e evitando situações de desconforto, como ofuscamentos e reflexos especulares. A iluminação geral deve ser concebida de forma abrangente e articulada à iluminação localizada, em consonância com o planejamento de interiores, de acordo com a *Illuminating Engineering Society* (2020). As características cromáticas e de refletância das superfícies internas exercem influência direta sobre os níveis de iluminância e luminância, determinando, em conjunto, a qualidade visual do espaço. A iluminação localizada, por sua vez, direciona fluxos luminosos específicos conforme as demandas das tarefas desempenhadas (Ies, 2020).

Conforme a Ies (2020), o ofuscamento proveniente da iluminação artificial resulta, em grande parte, da elevada luminância das fontes luminosas e de sua localização inadequada no campo de visão dos pacientes. Adicionalmente, as refletâncias especulares constituem um fator complementar de ofuscamento, comprometendo a eficiência visual e o conforto no ambiente.

Conforme Boyce (2004), a análise do desempenho humano frente à iluminação e à relação entre homem e arquitetura pode ser estruturada em três eixos principais: o sistema visual, o perceptivo e o circadiano. A *Commission Internationale de l'Éclairage* (CIE), entidade independente fundada em 1913 e com representação no Brasil desde 2002, reforça essa consolidação ao estabelecer normas e promover pesquisas nas áreas de iluminação elétrica, visão e colorimetria (GOV, 2023).

O vasto entendimento existente acerca desses temas resulta de extensas pesquisas desenvolvidas ao longo dos anos no campo da iluminação de interiores. Contudo, o sistema circadiano ainda apresenta lacunas de conhecimento, sobretudo

no que se refere à compreensão dos processos pelos quais os estímulos luminosos são transmitidos do sistema perceptivo ao sistema circadiano (Boyce, 2004).

Entre os elementos que evidenciam a interação entre o ser humano e a luz, destaca-se o ciclo circadiano, ou ritmo biológico. Segundo Markus, Junior e Ferreira (2003), esse sistema é regulado, sobretudo, pela alternância natural do ciclo claro-escuro diário, sendo responsável pela manutenção de funções vitais como o sono, a alimentação, a regulação térmica e a liberação hormonal. No entanto, a exposição prolongada a fontes luminosas artificiais, ainda que favoreça atividades noturnas, pode comprometer a sincronização e o desempenho fisiológico do sistema circadiano.

Tendo isso em vista, os problemas relacionados à iluminação em hospitais vão desde a dificuldade na recuperação de pacientes internados a condições fisiológicas do ser humano e a complexidade dos espaços projetados para a saúde com a influência da luz natural e artificial, bem como das condições ambientais que favorecem o conforto visual do paciente, motivaram a escolha da pesquisa. Para alcançar uma integração efetiva entre a arquitetura e a iluminação, seja ela natural ou artificial, existem instrumentos metodológicos e tecnológicos que auxiliam os projetistas na concepção e avaliação das soluções luminotécnicas.

O Diagrama Morfológico constitui uma ferramenta analítica voltada à exploração de soluções projetuais relacionadas à iluminação natural, podendo ser aplicado tanto na concepção de novos projetos quanto na avaliação e adequação de edificações existentes (Amorim, 2007). Paralelamente, normas brasileiras de iluminação vêm sendo atualizadas de forma a refletir com maior precisão as condições do cotidiano da população no uso da luz artificial, incorporando, além de critérios técnicos, preocupações relacionadas ao bem-estar dos usuários.

A promulgação da NBR 15.215, em 2005, representou um marco importante ao estabelecer diretrizes inovadoras voltadas ao conforto térmico e à iluminação natural das edificações. Em suas atualizações mais recentes, a norma passou a contemplar também a relação entre a iluminação artificial e o bem-estar dos usuários, destacando-se a consideração do ciclo circadiano como elemento essencial para a saúde e o conforto visual. Essas revisões introduziram ferramentas qualitativas de análise que incorporam as preferências humanas frente às condições de iluminação. Entre elas, sobressai-se a Planilha de Lucas, ou *Irradiance Toolbox*, método desenvolvido para quantificar a intensidade luminosa percebida pela

melanopsina e pelos demais fotorreceptores (Neves, 2024). Tal ferramenta tem como principal objetivo estimar a iluminância efetiva associada aos cinco fotopigmentos presentes no olho humano, tomando como referência a distribuição espectral de potência (Lucas, 2013).

Com base nessas premissas, o presente estudo tem como objetivo investigar se a aplicação integrada do Diagrama Morfológico, proposto por Amorim (2007), e da Planilha de Lucas, desenvolvida por Lucas (2013), é capaz de promover melhorias significativas no bem-estar dos usuários. Busca-se, ainda, compreender se essa abordagem pode influenciar positivamente indicadores associados ao ciclo circadiano, tais como a qualidade do sono, os níveis de melatonina e o tempo de exposição à luz adequada, tomando como referência dois ambientes hospitalares existentes para a análise.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo central desta pesquisa é analisar de forma integrada a iluminação natural e artificial aplicada a ambientes hospitalares, com ênfase na avaliação de um quarto de internação em dois hospitais distintos identificados como Hospital A e Hospital B, buscando compreender como as soluções de projeto e os sistemas luminotécnicos adotados nesses espaços influenciam o ciclo circadiano humano, destacando os benefícios decorrentes de uma abordagem baseada na iluminação integrativa. Nesse sentido, o estudo procura demonstrar de que modo estratégias de iluminação podem favorecer a promoção da saúde, o bem-estar e a manutenção dos ritmos biológicos dos usuários em contextos de internação hospitalar.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Esta pesquisa tem como objetivos específicos:

1. Realizar uma revisão da literatura especializada com o intuito de compreender a dinâmica das atividades visuais e não visuais do ser humano, sendo estas últimas associadas à iluminação circadiana;

2. Examinar o método da Planilha de Lucas (Lucas, 2013), voltado à quantificação da intensidade luminosa captada pela melanopsina e por outros fotorreceptores;
3. Analisar o Diagrama Morfológico (Amorim, 2007) e seu potencial como instrumento de apoio na avaliação da iluminação natural em ambientes hospitalares, em específico um quarto de internação em um hospital integrante do Sistema Único de Saúde (SUS), considerando sua contribuição para a qualificação espacial e para a promoção do bem-estar dos usuários;
4. Empregar, em estudo de caso hospitalar, os métodos discutidos — a Planilha de Lucas para a iluminação artificial e o Diagrama Morfológico para a iluminação natural — a fim de identificar pontos positivos e aspectos passíveis de aprimoramento, estabelecendo subsídios para o desenvolvimento de estratégias de iluminação integrativa aplicáveis a diferentes tipologias para quartos de internação.

1.3 METODOLOGIA

A pesquisa em desenvolvimento adota como referencial metodológico o *Design Science Research* (DSR), conforme sistematizado por Hevner *et al.* (2004). Tal abordagem mostra-se especialmente pertinente para estudos voltados à concepção de soluções práticas sustentadas por fundamentos científicos, uma vez que privilegia a criação e a avaliação de artefatos inovadores. Nesse contexto, o objetivo central consiste em investigar e aplicar estratégias capazes de qualificar a análise de projetos hospitalares, com ênfase na implementação de uma iluminação integrativa orientada ao ciclo circadiano humano, favorecendo a promoção da saúde e o bem-estar dos usuários.

Seguindo as diretrizes do DSR, esta investigação parte da identificação de um problema relevante: a integração entre luz natural e artificial ainda pouco explorada nos projetos hospitalares, sobretudo no que se refere à adequação das condições de iluminação aos ciclos circadianos dos usuários. O estudo foi estruturado em duas etapas principais. A primeira consistiu em uma pesquisa bibliográfica e documental, destinada à compreensão dos fundamentos do projeto arquitetônico, bem como dos conceitos e métricas aplicados à iluminação natural e artificial e sua relação com o ciclo circadiano e o bem-estar humano. Inicialmente, foram analisados os impactos

da arquitetura sobre a saúde e a qualidade de vida dos usuários. Em seguida, realizou-se uma investigação aprofundada sobre o funcionamento do ciclo circadiano, evidenciando de que maneira a luz pode influenciar positiva ou negativamente os processos fisiológicos. A partir desse arcabouço, desenvolveu-se uma pesquisa direcionada à aplicação da iluminação natural e artificial em ambientes hospitalares, com vistas ao aprimoramento da qualidade espacial e à promoção do bem-estar.

Dessa forma, propõe-se a elaboração de um artefato aplicável, estruturado pela integração entre o Diagrama Morfológico (Amorim, 2007) — direcionado à análise da iluminação natural — e a Planilha de Lucas (Lucas, 2013), voltada à avaliação da iluminação artificial sob a perspectiva do sistema circadiano.

A concepção desse artefato apoia-se em uma fundamentação teórica consistente, que articula conceitos de cronobiologia, arquitetura e tecnologia da iluminação. Seu desenvolvimento adota um modelo iterativo de design, no qual a solução é progressivamente aprimorada por meio de aplicações práticas e pela incorporação de feedbacks obtidos em um estudo de caso conduzido em um quarto de internação de hospital integrante ao SUS.

A validação do artefato é conduzida por meio da comparação entre as condições de iluminação já existentes no ambiente e os parâmetros definidos pelo modelo integrativo, contemplando variáveis como temperatura de cor, intensidade luminosa, duração da exposição e períodos de incidência.

A presente investigação busca oferecer uma contribuição científica original ao propor um modelo de iluminação integrativa de caráter replicável, passível de incorporação em projetos hospitalares futuros. Os resultados obtidos são comunicados de maneira clara e objetiva, tanto à comunidade acadêmica quanto aos profissionais das áreas de arquitetura, design e engenharia, favorecendo sua ampla aplicabilidade em contextos práticos e em debates teóricos.

1.4 ESTRUTURA

Este trabalho organiza-se em quatro capítulos. O primeiro corresponde à Introdução, onde são apresentadas a justificativa da pesquisa, o objetivo geral, os objetivos específicos e a metodologia adotada, contemplando tanto o aprofundamento dos referenciais teóricos quanto a aplicação prática das

abordagens selecionadas, além da descrição da estrutura do estudo. O segundo capítulo dedica-se à Fundamentação Teórica, abordando temas essenciais: fisiologia e percepção da luz pelo olho humano, sistemas não visuais, ciclo circadiano, iluminação natural e arquitetura, a NBR 15.215 sobre iluminação natural, iluminação artificial e arquitetura, além do Diagrama Morfológico como instrumento projetual para a otimização da luz natural. O terceiro capítulo apresenta a aplicação prática dos referenciais discutidos, a partir de um estudo de caso em quartos de internação de hospital integrante do SUS, no qual são empregados dois métodos complementares: o Diagrama Morfológico, utilizado para avaliar os efeitos da iluminação natural no espaço, e a Planilha de Lucas, destinada a mensurar a influência da iluminação artificial sobre o ciclo circadiano dos usuários. Por fim, o quarto capítulo expõe as conclusões decorrentes da análise realizada, consolidando as contribuições do estudo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ILUMINAÇÃO NATURAL E A PERCEPÇÃO DA LUZ EM HUMANOS

O conceito de conforto visual abrange as condições ideais em um determinado ambiente que permitem ao ser humano executar suas atividades visuais com máxima precisão e acuidade, demandando o mínimo de esforço e apresentando um menor risco de prejuízo à saúde ocular e acidentes (Perén, 2018). Diversas tarefas realizadas pelo indivíduo requerem níveis específicos de iluminação, uma variação que pode ser mais profundamente explorada através de estudos bibliográficos pertinentes, visto que o foco principal reside na conscientização dessas sutis diferenças (Perén, 2018).

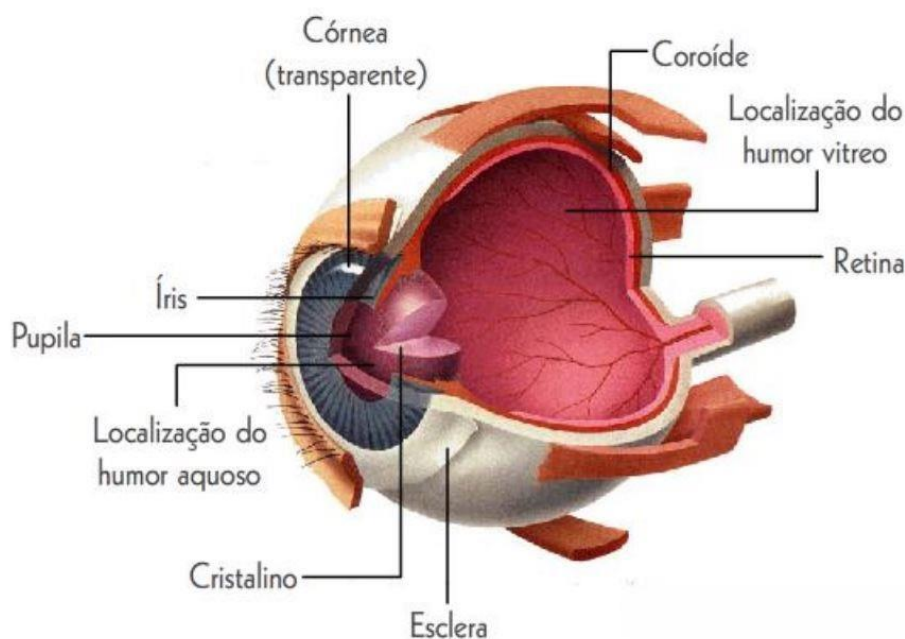
Os estudos dedicados à compreensão do conforto têm elucidado que condições desfavoráveis, como excesso ou carência de calor, umidade, ventilação e renovação do ar, bem como ruídos persistentes, iluminação inadequada e diversos odores, podem representar uma fonte significativa de tensão durante a execução das atividades laborais. Cada uma das variáveis ambientais (luz, clima, ruídos, odores, cores) possui atributos específicos que mais ou menos influenciam as sensações humanas, resultando em aspectos como percepção visual, luminosidade, acústica, condições higrotérmicas, olfato e ergonomia (Brasil, 2014).

A luz é um elemento de considerável responsabilidade na otimização da interação dos usuários com o espaço, permitindo, por exemplo, a expansão visual dos ambientes e sua integração harmoniosa com elementos naturais, buscando a máxima adequação e conforto (Nascimento, 2019).

De acordo com Casagrande *et al.* (2019), a pupila desempenha a função de controlar a quantidade de luz que penetra no olho, conduzindo-a até a retina, local em que a imagem é processada. Nessa estrutura encontram-se os fotorreceptores, constituídos pelos cones e bastonetes, responsáveis pela detecção da luz e pela conversão dos estímulos luminosos em sinais visuais. Essas células contêm fotopigmentos que absorvem a luz, iniciando um processo químico-elétrico que percorre o nervo óptico até o córtex visual do cérebro, onde ocorre a percepção visual. A fóvea, localizada na retina ao longo do eixo do olho, é composta exclusivamente por células cone, que são mais finas, compactas e conectadas de forma individual ao cérebro através do nervo óptico, garantindo uma visão foveal

altamente precisa. Em contraste, as áreas periféricas da retina apresentam uma predominância de bastonetes, que convergem para uma única célula ganglionar, resultando em uma visão periférica menos focada (Van Bommel, 2019).

Figura 1 – Anatomia do olho



Fonte: Disponível em < https://www.gta.ufrj.br/grad/09_1/versao-final/iris/index.html >

Walraven *et al.* (1990), explica que quando um fotopigmento absorve um fóton, o fotorreceptor entra temporariamente em um estado de inatividade devido ao esgotamento do pigmento. Em condições de alta iluminação, ocorre o branqueamento da maioria dos fotopigmentos, reduzindo significativamente a capacidade de absorção de fótons e tornando a célula menos ativa. Nos bastonetes, essa saturação é evidente em níveis de iluminação acima de aproximadamente 5 cd/m², momento em que deixam de funcionar como receptores de luz. Essa característica é essencial, pois os bastonetes, por serem mais sensíveis à luz do que os cones, poderiam causar brilho excessivo sob intensidades luminosas elevadas. Quando a luz diminui, um processo químico reverso os reativa, embora de forma lenta, com tempos de adaptação variando de minutos, em condições de baixa luminosidade moderada, a até 30 minutos em ambientes de escuridão intensa. A

visão mediada pelos bastonetes é monocromática e de baixa resolução, enquanto os cones possibilitam uma visão colorida e de alta acuidade em condições de iluminação mais intensa. Essa percepção de cores é viabilizada pela presença de três tipos de cones, cada um contendo fotopigmentos sensíveis a diferentes comprimentos de onda: azul, verde e vermelho, permitindo uma discriminação cromática detalhada.

Watson (2014), afirma que a região periférica da retina, aproximadamente 100 bastonetes e cones convergem em uma única célula ganglionar, o que amplifica significativamente a sensibilidade dos bastonetes e permite a visão em condições de iluminação extremamente baixa. Contudo, essa convergência resulta na perda de informações precisas sobre a origem espacial da luz, o que compromete a qualidade da imagem transmitida ao cérebro. Como consequência, a visão periférica mediada pelos bastonetes apresenta alta sensibilidade em ambientes de baixa luminosidade, mas é caracterizada por baixa acuidade e imagens pouco nítidas.

Nas práticas arquitetônicas, as estratégias de projetos ganham destaque como promotoras do desenvolvimento sustentável, incorporando abordagens de aquecimento, resfriamento e iluminação naturais, embasadas em estudos climáticos e interações com seres vivos (Bitencourt, 2013).

Para Romero (2001), ao conceber um edifício, é fundamental não apenas considerar o design arquitetônico, mas também as interações energéticas entre a edificação, seu entorno e o meio ambiente. Essa abordagem deve incorporar princípios e soluções estratégicas que visem otimizar o desempenho energético do edifício. Entre essas soluções, destaca-se a maximização da iluminação natural durante o inverno e a minimização da exposição solar no verão.

De acordo com Mascarello (2005), o uso apropriado da iluminação natural proporciona vantagens econômicas, promovendo a eficiência energética das edificações, ao mesmo tempo que mantém níveis de conforto visual e psicológico ideais para os ocupantes.

Em ambientes destinados à prestação de serviços de assistência à saúde, nos quais emergem frequentemente situações críticas e estressantes envolvendo relações interpessoais e indivíduos que enfrentam certo grau de sofrimento físico e/ou psíquico, os fatores ambientais que delineiam as condições de conforto (acústicas, visuais, luminosas, higrotérmicas, olfativas e ergonômicas) adquirem uma relevância crucial no processo de concepção arquitetônica (Brasil, 2014). Cabe

ênfatizar que, à medida que as atividades desempenhadas se tornam mais complexas, a responsabilidade pelos riscos inerentes cresce, tornando imperativo o cuidado meticuloso com esses aspectos tanto na elaboração quanto na implementação do projeto (Brasil, 2014). A intervenção precoce, avaliação e influência durante a fase de planejamento e projeto, tendem a render resultados mais eficazes, de maior qualidade e menos onerosos no resultado da edificação projetada. Em contraposição à sensação de desconforto, a percepção do conforto humano não se deixa mensurar facilmente. Resultante da harmonização entre diversos condicionantes ambientais (higrotérmicos, acústicos, visuais, olfativos, qualidade do ar, entre outros) e fisiológicos (metabolismo, idade, etc.), essa sensação visa a integração do indivíduo (usuário) com seu meio, contribuindo para a otimização de seu desempenho nas atividades cotidianas (Brasil, 2014).

A avaliação da qualidade do ambiente construído destinado à assistência à saúde considera os aspectos de conforto visual proporcionados pelos elementos de iluminação, visando otimizar o desempenho das atividades realizadas no espaço (Nascimento, 2019). A inserção da iluminação como um elemento de humanização, desempenha um papel essencial ao ampliar as oportunidades para atender às demandas com excelência. Assim, é essencial levar em consideração as características e restrições distintas de cada ambiente, dos ocupantes e de suas ações, tudo isso vai além do que está nas normas (Bitencourt, 2013).

Segundo Geraldo (2022), já em meados do século XIX surgiram reflexões pioneiras que destacavam o papel do ambiente no processo de cura, propondo transformações nas estruturas hospitalares que favorecessem tanto a assepsia quanto o bem-estar dos pacientes. Essas recomendações incluíam a valorização da ventilação cruzada e do uso abundante da luz natural, deslocando a concepção do hospital de um espaço meramente técnico para um ambiente projetado de forma a atender às necessidades físicas e psicológicas dos enfermos. Entre essas orientações, destacava-se a exigência de janelas amplas, capazes de permitir elevada incidência de iluminação natural. Tal abordagem inovadora não apenas reconhecia o valor funcional da luz como elemento arquitetônico, mas também evidenciava sua influência direta na recuperação e na saúde dos indivíduos (Brasil, 2014).

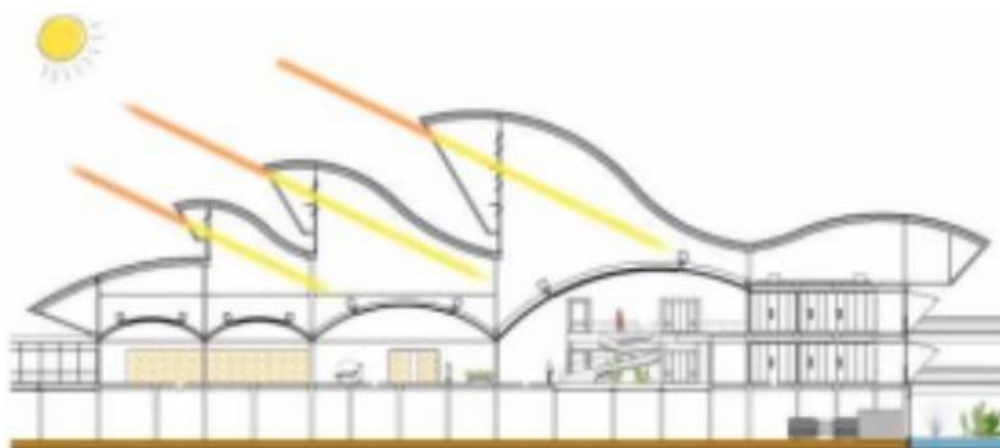
Para Nascimento (2019), sob a perspectiva da humanização, surge a oportunidade de desenvolver diretrizes iniciais para a concepção de projetos em

ambientes de saúde, com ênfase particular na iluminação das atividades que afetam tanto o corpo quanto a mente. É fundamental garantir que a iluminação não interfira nos ritmos metabólicos dos usuários, a fim de evitar potenciais impactos negativos na saúde e no bem-estar dos indivíduos.

A incorporação da iluminação natural em estabelecimentos assistenciais de saúde (EAS) é uma prioridade respaldada pelo Manual de Conforto Ambiental da ANVISA (2014). A norma preconiza que o acesso à luz natural deve ser facilitado, garantindo que pacientes, visitantes e profissionais de saúde estejam a uma distância inferior a 50 metros de uma fonte de luz natural. Além disso, o planejamento arquitetônico deve enfatizar a integração com o ambiente externo, privilegiando a vista para a paisagem natural e outras características do local. A disposição das aberturas, como janelas nas extremidades dos corredores, claraboias em áreas profundas e portas com janelas laterais, deve assegurar que o acesso à iluminação natural seja direto e independente de outros ambientes (Brasil, 2014).

Boni (2018) destaca diversas abordagens que podem ser adotadas, como a iluminação zenital, que envolve coberturas transparentes como *sheds*, lanternas, abóbodas e domos, permitindo a entrada de luz do topo. Embora a iluminação natural possa conferir resultados positivos aos projetos quando utilizada adequadamente, é crucial observar a sua aplicação para evitar desafios. Portanto, a compreensão das nuances da iluminação natural é essencial para otimizar os benefícios que ela oferece em projetos arquitetônicos.

Figura 2 – Corte com cobertura em arco móvel e entrada de iluminação natural



Fonte: Perén (2018)

2.2 ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL EM AMBIENTE HOSPITALAR

Com o objetivo de garantir o desempenho de atividades à noite, a iluminação artificial deve ser capaz de proporcionar uma distribuição de iluminâncias adequadas às necessidades dos espaços, assim como proteger os usuários do desconforto visual, como ofuscamentos e refletâncias especulares.

A iluminação geral tem a função de iluminar o espaço de modo abrangente. O projeto de iluminação geral, além de ser desenvolvido de modo integrado a iluminação localizada, também deve ser planejado conjuntamente ao projeto de interiores (Lesna, 2000). Para Lesna, essa necessidade é decorrência do fato de que as cores e as refletâncias das superfícies internas têm influências nas iluminâncias totais do espaço, para isso é indicado que o acabamento do forro, executado ao nível das luminárias pendentes, pode elevar as iluminâncias em até 10%.

O delirium é uma disfunção aguda muito frequente em pacientes internados, caracterizado por alterações transitórias de consciência e cognição. A sua prevalência média está em torno de 70%. Além disso, pacientes que desenvolvem esse distúrbio apresentam piores resultados na evolução, aumentando o tempo de hospitalização e maior possibilidade de eventos adversos, aumentando a morbimortalidade (Mori *et al*, 2016).

A iluminação localizada estabelece centros focais, nos quais as maiores iluminâncias estão concentradas. Os valores das iluminâncias nestas áreas dependem das tarefas visuais executadas. Segundo o Lesna (2000), quanto menor é a área de trabalho, mais complexos são os requisitos visuais. Além disso, o contraste entre as luminâncias, a precisão da tarefa visual e a velocidade requerida para execução também influenciam nos requisitos visuais. Esses fatores são fundamentais para garantir boas condições de visão aos procedimentos médicos executados nos hospitais. Em relação às vantagens do uso da iluminação localizada, Lam (1986) aponta a possibilidade do controle da direção a intensidade da luz, o que facilita a adaptação da iluminação às necessidades específicas de cada tarefa visual.

As intervenções na prevenção do delirium devem abraçar os fatores de risco modificáveis, como é o caso da iluminação natural no ambiente hospitalar, bem como presença de relógio, isolamento do paciente, presença de janelas, uso de

próteses visuais e auditivas, regulação do ciclo circadiano e contato com familiares (Pitrowsky *et al*, 2010).

O tratamento varia com a condição específica, quando esta é identificável. De maneira geral, o tratamento tem por objetivo proteger o paciente de lesões. Este tratamento inclui medidas como flexibilização de horários de visitas para permitir maior orientação de tempo, além de redução de ruídos e iluminação noturna controlada, com o objetivo de melhorar o conforto do paciente (Pessoa, Nácul, 2006).

O uso de iluminação geral combinada com a localizada em um mesmo espaço possibilita a composição do ambiente visual de acordo com as áreas de maior e menor interesse. Esta estratégia é mais econômica do que tentar aumentar a iluminância geral para atender à tarefa visual mais crítica (Lam, 1986). Além disso, a iluminação direcional apresenta melhores resultados quando complementada por luz difusa (lesna, 2000). Desta forma, os altos contrastes e sombras intensas são evitados. O fornecimento de interruptores independentes viabiliza a adaptação dos sistemas de iluminação às diferentes solicitações visuais. Desta forma, os usuários podem ajustar a iluminação conforme suas necessidades (lesna, 2000).

Nos hospitais, o ofuscamento do sistema de iluminação artificial decorre de duas causas básicas: a luminância excessiva da fonte de luz e a localização das luminárias no campo visual dos pacientes. Considerando as posições usuais ocupadas pelos pacientes (deitados e reclinados no leito), o forro e suas instalações tornam-se parte especiais do projeto. O ofuscamento pode ser atenuado por meio de estratégias que envolvem a redução da luminância presente no ambiente, bem como o controle do ângulo formado entre a fonte luminosa e a linha de visão dos usuários (lesna, 2000). Assim, pode-se evitar que os pacientes dos leitos em frente ou ao lado, em uma enfermaria, sejam atingidos diretamente pela iluminação. Com o intuito de orientar os usuários e fornecer subsídios técnicos ao profissional responsável pelo projeto, passaram a ser publicadas normas específicas que estabelecem diretrizes para a elaboração de propostas adequadas.

A publicação da NBR ISO/CIE 8995-1 – Iluminação de ambientes de trabalho – Parte 1: Interior (ABNT, 2013) representou um avanço ao tratar de maneira mais específica os requisitos relacionados à iluminação em espaços internos destinados ao trabalho. Em seu escopo, a norma estabelece critérios que visam assegurar condições visuais adequadas para o desempenho eficiente, seguro e confortável das

tarefas ao longo da jornada laboral. Embora direcionada a ambientes de trabalho, a norma já evidencia uma preocupação com o conforto do usuário durante a execução das atividades. Entre os parâmetros contemplados destacam-se a qualidade do ambiente luminoso, a distribuição da luminância, os níveis de iluminância, o controle do ofuscamento, a direcionalidade da luz, os aspectos cromáticos, o aproveitamento da luz natural, bem como diretrizes relativas à manutenção, ao consumo de energia e à iluminação de estações de trabalho com monitores de vídeo. Adicionalmente, aborda questões como cintilação, efeito estroboscópico e iluminação de emergência. Também são apresentadas recomendações específicas para determinadas funções e ambientes, organizadas por setores da edificação, conforme ilustrado na Tabela 1.

Tabela 1 — Diretrizes de iluminação recomendadas pela NBR 8995-1

29. Locais de assistência médica				
Salas de espera	200	22	80	Iluminância ao nível do piso.
Corredores: durante o dia	200	22	80	Iluminância ao nível do piso.
Corredores: durante a noite	50	2	80	Iluminância ao nível do piso.
Quartos com claridade	200	22	80	Iluminância ao nível do piso.
Escritório dos funcionários	500	19	80	
Sala dos funcionários	300	19	80	

Fonte: ABNT (2013)

Os parâmetros ilustrados na Tabela 1 estão organizados de forma sequencial: a primeira coluna apresenta a relação de ambientes, tarefas ou atividades; a segunda define o nível de iluminância (em lux) sobre a superfície de referência correspondente; a terceira estabelece o valor limite para o índice de ofuscamento unificado (UGRL); a quarta indica o índice mínimo de reprodução de cor (Ra); e, por fim, a quinta reúne observações complementares (ABNT, 2013). Apesar de fornecer uma abordagem detalhada para o projeto luminotécnico, a norma não contempla a temperatura de cor, aspecto relevante para os efeitos da iluminação no ciclo circadiano.

Em 2003, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou a primeira versão da NBR 15.215, composta por quatro partes, com a finalidade de regulamentar o uso da iluminação natural em ambientes edificados. A criação desse conjunto normativo representou um avanço significativo, uma vez que, até então, o país dispunha apenas de Códigos de Obras municipais, caracterizados por

parâmetros limitados e insuficientes para assegurar o adequado desempenho das construções (Souza, 2024).

O principal objetivo que motivou a elaboração das normas foi o interesse dos profissionais em incorporar boas práticas de iluminação natural nos projetos arquitetônicos, considerando tanto o bem-estar dos usuários quanto a eficiência energética, conforme disposto na ABNT NBR 15.215-1 (2003). Para acompanhar as transformações tecnológicas e conceituais ocorridas ao longo das últimas duas décadas, a norma passou por sucessivas revisões, culminando com a publicação de sua parte mais recente em junho de 2024 (Souza, 2024).

Um avanço significativo nas considerações sobre os efeitos da luz no ciclo circadiano encontra-se nas atualizações da norma de iluminação natural NBR 15.215-4 (ABNT, 2024), que passou a incluir a verificação experimental das condições de iluminação interna em edificações. Essa versão atualizada incorporou tanto parâmetros quantitativos quanto qualitativos na análise do ambiente construído, além de enfatizar aspectos relacionados ao impacto da luz sobre a regulação circadiana.

A seção mais recente desse conjunto normativo, Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de medição, atualizada em 2023, introduziu alterações relevantes nos critérios de análise e medição da luz. Essa parte da norma estabelece métodos para a verificação experimental da iluminância e da luminância em ambientes internos (ABNT NBR 15.215-4, 2023). Entre as inovações, destacam-se a incorporação de parâmetros relacionados ao ciclo circadiano, além dos tradicionais indicadores quantitativos de medição. A atualização também recomenda a utilização de questionários voltados a estímulos visuais e não visuais, bem como pesquisas de comportamento e preferências, de modo a integrar dimensões qualitativas ao processo de avaliação. Outro aspecto relevante é a simplificação da redação e da estrutura metodológica, que fornece aos profissionais um guia mais acessível e próximo de um procedimento passo a passo, favorecendo sua aplicação prática.

A iluminação integrativa envolve múltiplos fatores que buscam, simultaneamente, assegurar o conforto visual e equilibrar os efeitos fisiológicos da luz sobre o organismo humano. Embora as normas desempenhem papel essencial ao fornecer diretrizes e parâmetros de referência, elas não são suficientes, por si só, para garantir a qualidade do projeto, já que este resulta da articulação complexa

entre variáveis qualitativas e quantitativas (Bandeira & Scarazzato, 2018). Nesse sentido, torna-se imprescindível adotar uma abordagem abrangente no processo de concepção, integrando, desde as etapas iniciais de planejamento, a luz natural e a iluminação artificial de forma complementar.

2.3 SISTEMA NÃO VISUAL HUMANO

De acordo com Brown (2020), a exposição luminosa que incide sobre os olhos humanos desencadeia respostas não visuais importantes, como a supressão da secreção de melatonina — o hormônio associado à indução do sono — e a sincronização do ritmo circadiano. Até o final do século XX, acreditava-se que apenas os cones e bastonetes eram responsáveis pela fotossensibilidade ocular. Contudo, no início do século XXI, descobriu-se uma terceira classe de fotorreceptores, as células ganglionares intrinsecamente fotossensíveis (ipRGCs). Essas células, além de desempenharem papel central na sincronização dos ritmos biológicos, também participam de processos visuais, como a discriminação de padrões e o rastreamento dos níveis globais de brilho. Evidências recentes sugerem ainda que as ipRGCs permitem que a luz ambiente exerça influência direta sobre funções cognitivas superiores, incluindo aprendizagem, memória e estado de alerta, ampliando a compreensão do impacto fisiológico e neurocomportamental da iluminação artificial sobre o ser humano.

Segundo Brown (2020), as respostas não visuais à luz podem ser desencadeadas pela ativação combinada de diferentes tipos de opsinas, um grupo de proteínas fotossensíveis presentes nos fotorreceptores da retina. Entre essas, destacam-se a melanopsina, associada às células ganglionares intrinsecamente fotossensíveis (ipRGCs); a rodopsina, presente nos bastonetes; e as opsinas dos cones, sensíveis a comprimentos de onda longos (vermelhos), médios (verdes) e curtos (azuis). A interação entre essas cinco opsinas permite uma resposta integrada do sistema visual e não visual, regulando tanto a percepção cromática quanto os processos fisiológicos dependentes da luz, como a sincronização circadiana e o controle hormonal.

Para Figueiro, Nagare e Price (2018), o ritmo circadiano humano apresenta uma oscilação natural em torno de 24,2 horas quando não há marcadores temporais externos. A alternância diária entre os períodos de luz e escuridão, percebida pela

retina, atua como principal agente sincronizador do relógio biológico, ajustando seu funcionamento para coincidir com o ciclo de 24 horas do ambiente terrestre. Qualquer perturbação nesse mecanismo de regulação pode desencadear disfunções fisiológicas e metabólicas, manifestadas em alterações do sono, redução do desempenho cognitivo e aumento da suscetibilidade a doenças crônicas, como obesidade e diabetes. Desde a década de 1990, pesquisas sobre os efeitos não visuais da luz e sua influência no ritmo circadiano têm demonstrado que a iluminação exerce papel estimulante sobre o organismo humano, impactando diretamente os estados de alerta e bem-estar. Nesse contexto, destaca-se que a luz natural se mostra significativamente mais eficaz na regulação dos ritmos biológicos quando comparada à iluminação artificial.

Segundo Foster (2020), a insuficiência de exposição à luz e o desalinhamento entre o ritmo circadiano e o ciclo natural de claro-escuro podem provocar atrasos no relógio biológico e levar ao quadro conhecido como *Sleep and Circadian Rhythm Disruption* (SCRD). Essa condição desencadeia efeitos adversos de curto e longo prazo, que tendem a se intensificar em indivíduos com predisposição a transtornos mentais. Entre as consequências imediatas, o autor destaca o microssono, a irritabilidade, as dificuldades de concentração, a redução da motivação e o comprometimento da memória e do desempenho cognitivo. Já as implicações crônicas incluem o aumento do estresse fisiológico e psicossocial, maior risco de doenças cardiovasculares, elevação do consumo de estimulantes e sedativos, além da possibilidade de desenvolvimento da síndrome metabólica. Tais efeitos evidenciam a relevância da sincronização adequada do ciclo circadiano com as condições de iluminação como fator essencial para a manutenção da saúde física e mental.

2.4 CICLO CIRCADIANO

Segundo Leite (2023), o Ciclo Circadiano, do latim “circa” (cerca) e “diem” (dia), ou seja, “cerca de um dia”, é o conjunto de processos biológicos responsáveis por regular funções comportamentais e fisiológicas dos seres humanos com duração de aproximadamente 24 horas. O também chamado de ritmo biológico é orientado principalmente conforme a alternância do ciclo claro-escuro diário (Markus; Junior; Ferreira, 2003).

Nossa fisiologia e comportamento são moldados pela rotação da Terra em torno de seu eixo. Sem este relógio circadiano endógeno, o *Homo sapiens* não seria capaz de otimizar o gasto energético e a fisiologia interna do corpo (Reddy, Reddy, Sharma, 2023).

Existem dois sistemas circadianos diferentes: um está localizado no cérebro no núcleo supraquiasmático e o segundo nos tecidos periféricos (Rácz *et al.* 2018). Para Reddy, Reddy e Sharma (2023), a privação de sono ou hábitos inadequados de sono podem causar consequências significativas, pois, durante o ciclo de sono, ocorrem processos como a consolidação da memória, a recuperação do corpo e a regulação metabólica. Com isso, os autores explicam que esse ciclo, que alterna entre sono e vigília, pode afetar os padrões alimentares, a digestão, a temperatura corporal, a liberação hormonal e outras funções do organismo, além de condições crônicas de saúde, como diabetes, obesidade, depressão, transtorno bipolar, transtorno afetivo sazonal e distúrbios do sono, estão associadas a ritmos irregulares de sono.

Chaput *et al.* (2023) afirma que quando o ciclo de sono de uma pessoa é alterado, seja por restrição na duração do sono ou pela baixa qualidade do mesmo, seu ciclo circadiano também se modifica. Essas alterações impactam as escolhas alimentares, que tendem a ser inclinadas para alimentos com altos valores calóricos, ricos em açúcar ou de baixa qualidade nutricional. Essa predisposição aumenta o risco de problemas de saúde metabólica e promove o ganho de peso.

Reddy, Reddy e Sharm (2023) frisam que o desenvolvimento do sistema circadiano em mamíferos se dá após o nascimento. Durante a gestação, o feto não é exposto a estímulos externos, resultando em um sistema circadiano imaturo ao nascer. A formação dos ritmos circadianos de 24 horas acontece nos primeiros 4 meses de vida, período em que o recém-nascido passa por mudanças fisiológicas rápidas e se adapta ao ambiente. A melatonina, crucial para a estabilização dos ritmos circadianos, começa a ser produzida por volta dos 3 meses de idade. A produção de cortisol, um indicador importante do funcionamento adequado do ritmo circadiano, pode ocorrer entre as 8 semanas e os 9 meses de idade.

O sono adequado permite que o corpo se envolva em ritmos circadianos, o que inicia o acúmulo de reservas de energia para processos metabólicos, remodelação neuronal para função sináptica, consolidação de memória e assimilação de sistemas motores complexos (Reddy, Reddy, Sharma, 2023).

Para Reddy, Reddy e Sharma (2023), a luz artificial proveniente de computadores, televisões, smartphones e outros aparelhos eletrônicos pode igualmente prejudicar a capacidade do corpo de manter ritmos circadianos saudáveis. Os sintomas comuns em pessoas que lutam contra a depressão frequentemente podem ser associados à perturbação dos seus ritmos circadianos.

2.5 APLICAÇÃO DA PLANILHA DE LUCAS NA AVALIAÇÃO DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

A NBR 15.215-4 (2023) disponibiliza um conjunto de procedimentos e ferramentas destinados à avaliação das condições de iluminação natural, organizados em uma tabela que sintetiza as principais métricas e métodos passíveis de verificação experimental. Essa estrutura é dividida em quatro categorias: Aspecto, Foco, Métrica/Indicadores e Ferramentas/Equipamentos. Entre as atualizações recentes, destaca-se a inclusão de parâmetros voltados à análise dos efeitos da luz sobre o ciclo circadiano. No item *Aspecto*, sob o tópico Estímulo Não Visual, encontra-se o foco denominado Potencial Circadiano, para o qual são sugeridos indicadores como o *Equivalent Melanopic Lux* (EML) e a razão *Melanopic/Photopic Ratio* (M/P). Para a avaliação dessas métricas, a norma recomenda a utilização de recursos específicos, tais como a Planilha de Lucas e os softwares ALFA e Lark (ABNT NBR 15.215-4, 2023).

Tabela 2 — Métricas e procedimentos para verificação experimental

Estímulo não visual	Potencial circadiano	EML, M/P	Planilha de Lucas ^a , ALFA and Lark software
		M-EDI	Ferramentas CIE S 026 α -opic ^a
		CS	Calculadora CS ^a , Software Lark
	Percepção individual de luz (visual e não visual)	Padrão de recepção de luz em nível individual	Sensores de luz vestíveis ^b

Fonte: NBR 15.215-4 (2023).

Pesquisas realizadas na Universidade de Manchester em 2004, em colaboração com o professor Robert Lucas e a divisão de Neurociência da instituição, forneceram base científica para parte das atualizações incorporadas à NBR 15.215-4 (2023). A partir desses estudos, foi desenvolvido um método destinado a quantificar a intensidade luminosa percebida pela melanopsina e por outros fotorreceptores presentes no olho humano (Neves, 2024). Esse recurso, denominado Planilha de Lucas ou *Irradiance Toolbox*, tem como finalidade principal estimar a iluminância efetiva associada a cada um dos cinco fotopigmentos do sistema visual humano, utilizando como referência a distribuição espectral de potência da luz (Lucas, 2013).

A planilha proposta por Lucas (2013) adota duas metodologias principais. A primeira é o cálculo da iluminância melanópica (EML), que quantifica o estímulo provocado pela luz sobre os fotorreceptores não visuais, sobretudo nas células contendo melanopsina, responsáveis pela regulação do ritmo biológico circadiano. A EML é quantificada em lux melanópico (lx), tendo como referência a norma CIE S 026, que estabelece cinco funções de sensibilidade espectral destinadas a caracterizar a radiação óptica segundo sua aptidão para estimular as cinco classes de fotorreceptores retinianos α -ópicos. Esses fotorreceptores estão associados aos efeitos não visuais da luz em seres humanos, mediados principalmente pelas ipRGCs. Em diferentes contextos ambientalmente representativos, evidências experimentais indicam que a fotorrecepção dependente da melanopsina nas ipRGCs constitui o principal determinante da sensibilidade espectral das respostas não visuais. Tais respostas abrangem desde a modulação do ciclo sono-vigília e da secreção de melatonina até o controle do diâmetro pupilar em condições de equilíbrio luminoso. Investigações mais recentes ampliam esse entendimento ao demonstrar que o fotopigmento melanopsina também participa de processos visuais propriamente ditos. Nesse sentido, a sinalização mediada por melanopsina pode exercer influência relevante tanto na percepção subjetiva de brilho quanto em determinados componentes da visão espacial, indicando uma integração funcional entre mecanismos visuais e não visuais na resposta humana à luz. A segunda é a Razão M/P (*Melanopic/Photopic Ratio*), que estabelece a relação entre a iluminância melanópica (M) e a iluminância fotópica convencional (P), esta última relacionada à percepção visual da luz. Destaca-se, nesse contexto, o papel da melanopsina, que permite ao cérebro perceber a luz de forma indireta, influenciando a regulação

circadiana e as respostas adaptativas aos estímulos luminosos, como o ajuste à luz ambiente. Por sua alta sensibilidade à faixa espectral da luz azul, a melanopsina explica, por exemplo, os efeitos da exposição noturna a esse tipo de radiação sobre o sono e a produção de melatonina. De forma resumida, o cálculo da EML busca mensurar o estímulo biológico da luz, expresso em lux, indicando sua intensidade circadiana. Já a metodologia da Razão M/P possibilita avaliar a composição espectral da iluminação, distinguindo se sua predominância é mais próxima das tonalidades azuladas ou avermelhadas.

2.6 APLICAÇÃO DO DIAGRAMA MORFOLÓGICO NA QUALIFICAÇÃO DA LUZ NATURAL EM PROJETOS ARQUITETÔNICOS

Para orientar este estudo, que busca analisar um ambiente de internação em edifício hospitalar com ênfase na eficiência da iluminação natural e artificial em prol do bem-estar humano e da regulação do ciclo circadiano, adotou-se o Diagrama Morfológico (Amorim, 2007) como método de análise da luz natural. Os autores propuseram diferentes estratégias para potencializar o uso da iluminação natural em espaços construídos, entre elas a sistematização de possibilidades arquitetônicas com base em estudos de caso exemplares, nos quais foram examinadas informações consideradas relevantes. Como resultado desse processo, desenvolveram o instrumento denominado *Morphological Box*, aplicável à análise e catalogação de projetos. Segundo Amorim (2007, p. 60), esse recurso configura-se como uma ferramenta metodológica capaz de organizar variáveis projetuais e ampliar as alternativas de solução luminotécnica em ambientes arquitetônicos.

A partir desse conceito foi desenvolvido o Diagrama Morfológico, um instrumento que, além de servir como modelo de análise de projetos já consolidados, pode ser aplicado também na etapa de concepção arquitetônica. Essa adaptação amplia a proposta original ao incorporar categorias adicionais, como a consideração das condições climáticas brasileiras, a ventilação natural, a integração com a iluminação artificial e os sistemas de controle. Dessa forma, o método potencializa a avaliação de aspectos ambientais, especialmente no que se refere ao desempenho térmico e à eficiência energética. Conforme ressalta Amorim (2007), a ampliação das categorias decorre do fato de que as decisões projetuais estão intrinsecamente

relacionadas à forma, ao invólucro e às aberturas arquitetônicas, elementos que influenciam diretamente tais variáveis.

Para a aplicação do método, torna-se necessário preencher o diagrama com as características específicas do edifício, a fim de avaliar se o projeto de iluminação pode ser considerado adequado ou se demanda ajustes e otimizações. A partir da combinação entre Parâmetros e Variáveis, o instrumento permite explorar distintas alternativas projetuais. A estrutura do diagrama organiza-se em três níveis analíticos: Espaço Urbano, Edifício e Ambiente Interno. Cada um desses níveis contempla diferentes parâmetros, os quais, por sua vez, podem ser detalhados em variáveis específicas que orientam a avaliação e a geração de soluções arquitetônicas.

No contexto do diagrama, o ambiente interno e externo é concebido como a composição de planos que estruturam o espaço, incluindo piso, paredes com aberturas, teto, entre outros elementos. Conforme observa Amorim (2007), esses planos correspondem aos Parâmetros do Diagrama Morfológico, enquanto as diferentes formas de configuração — como as possibilidades de disposição de pisos, paredes e janelas — são entendidas como suas Variáveis.

Esta etapa do estudo tem como propósito avaliar a eficiência luminosa de um quarto de internação, considerando tanto a iluminação natural quanto a artificial, a partir dos métodos definidos pelo Diagrama Morfológico. Conforme discutido anteriormente, esse método caracteriza-se por um processo analítico estruturado em diferentes níveis, iniciando-se pela maior complexidade, correspondente ao Espaço Urbano, prosseguindo pela análise do Edifício e sendo concluído no Ambiente Interno. Este último pode abranger um espaço específico ou múltiplos ambientes selecionados de acordo com a relevância para a análise.

Para a realização da análise, torna-se imprescindível reunir informações detalhadas sobre a edificação, tais como tipologia, localização geográfica (cidade, latitude, longitude e altitude), ano de construção e autoria do projeto, conforme orienta Amorim (2007). Em seguida, devem ser apresentados os dados referentes às condições climáticas locais, incluindo médias anuais de temperatura, índices mínimos e máximos de radiação solar, regime de ventos e precipitações, além da carta solar correspondente à região (Amorim, 2007). Posteriormente, recomenda-se a inserção da implantação do edifício ou de registros fotográficos aéreos que evidenciem sua relação com o contexto urbano. Por fim, a análise é complementada com plantas, cortes, imagens e outras representações gráficas consideradas

essenciais para a avaliação dos diferentes níveis do Diagrama Morfológico — Edifício e Ambiente Interno — conforme proposto por Amorim (2007).

Na análise do objeto de estudo, serão considerados e aplicados os parâmetros e variáveis definidos no Diagrama Morfológico (Amorim, 2007), os quais encontram-se sistematizados no Anexo A.

3 APLICAÇÃO DO ESTUDO NA ANÁLISE DA ILUMINAÇÃO INTEGRATIVA DE DOIS QUARTOS DE INTERNAÇÃO

3.1 OBJETO DE ESTUDO: EDIFÍCIO HOSPITALAR EM JUIZ DE FORA – MG

A presente pesquisa tem como finalidade aplicar os conceitos discutidos na fundamentação teórica à prática, por meio da análise de quartos de internação pertencente a um hospital integrante ao SUS. Para efeito de estudo, a investigação será contextualizada na cidade de Juiz de Fora, MG, considerando as condições locais que influenciam o desempenho das soluções propostas.

Conforme estabelecido nos objetivos gerais e específicos desta dissertação, a investigação propõe a aplicação prática dos conceitos discutidos na fundamentação teórica em um ambiente hospitalar, buscando avaliar a iluminação integrativa a partir de seus efeitos sobre o ciclo circadiano humano. A proposta contempla os aspectos técnicos da iluminação, reconhecendo a relevância da luz natural e artificial na promoção da saúde, no bem-estar e na regulação biológica dos indivíduos.

Para uma análise mais abrangente do objeto de estudo, procedeu-se inicialmente a um levantamento métrico do local, complementado pela elaboração de um relatório fotográfico destinado a registrar a situação atual e as características técnicas predominantes do ambiente. Esse material de base permitiu contextualizar a investigação e fornecer subsídios visuais para a compreensão do espaço analisado. A avaliação da iluminação natural foi conduzida segundo a metodologia do Diagrama Morfológico (Amorim, 2007), cuja estrutura analítica possibilita examinar variáveis em diferentes escalas, desde o espaço urbano — que influencia diretamente fatores como sombreamento, orientação solar e densidade edificada — até o ambiente interno, onde são observados aspectos relacionados à conformação do espaço, aberturas e incidência luminosa. Essa abordagem permite relacionar os parâmetros arquitetônicos ao desempenho lumínico de maneira sistemática e comparativa. Em paralelo, a análise da iluminação artificial foi realizada com base na metodologia da Planilha de Lucas (Lucas, 2013), a qual se fundamenta na quantificação do estímulo circadiano da luz, contemplando indicadores como a iluminância melanópica e a razão melanópica/fotópica. A aplicação dessa ferramenta considerou os tipos de lâmpadas em uso, suas características espectrais e seu desempenho em interação com o ambiente construído. Dessa forma, tornou-se

possível integrar a avaliação qualitativa e quantitativa da iluminação, permitindo uma leitura crítica das condições existentes e da eficácia das soluções adotadas.

O presente estudo tem como objeto de análise a iluminação natural e artificial de dois quartos de internação hospitalar. A escolha desse ambiente justifica-se pelo tempo prolongado de permanência dos pacientes durante o processo de recuperação, o que torna sua qualidade espacial e luminosa um fator determinante para o conforto e o bem-estar. A partir dessa análise, busca-se propor soluções que qualifiquem o ambiente, contribuindo para melhores condições de internação.

Para a condução deste estudo, adotou-se uma abordagem fundamentada na análise quantitativa, de modo a subsidiar tecnicamente as decisões relacionadas à aplicação da iluminação integrativa. A partir da quantificação de parâmetros luminotécnicos, foi possível avaliar de forma objetiva o potencial da proposta em influenciar o ritmo circadiano dos pacientes. Essa etapa analítica possibilitou correlacionar os dados obtidos com evidências científicas sobre a exposição à luz e seus efeitos na regulação do ciclo sono-vigília, oferecendo subsídios para a definição de estratégias de iluminação voltadas à promoção da saúde e do bem-estar dos usuários.

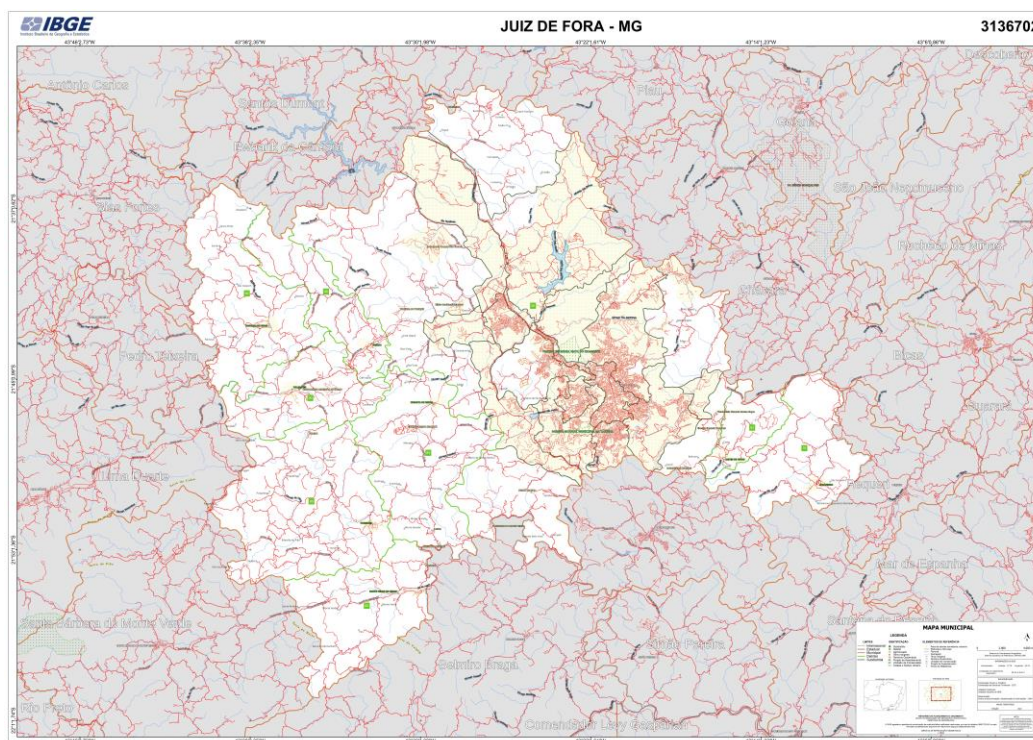
3.2 O DIAGRAMA MORFOLÓGICO COMO REFERENCIAL PARA A ANÁLISE DA ILUMINAÇÃO NATURAL

Com base nas diretrizes de análise propostas pelo Diagrama Morfológico (Amorim, 2007), torna-se necessário levantar um conjunto de informações referentes à edificação objeto deste estudo. Conforme orientações metodológicas, a investigação será conduzida em quatro etapas principais: (i) caracterização da edificação, contemplando aspectos tipológicos, localização geográfica (cidade, latitude, longitude e altitude) e ano de construção; (ii) levantamento das condições climáticas locais, incluindo médias anuais de temperatura, valores mínimos e máximos de radiação solar, regime de ventos, índices pluviométricos e carta solar da região; (iii) análise da implantação do edifício, destacando sua inserção no contexto urbano; e (iv) coleta de representações gráficas do ambiente, tais como plantas, cortes, registros fotográficos e demais elementos necessários à compreensão do espaço em diferentes níveis de análise.

3.2.1 DADOS GERAIS DA CIDADE DE JUIZ DE FORA

A edificação analisada nesta pesquisa está localizada na cidade de Juiz de Fora, pertencente à região da Zona da Mata Mineira, no sudeste do estado de Minas Gerais (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2023), conforme ilustrado na Figura 3. Sua posição geográfica corresponde aproximadamente à latitude $-21,7642$ e longitude $-43,3496$ (Google, 2025), situando-se a cerca de 715 metros acima do nível do mar (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2023).

Figura 3 – Mapa de localização da cidade de Juiz de Fora – MG



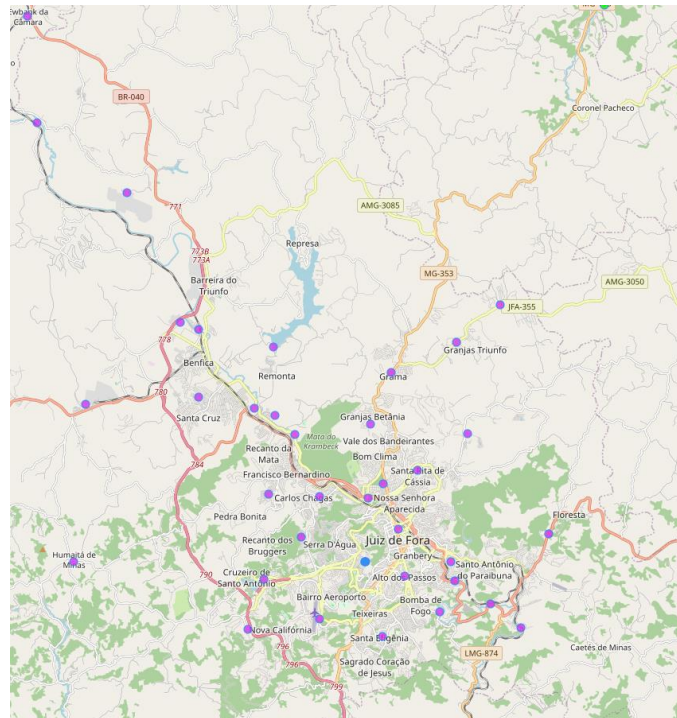
Fonte: IBGE (2022).

3.2.2 PARÂMETROS CLIMÁTICOS DA ÁREA DE ESTUDO

O clima de Juiz de Fora – MG é monitorado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) por meio de uma rede composta por uma estação meteorológica convencional localizada no campus da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) e 34 estações pluviométricas automáticas distribuídas pelo município

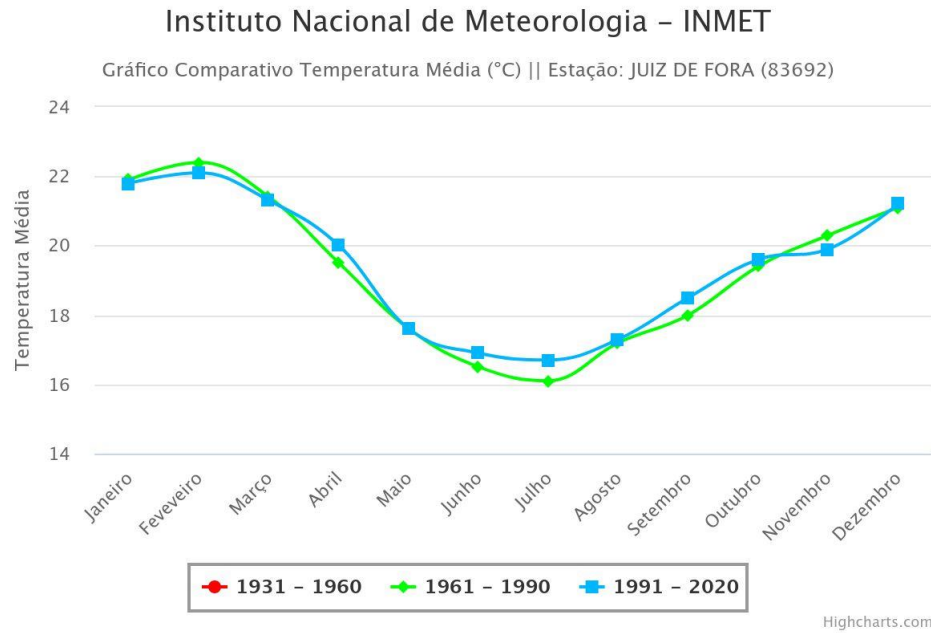
(INMET, 2020), conforme ilustrado na Figura 4. De acordo com esses registros, a cidade apresenta clima tropical de altitude, caracterizado por verões quentes e chuvosos e invernos amenos e relativamente secos. A temperatura média anual é de aproximadamente 19,4 °C, com médias mensais em torno de 21,7 °C nos meses de janeiro e fevereiro, e próximas a 17 °C durante junho e julho, conforme indicado no Gráfico 1 (INMET, 2020). A precipitação média anual concentra-se, sobretudo, entre janeiro e fevereiro e novamente entre outubro e novembro, como demonstrado no Gráfico 2 (INMET, 2024).

Figura 4 – Mapa de localização das estações meteorológicas de Juiz de Fora – MG



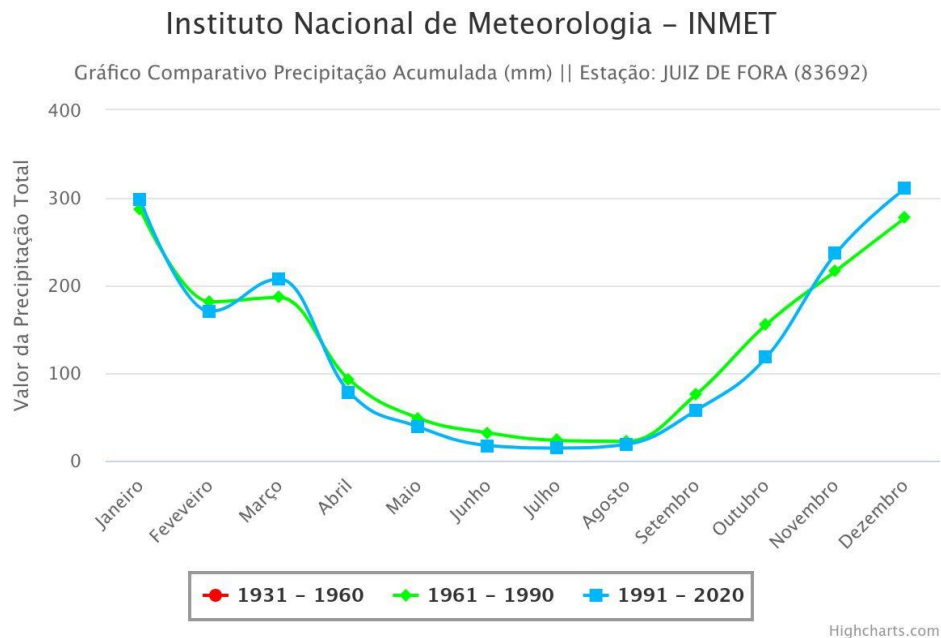
Fonte: INMET (2020).

Gráfico 1 – Temperatura média anual (°C) – Cidade de Juiz de Fora – MG



Fonte: INMET (2020).

Gráfico 2 – Gráfico comparativo de precipitação acumulada – Cidade de Juiz de Fora – MG

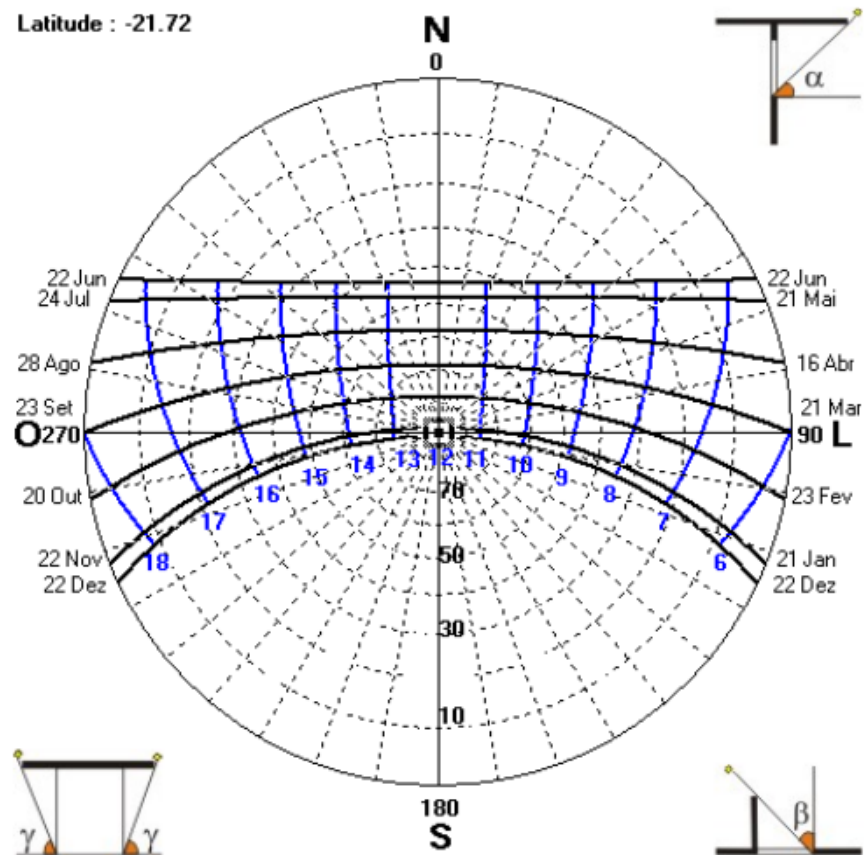


Fonte: INMET (2020).

De acordo com Pereira (2016), a carta solar apresentada na Figura 5 evidencia que a maior inclinação dos raios solares ocorre em 22 de dezembro,

alcançando uma variação aproximada de 47° no eixo norte-sul. Observa-se também que nos dias 21 de maio e 22 de junho não há variações significativas nesse parâmetro.

Figura 5 – Carta solar – Cidade de Juiz de Fora – MG



Fonte: Pereira (2016).

3.2.3 DADOS GERAIS DA EDIFICAÇÃO DO HOSPITAL A

O edifício analisado está implantado no bairro São Mateus, conforme ilustrado na Figura 7, em uma área caracterizada pela heterogeneidade de usos, composta por edificações destinadas ao comércio, aos serviços e às residências.

Os registros fotográficos da edificação analisada foram realizados no mês de outubro, conforme ilustrado na Figura 6.

Figura 6 – Vista da Fachada Principal da Edificação Analisada



Fonte: Autor (2025).

Figura 7 – Mapa de implantação da edificação



Fonte: Google maps (2025).

3.2.4 ELEMENTOS GRÁFICOS DE APOIO À ANÁLISE DO AMBIENTE

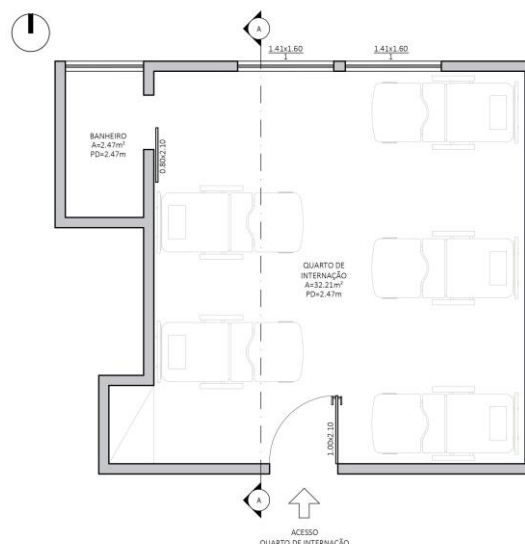
Conforme mencionado anteriormente, este estudo concentra-se na análise de um quarto de internação hospitalar, situado no segundo pavimento de uma edificação com três andares e área aproximada de 33,00m². O ambiente selecionado para a investigação dispõe de duas janelas destinada à entrada de luz natural e à ventilação, condições essenciais para o conforto e a salubridade do espaço. Os registros fotográficos foram realizados em outubro de 2025, às 8h, e encontram-se apresentados na Figura 8. Já as dimensões e demais especificações técnicas do ambiente estão representadas na Figura 9 e 10, por meio de planta baixa e corte esquemático respectivamente.

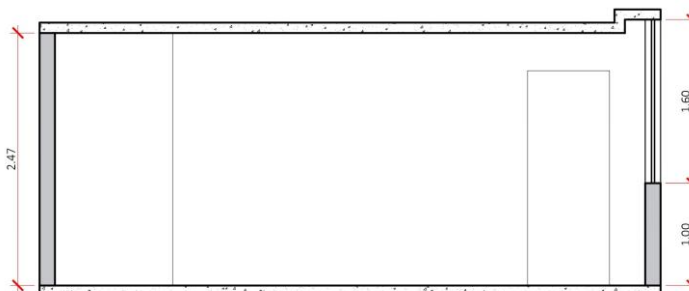
Figura 8 – Fotos do quarto de internação



Fonte: Autor (2025).

Figura 9 – Planta baixa do quarto de internação e corte esquemático




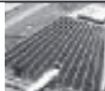

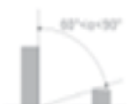


Fonte: Autor (2025).

3.2.5 TRATAMENTO E APLICAÇÃO DOS DADOS





Após o levantamento das informações referentes ao edifício hospitalar em análise e considerando as premissas do Diagrama Morfológico (Amorim, 2007), os dados foram sistematizados em três níveis hierárquicos — Nível, Parâmetros e Variáveis — conforme as categorias estabelecidas pelo método. O Quadro 1 apresenta a classificação correspondente ao Nível I – Espaço Urbano, contemplando aspectos como desenho urbano, refletância e especularidades das fachadas, além do ângulo máximo de incidência solar. As variáveis associadas a cada parâmetro descrevem o contexto imediato do entorno da edificação. No Quadro 2, encontram-se as informações referentes ao Nível II – Edifício, que incluem características como planta baixa, proporção e distribuição das aberturas, presença de proteções solares, aberturas zenitais e recursos de ventilação natural. Essa organização metodológica possibilita compreender de maneira integrada as qualidades morfológicas e funcionais da edificação em estudo. Por fim, o Quadro 3 apresenta a classificação de parâmetros e variáveis no Nível III – Ambiente Interno, reunindo dados específicos sobre as características do espaço, tais como tipologia de aberturas, dispositivos de proteção à insolação, estratégias de ventilação e sistemas de iluminação artificial.

Quadro 1 – Classificação de parâmetros e variáveis no Nível I – Espaço Urbano

NÍVEL	PARÂMETROS	VARIÁVEIS
I Espaço Urbano	A Desenho urbano	A1 Pequenos quarteirões irregulares 
	B Refletância das fachadas	B3 Baixa 
	C Especificidade das fachadas	C3 Baixa 
	D Ângulo máximo de incidência do sol na fachada do edifício	D3 ângulo de 60° a 90° 








Fonte: Autor (2025).

Quadro 2 – Classificação de parâmetros e variáveis no Nível II – Edifício

II Edifício	E Planta baixa e forma	E1 Edifício com planta profunda 
	F Taxa de aberturas para o exterior	F2 Entre 25% e 50% 
	G Distribuição das aberturas	G1 Fachadas uniformes 
	H Proteções solares nas fachadas	H7 Outros
	I Aberturas zenitais	I6 Não há
	J Mecanismos de ventilação natural	J4 Abertura única 

Fonte: Autor (2025).

Quadro 3 – Classificação de parâmetros e variáveis no Nível III – Ambiente Interno

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 Cortina, película ou vidro especial	
	Q Controle de ventilação natural	Q2 Janela máximo ar ou basculante	
	R Controle e integração de iluminação artificial	R1 ON/OFF	

Fonte: Autor (2025).

O edifício encontra-se implantado de modo a posicionar os quartos de internação em todas as orientações cardeais — norte, sul, leste e oeste. Idealmente, para assegurar maior controle da insolação incidente, cada fachada deveria receber um tratamento específico, adequado às condições solares de sua orientação. Entretanto, conforme apontado na análise realizada com base no Diagrama Morfológico, verificou-se que as fachadas apresentam distribuição uniforme de aberturas, adotando um mesmo padrão construtivo para todas as direções. Essa homogeneidade projetual pode acarretar situações de desconforto térmico ou luminoso em determinados ambientes, a depender de sua exposição solar, sobretudo em função do elevado grau de incidência observado, que varia entre 60° e 90°.

Embora as janelas dos quartos de internação contem com películas que auxiliam no controle da insolação, o ambiente analisado apresenta aberturas orientadas para o norte, conforme indicado na figura 9. Essa configuração resulta em maior exposição à radiação solar durante o solstício de verão, sendo as películas a

única estratégia de proteção utilizada. De acordo com os parâmetros do Diagrama Morfológico (Amorim, 2007), o espaço dispõe de um coletor de luz formado por janelas horizontais do tipo máximo-ar ou basculante, com vãos de 15% a 30%. A análise visual do local demonstra que essa solução assegura níveis considerados adequados de iluminação natural no interior do ambiente.

Devido à configuração espacial dos quartos de internação, não há a ocorrência de ventilação cruzada, o que pode ocasionar desconforto térmico em períodos de maior aquecimento. No que se refere ao controle da iluminação artificial, observa-se a ausência de dispositivos que permitam a regulação da intensidade luminosa, sendo empregados apenas interruptores manuais do tipo *on/off*, conforme variável indicada no Diagrama Morfológico (Amorim, 2007). Ainda assim, o ambiente selecionado para análise — quarto de internação — apresenta apenas duas fontes luminosas.

3.2.6 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos por meio do Diagrama Morfológico (Amorim, 2007) permitem compreender como a configuração arquitetônica interfere diretamente no ciclo circadiano dos usuários. O tratamento homogêneo das fachadas, por exemplo, dificulta o controle diferenciado da entrada de luz natural ao longo do dia, limitando a exposição matinal mais gradual e intensificando a radiação solar no período da tarde. Tal situação foi observada no quarto de internação analisado, com orientação voltada para o norte, onde as aberturas correspondem entre 15% a 30% da superfície da parede. Essa proporção acentua a captação de luz, sobretudo durante o solstício de verão, quando a trajetória solar privilegia essa orientação, prolongando a luminosidade pré-noturna e retardando a produção de melatonina, fundamental para a indução do sono. No que se refere à iluminação artificial, a utilização exclusiva de interruptores manuais do tipo *on/off*, sem dispositivos de regulação de intensidade, inviabiliza a compensação das variações de luz natural, impedindo uma transição adequada para níveis reduzidos de iluminância no período noturno. Essa limitação mantém os usuários expostos a estímulos luminosos intensos e de tonalidade fria, com potencial de desregular o ritmo circadiano.

Com o objetivo de verificar se a iluminação artificial do ambiente atende de forma adequada às atividades nele desenvolvidas e compreender seus possíveis

efeitos sobre o ciclo circadiano dos usuários, será realizada uma análise fundamentada na metodologia da Planilha de Lucas (Lucas, 2013).

3.3 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DA PLANILHA DE LUCAS NA ANÁLISE DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

Conforme apresentado anteriormente, a Planilha de Lucas (Lucas, 2013) fundamenta-se em duas metodologias principais: o cálculo da EML, que quantifica o impacto das fontes de luz sobre os fotorreceptores não visuais, e a razão M/P (*Melanopic/Photopic Ratio*), que estabelece uma relação entre a iluminância melanópica (M) e a iluminância fotópica convencional (P), responsável pela percepção visual da luz. A aplicação da metodologia de cálculo da EML no quarto de internação — objeto deste estudo — tem como propósito avaliar a iluminação artificial adotada, mensurando o estímulo biológico e a intensidade circadiana proporcionada pela luz. Já a metodologia da razão M/P busca examinar a composição espectral da fonte luminosa, indicando sua predominância em tonalidades azuladas ou avermelhadas.

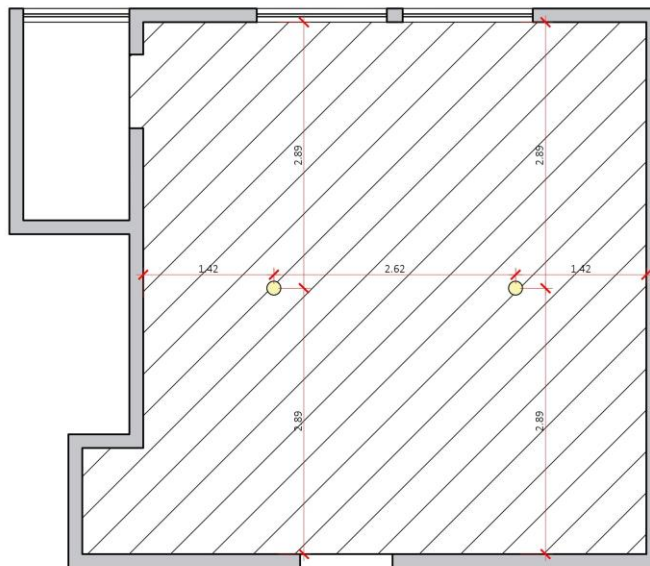
Para o desenvolvimento deste estudo, realizou-se um levantamento detalhado do ambiente analisado, com o objetivo de caracterizar o sistema de iluminação artificial e identificar suas implicações sobre o desempenho circadiano e visual do espaço. Foram coletadas informações sobre os tipos de lâmpadas instaladas, suas potências, temperaturas de cor e fluxos luminosos, por meio de registros fotográficos e observação direta *in loco*. Esses dados foram complementados com especificações técnicas obtidas nos sites oficiais dos respectivos fabricantes, de modo a assegurar precisão nas informações sobre distribuição espectral de potência, eficiência luminosa e composição cromática. Essa etapa foi fundamental para subsidiar as análises quantitativas realizadas posteriormente com base na metodologia da Planilha de Lucas (Lucas, 2013), permitindo correlacionar as características técnicas das fontes de luz com os efeitos biológicos e perceptivos observados no ambiente.

3.3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

O ambiente em análise corresponde a um quarto de internação localizado no segundo pavimento de um edifício hospitalar. Trata-se de um espaço projetado para acolher pacientes durante o período de recuperação.

O ambiente analisado apresenta forro rebaixado em gesso, no qual estão instalados dois pontos de iluminação geral, compostos por luminárias do tipo plafon embutido, estrategicamente posicionadas conforme ilustrado na Figura 10.

Figura 10 – Planta de teto refletido



Fonte: Autor (2025).

As características técnicas da fonte luminosa utilizada neste estudo, conforme especificações disponibilizadas pelo fabricante Avant (2025), são apresentadas a seguir:

- Marca: Avant
- Modelo: Painel redondo de embutir
- Potência: 18w
- Fluxo Luminoso: 1260 lm
- Temperatura de cor: 6500k
- Materiais: Alumínio e policarbonato
- Dimensões: 220mm (largura) x 210mm (comprimento) x 18mm (altura)

3.3.2 APLICAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

A análise da iluminação artificial do ambiente iniciou-se com a identificação dos fabricantes responsáveis pelas lâmpadas e luminárias instaladas no local. Em seguida, procedeu-se à consulta no site oficial do fabricante, a fim de obter os dados técnicos necessários ao preenchimento da Planilha de Lucas (Lucas, 2013). O propósito inicial consistia em inserir na planilha as informações referentes à distribuição espectral de potência (SPD) das lâmpadas utilizadas, conforme exemplificado neste estudo. Contudo, verificou-se que no site do fabricante não disponibilizava tais dados em seus portais. Diante dessa limitação, optou-se pela aplicação do *Approximate Mode* (modo aproximado), indicado no item *Select Mode* da planilha, recomendando-se seu uso em situações nas quais as informações espectrais detalhadas dos equipamentos não se encontram disponíveis.

3.3.3 RESULTADOS OBTIDOS

O preenchimento dos dados teve início no item *Details of Light Measurement* (Item 2) da *Planilha de Lucas* (Lucas, 2013), onde foram inseridas as informações correspondentes à fonte luminosa utilizada no ambiente. Selecionou-se a opção “D”, referente ao iluminante padrão D65, que representa a luz natural ao meio-dia, com temperatura de cor aproximada de 6.500K. Essa escolha se fundamenta na similaridade entre o espectro desse iluminante e a temperatura de cor da luminária analisada. A unidade adotada para a iluminância (*Units*) foi o lux, indicada na planilha pela letra “L”. Por fim, o campo *Amount* foi preenchido com os valores de iluminância (em lux) informados pelos fabricantes em seus respectivos catálogos técnicos, conforme exemplificado na Figura 11.

Figura 11 – Inserção dos dados técnicos da fonte de luz para análise

Irradiance Toolbox

Title

1) **Select 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	<input type="text" value="D"/>	daylight
Units	<input type="text" value="L"/>	illuminance
Amount	<input type="text" value="1.260,00"/>	lux

3) **For blackbody or narrowband sources**

Blackbody temperature	<input type="text" value="4200"/>	n/a
Narrowband peak	<input type="text" value="420"/>	n/a
Narrowband FWHM	<input type="text" value="42"/>	n/a

Peak spectral irradiance nm

4) **Photopic illuminance**

Optional prefix	Sensitivity	λ_{max}	Subscript	Curve	lux
Photopic	Visibility	555,0	n/a	V(λ)	<input type="text" value="1.260,00"/>

5) **Human retinal photopigment complement (all weighted)**

Prefix	Sensitivity	λ_{max}	α in $N_{\alpha}(\lambda)$	Curve	α -opic lux
Cyanopic	S cone	419,0	sc	$N_{sc}(\lambda)$	<input type="text" value="1.339,48"/>
Melanopic	Melanopsin	480,0	z	$N_z(\lambda)$	<input type="text" value="1.391,12"/>
Rhodopic	Rod	496,3	r	$N_r(\lambda)$	<input type="text" value="1.368,41"/>
Chloropic	M cone	530,8	mc	$N_{mc}(\lambda)$	<input type="text" value="1.311,10"/>
Erythroptic	L cone	558,4	lc	$N_{lc}(\lambda)$	<input type="text" value="1.252,60"/>

6) **Unweighted summations from 380 to 780 nm inclusive**

Quantity	Units	Amount
Irradiance	$\mu\text{W}/\text{cm}^2$	<input type="text" value="619,11"/>
Photon flux	$1/\text{cm}^2/\text{s}$	<input type="text" value="1,76E+15"/>
Log photon flux	$\log_{10} (1/\text{cm}^2/\text{s})$	<input type="text" value="15,25"/>

Fonte: Autor (2025).

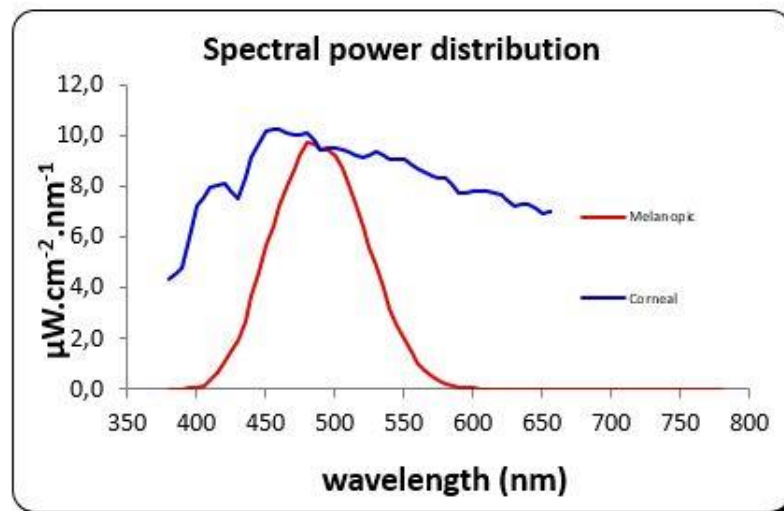
Os resultados apresentados nos gráficos a seguir expressam os diferentes aspectos da análise espectral da luz e sua relação com as respostas dos fotorreceptores humanos. O Gráfico 3, intitulado Curva de Distribuição Espectral da Fonte de Luz com temperatura de cor de 6.500k, ilustra duas curvas distintas: a primeira, em azul (*corneal*), representa a estimulação das células fotorreceptoras visuais; a segunda, em vermelho (*melanopic*), refere-se à resposta dos receptores melanopsínicos, associados ao sistema não visual.

Observa-se que as respostas visuais atingem seu pico de estimulação em torno de $10,0 \text{ W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}^{-1}$. A curva azul demonstra maior sensibilidade entre 450 nm e 500 nm, região correspondente ao espectro da luz azul, faixa de maior resposta da melanopsina. Esse comportamento espectral confirma que comprimentos de onda

menores — mais próximos das cores violeta e azul — estão diretamente relacionados ao estímulo circadiano.

Adicionalmente, a curva vermelha indica que a maior concentração de energia luminosa ocorre entre 450 nm e 550 nm, abrangendo principalmente as faixas da luz azul e verde. Tal característica permite classificar a iluminação do ambiente como luz fria, condição que tende a exercer influência mais expressiva sobre o sistema não visual, impactando a regulação do ritmo circadiano dos usuários.

Gráfico 3 – Curva de Distribuição Espectral da Fonte de Luz com temperatura de cor de 6.500K



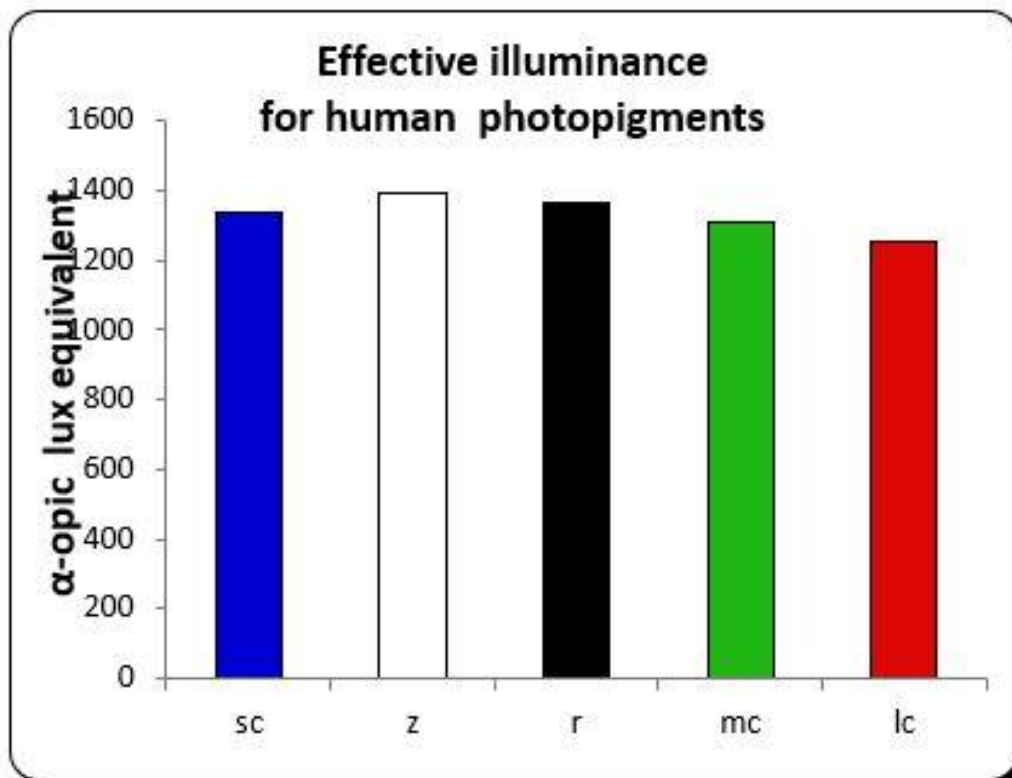
Fonte: Autor (2025).

O Gráfico 4, intitulado Iluminância efetiva para fotorreceptores humanos da fonte de luz com temperatura de cor de 6.500K, permite comparar a resposta de diferentes fotorreceptores frente a uma mesma fonte luminosa, evidenciando seu impacto tanto nas funções visuais quanto não visuais. Cada barra do gráfico representa a quantidade de luz efetiva capaz de excitar determinado fotorreceptor, isto é, o grau de estímulo luminoso recebido por cada tipo celular.

A partir da inserção dos dados referentes à fonte de luz, observou-se que a iluminação analisada produz níveis de ativação semelhantes entre todos os fotorreceptores avaliados, apresentando apenas pequenas variações entre eles. Esse resultado indica que tanto os receptores visuais (cones e bastonetes) quanto os receptores não visuais (células intrinsecamente fotorreceptivas à melanopsina) são

estimulados de forma equivalente pela radiação emitida, o que reforça o caráter uniforme e circadiano-neutro da fonte luminosa avaliada.

Gráfico 4 – Iluminância efetiva para fotorreceptores humanos da fonte de luz com temperatura de cor de 6.500K



Fonte: Autor (2025).

No gráfico, a barra azul representa os cones S (sc), responsáveis pela detecção de comprimentos de onda curtos e, quando combinados aos sinais provenientes dos cones M e L, possibilitam a percepção cromática em ampla faixa espectral. Esses fotorreceptores também desempenham papel relevante na modulação circadiana. Observa-se que a iluminância efetiva associada a esse tipo de cone alcança aproximadamente 1400 lux no eixo α -opic lux, indicando uma intensa presença de radiação azul emitida pela fonte luminosa analisada. Tal resultado é coerente com a sensibilidade espectral dos cones S, cuja resposta máxima ocorre entre 420 nm e 440 nm, faixa correspondente à região do espectro azul-violeta.

Os cones M (mc) e cones L (lc), assim como os cones S, são responsáveis pela visão fotópica, predominante em condições de alta luminosidade, e pela

discriminação cromática. Os cones M apresentam sensibilidade máxima a comprimentos de onda médios, situados entre aproximadamente 530 nm e 550 nm, correspondendo à percepção da cor verde. Já os cones L são mais sensíveis a comprimentos de onda longos, entre 560 nm e 580 nm, associados à percepção do vermelho.

A elevação das barras verde e vermelha no eixo de iluminância efetiva (α -opic lux) indica que a fonte de luz emite quantidades expressivas de radiação nos espectros verde e vermelho, o que sugere uma ampla cobertura espectral. Essa característica evidencia uma boa capacidade de reprodução de cores, aspecto essencial tanto para tarefas visuais de precisão quanto para a percepção natural e confortável do ambiente construído.

No Gráfico 4, a barra branca (z) representa a melanopsina, fotopigmento presente nas células ganglionares intrinsecamente fotossensíveis (ipRGCs), cuja sensibilidade máxima ocorre na faixa do espectro azul, em torno de 480 nm. O valor aproximado de 1400 lux no eixo de iluminância efetiva (α -opic lux) evidencia uma estimulação intensa da melanopsina pela fonte luminosa analisada. Esse comportamento indica que o espectro da lâmpada apresenta elevado componente azul, o que potencializa a ativação das ipRGCs. Entretanto, quando tal estimulação ocorre em horários inadequados — especialmente durante o período noturno —, pode provocar desalinhamentos no ritmo circadiano, afetando a regulação do ciclo sono-vigília e outros processos fisiológicos associados à produção hormonal.

Adicionalmente, a barra preta, correspondente aos bastonetes (r), também apresenta valores elevados, demonstrando que a lâmpada de 6.500K emite radiação com comprimentos de onda suficientes para estimular fortemente essas células fotorreceptoras. Essa resposta reflete um espectro rico em componentes azul-esverdeados, o que indica que a fonte luminosa é capaz de ativar mecanismos visuais vinculados à percepção periférica e ao contraste, ainda que os bastonetes não constituam os principais mediadores da visão em ambientes fotópicos.

3.3.4 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

A distribuição relativamente uniforme entre os fotopigmentos indica que a fonte luminosa analisada corresponde a uma luz branca artificial de espectro amplo, possivelmente caracterizada por elevado conteúdo espectral na faixa do azul e alta

temperatura de cor correlata. Sob a ótica cronobiológica, esse tipo de iluminação apresenta potencial significativo de interferência nos ritmos circadianos, uma vez que estimula intensamente os fotorreceptores não visuais da retina, em especial as células ganglionares intrinsecamente fotossensíveis (ipRGCs), responsáveis pela detecção da luz azul por meio do fopigmento melanopsina. Para Souza (2021), A ativação dessas células promove a inibição da secreção de melatonina pela glândula pineal, hormônio fundamental para a indução do sono e sincronização dos ciclos biológicos. Assim, embora a exposição a esse tipo de luz possa ser benéfica durante o período diurno, por estimular o estado de alerta e o desempenho cognitivo, sua incidência noturna, especialmente em ambientes de internação, pode dificultar o início do sono, reduzir a qualidade do repouso e desestabilizar o ritmo circadiano dos usuários.

3.4 DADOS GERAIS DA EDIFICAÇÃO DO HOSPITAL B

O edifício analisado está implantado no bairro Gramma, conforme ilustrado na Figura 13, em uma área caracterizada pela heterogeneidade de usos, composta por edificações destinadas ao comércio, aos serviços e às residências.

Os registros fotográficos da edificação analisada foram realizados no mês de novembro, conforme ilustrado na Figura 12.

Figura 12 – Vista da Fachada da Edificação Analisada



Fonte: Autor (2025).

Figura 13 – Mapa de implantação da edificação



Fonte: Google maps (2025).

Este estudo concentra-se na análise de um quarto de internação hospitalar, situado no segundo pavimento de uma edificação com dois andares.

3.4.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

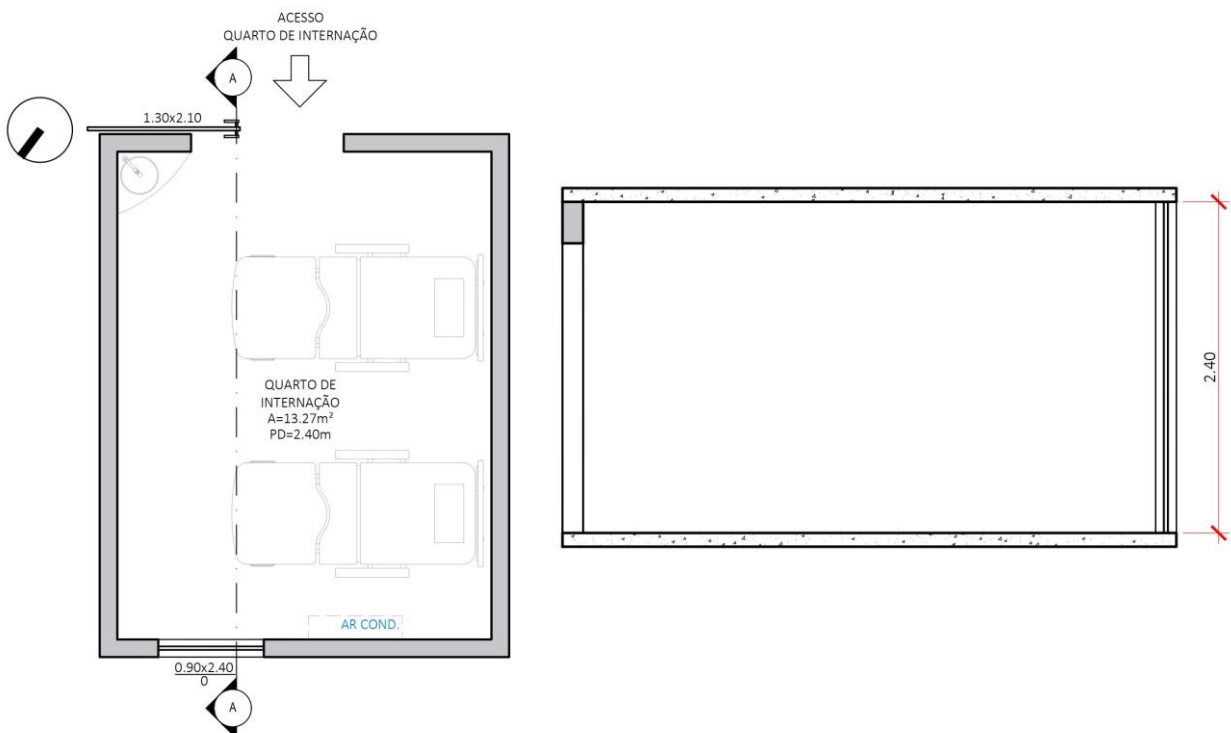
O quarto de internação está situado no segundo pavimento de uma edificação de dois andares com área aproximada de 14m². O ambiente selecionado para a investigação dispõe de uma janela destinada somente à entrada de luz natural e conta com ventilação mecânica por ar condicionado, condições essenciais para o conforto e a salubridade do espaço. Os registros fotográficos foram realizados em novembro de 2025, às 10h, e encontram-se apresentados na Figura 14. Já as dimensões e demais especificações técnicas do ambiente estão representadas na Figura 15 e 16, por meio de planta baixa e corte esquemático respectivamente.

Figura 14 – Fotos do quarto de internação



Fonte: Autor (2025).

Figura 15 – Planta baixa do quarto de internação e corte esquemático






Fonte: Autor (2025).

3.4.2 TRATAMENTO E APLICAÇÃO DOS DADOS




Após o levantamento das informações referentes ao edifício hospitalar em análise e considerando as premissas do Diagrama Morfológico (Amorim, 2007), os dados foram sistematizados em três níveis hierárquicos —Nível I, II e III conforme citado anteriormente.

Quadro 4 – Classificação de parâmetros e variáveis no Nível I – Espaço Urbano

NÍVEL	PARÂMETROS	VARIÁVEIS
I Espaço Urbano	A Desenho urbano	A1 Pequenos quarteirões irregulares 
	B Refletância das fachadas	B3 Baixa 
	C Especularidade das fachadas	C3 Baixa 
	D Ângulo máximo de incidência do sol na fachada do edifício	D5 Outros








Fonte: Autor (2025).

Quadro 5 – Classificação de parâmetros e variáveis no Nível II – Edifício

II Edifício	E Planta baixa e forma	E1 Edifício com planta profunda 
	F Taxa de aberturas para o exterior	F2 Entre 25% e 50% 
	G Distribuição das aberturas	G1 Fachadas uniformes 
	H Proteções solares nas fachadas	H7 Outros
	I Aberturas zenitais	I6 Não há
	J Mecanismos de ventilação natural	J6 Outros

Fonte: Autor (2025).

Quadro 6 – Classificação de parâmetros e variáveis no Nível III – Ambiente Interno

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	O3 Janela vertical	
	P Controle de entrada de luz	P6 Cortina, película ou vidro especial	
	Q Controle de ventilação natural	Q7 Outros	
	R Controle e integração de iluminação artificial	R1 ON/OFF	

Fonte: Autor (2025).

O edifício encontra-se implantado de modo a posicionar os quartos de internação em todas as orientações cardeais — norte, sul, leste e oeste. Idealmente, para assegurar maior controle da insolação incidente, cada fachada deveria receber um tratamento específico, adequado às condições solares de sua orientação. Entretanto, conforme apontado na análise realizada com base no Diagrama Morfológico, verificou-se que as fachadas apresentam distribuição uniforme de aberturas, adotando um mesmo padrão construtivo para todas as direções. Essa homogeneidade projetual pode acarretar situações de desconforto térmico ou luminoso em determinados ambientes, a depender de sua exposição solar, sobretudo em função do elevado grau de incidência observado.

Embora a janela do quarto de internação conte com películas que auxiliam no controle da insolação, o ambiente analisado apresenta abertura orientada para o sudoeste, conforme indicado na figura 15. Essa configuração resulta em maior exposição à radiação solar durante o solstício de verão, sendo as películas a única estratégia de proteção utilizada. De acordo com os parâmetros do Diagrama

Morfológico (Amorim, 2007), o espaço dispõe de um coletor de luz formado por janelas verticais do tipo fixa, com vãos de 25% a 50%. A análise visual do local demonstra que essa solução assegura níveis considerados adequados de iluminação natural no interior do ambiente.

Devido à configuração espacial do quarto de internação, não há a ocorrência de ventilação cruzada, o que pode ocasionar desconforto térmico em períodos de maior aquecimento, porém o quarto conta com sistema de ventilação mecânica de ar-condicionado, o que mantém a qualidade do ar no ambiente. No que se refere ao controle da iluminação artificial, observa-se a ausência de dispositivos que permitam a regulação da intensidade luminosa, sendo empregados apenas interruptores manuais do tipo *on/off*, conforme variável indicada no Diagrama Morfológico (Amorim, 2007). Ainda assim, o ambiente selecionado para análise — quarto de internação — apresenta apenas uma fonte luminosa.

3.4.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos por meio do Diagrama Morfológico (Amorim, 2007) permitem compreender como a configuração arquitetônica interfere diretamente no ciclo circadiano dos usuários. O tratamento homogêneo das fachadas, por exemplo, dificulta o controle diferenciado da entrada de luz natural ao longo do dia, limitando a exposição matinal mais gradual e intensificando a radiação solar no período da tarde. Tal situação foi observada no quarto de internação analisado, com orientação voltada para o sudoeste, onde as aberturas correspondem entre 25% a 50% da superfície da parede. Essa proporção acentua a captação de luz, sobretudo durante o solstício de verão, quando a trajetória solar privilegia essa orientação, prolongando a luminosidade pré-noturna e retardando a produção de melatonina, fundamental para a indução do sono. No que se refere à iluminação artificial, a utilização exclusiva de interruptores manuais do tipo *on/off*, sem dispositivos de regulação de intensidade, inviabiliza a compensação das variações de luz natural, impedindo uma transição adequada para níveis reduzidos de iluminância no período noturno. Essa limitação mantém os usuários expostos a estímulos luminosos intensos e de tonalidade fria, com potencial de desregular o ritmo circadiano.

Com o objetivo de verificar se a iluminação artificial do ambiente atende de forma adequada às atividades nele desenvolvidas e compreender seus possíveis

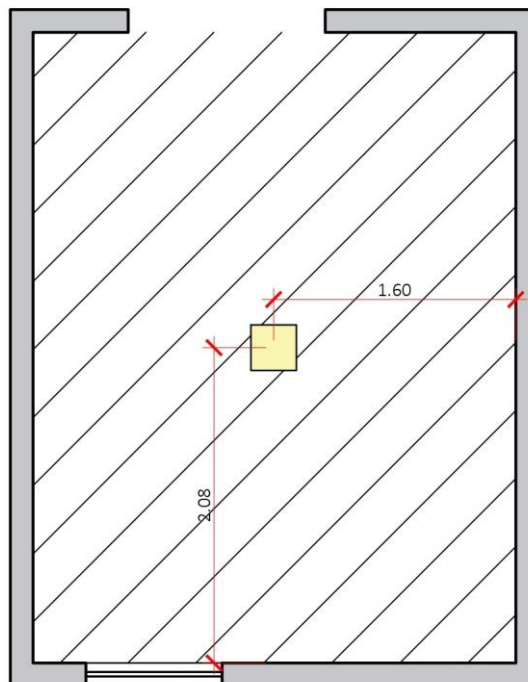
efeitos sobre o ciclo circadiano dos usuários, será realizada uma análise fundamentada na metodologia da Planilha de Lucas (Lucas, 2013).

3.6 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DA PLANILHA DE LUCAS NA ANÁLISE DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

O ambiente em análise corresponde a um quarto de internação localizado no segundo pavimento de um edifício hospitalar. Trata-se de um espaço projetado para acolher pacientes durante o período de recuperação.

O ambiente analisado apresenta forro rebaixado em gesso, no qual estão instalados dois pontos de iluminação geral, compostos por luminárias do tipo plafon embutido, estrategicamente posicionadas conforme ilustrado na Figura 10.

Figura 16 – Planta de teto refletido



Fonte: Autor (2025).

As características técnicas da fonte luminosa utilizada neste estudo, conforme especificações disponibilizadas pelo fabricante Avant (2025), são apresentadas a seguir:

- Marca: Avant

- Modelo: Painel quadrado de embutir
- Potência: 18w
- Fluxo Luminoso: 2400 lm
- Temperatura de cor: 6500k
- Materiais: Alumínio e policarbonato
- Dimensões: 400mm (largura) x 400mm (comprimento) x 30mm (altura)

3.6.1 APLICAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

A análise da iluminação artificial do ambiente iniciou-se com a identificação dos fabricantes responsáveis pelas lâmpadas e luminárias instaladas no local. Em seguida, procedeu-se à consulta no site oficial do fabricante, a fim de obter os dados técnicos necessários ao preenchimento da Planilha de Lucas (Lucas, 2013). O propósito inicial consistia em inserir na planilha as informações referentes ao SPD das lâmpadas utilizadas, conforme exemplificado neste estudo. Contudo, verificou-se que no site do fabricante não disponibilizava tais dados em seus portais. Diante dessa limitação, optou-se pela aplicação do *Approximate Mode* (modo aproximado), indicado no item *Select Mode* da planilha, recomendando-se seu uso em situações nas quais as informações espectrais detalhadas dos equipamentos não se encontram disponíveis.

3.6.2 RESULTADOS OBTIDOS

O preenchimento dos dados teve início no item *Details of Light Measurement* (Item 2) da *Planilha de Lucas* (Lucas, 2013), onde foram inseridas as informações correspondentes à fonte luminosa utilizada no ambiente. Selecionou-se a opção “D”, referente ao iluminante padrão D65, que representa a luz natural ao meio-dia, com temperatura de cor aproximada de 6.500K. Essa escolha se fundamenta na similaridade entre o espectro desse iluminante e a temperatura de cor da luminária analisada. A unidade adotada para a iluminância (*Units*) foi o lux, indicada na planilha pela letra “L”. Por fim, o campo *Amount* foi preenchido com os valores de iluminância (em lux) informados pelos fabricantes em seus respectivos catálogos técnicos, conforme exemplificado na Figura 17.

Figura 17 – Inserção dos dados técnicos da fonte de luz para análise

Irradiance Toolbox

Title

1) **Select 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	D	daylight
Units	L	illuminance
Amount	2.400,00	lux

3) **For blackbody or narrowband sources**

Blackbody temperature	4200	n/a
Narrowband peak	420	n/a
Narrowband FWHM	42	n/a

Peak spectral irradiance nm

4) **Photopic illuminance**

Optional prefix	Sensitivity	λ_{max}	Subscript	Curve	lux
Photopic	Visibility	555,0	n/a	V(λ)	2.400,00

5) **Human retinal photopigment complement (all weighted)**

Prefix	Sensitivity	λ_{max}	α in $N_{\alpha}(\lambda)$	Curve	α -opic lux
Cyanopic	S cone	419,0	sc	$N_{sc}(\lambda)$	2.551,40
Melanopic	Melanopsin	480,0	z	$N_z(\lambda)$	2.649,76
Rhodopic	Rod	496,3	r	$N_r(\lambda)$	2.606,50
Chloropic	M cone	530,8	mc	$N_{mc}(\lambda)$	2.497,33
Erythropic	L cone	558,4	lc	$N_{lc}(\lambda)$	2.385,91

6) **Unweighted summations from 380 to 780 nm inclusive**

Quantity	Units	Amount
Irradiance	$\mu\text{W}/\text{cm}^2$	1.179,26
Photon flux	$1/\text{cm}^2/\text{s}$	3,36E+15
Log photon flux	$\log_{10}(1/\text{cm}^2/\text{s})$	15,53

Fonte: Autor (2025).

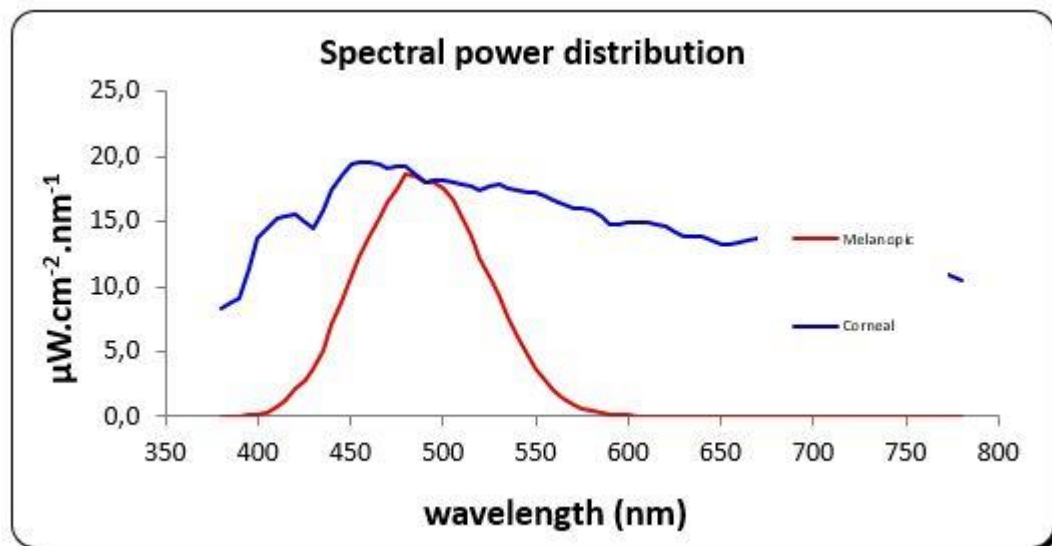
Os resultados apresentados nos gráficos a seguir expressam os diferentes aspectos da análise espectral da luz e sua relação com as respostas dos fotorreceptores humanos. O Gráfico 5, intitulado Curva de Distribuição Espectral da Fonte de Luz com temperatura de cor de 6.500k, ilustra duas curvas distintas: a primeira, em azul (*corneal*), representa a estimulação das células fotorreceptoras visuais; a segunda, em vermelho (*melanopic*), refere-se à resposta dos receptores melanopsínicos, associados ao sistema não visual.

Observa-se que as respostas visuais atingem seu pico de estimulação em torno de $20,0 \text{ W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}^{-1}$. A curva azul demonstra maior sensibilidade entre 450 nm e 500 nm, região correspondente ao espectro da luz azul, faixa de maior resposta da melanopsina. Esse comportamento espectral confirma que comprimentos de onda

menores — mais próximos das cores violeta e azul — estão diretamente relacionados ao estímulo circadiano.

Adicionalmente, a curva vermelha indica que a maior concentração de energia luminosa ocorre entre 450 nm e 550 nm, abrangendo principalmente as faixas da luz azul e verde. Tal característica permite classificar a iluminação do ambiente como luz fria, condição que tende a exercer influência mais expressiva sobre o sistema não visual, impactando a regulação do ritmo circadiano dos usuários.

Gráfico 5 – Curva de Distribuição Espectral da Fonte de Luz com temperatura de cor de 6.500K



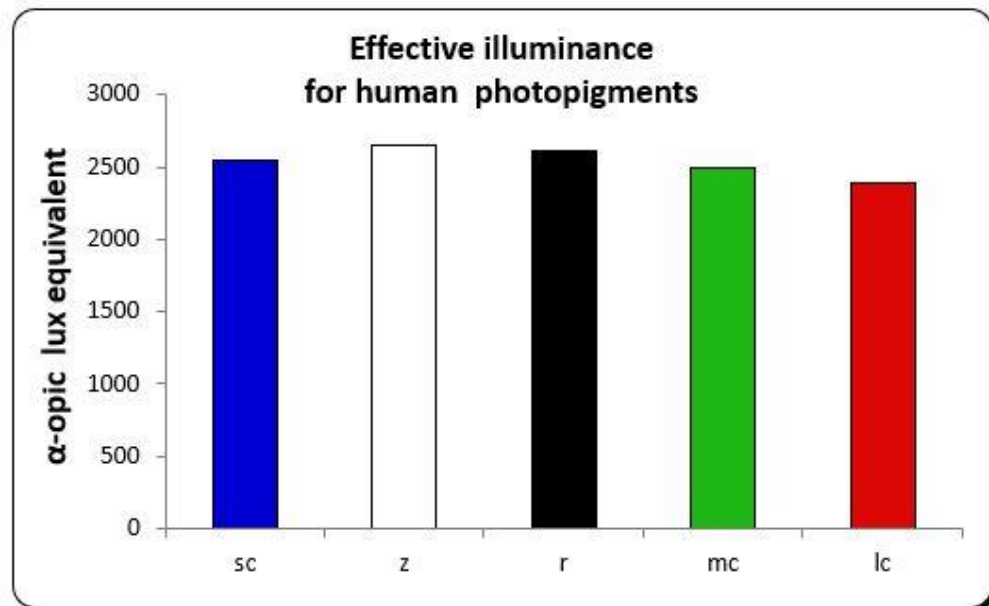
Fonte: Autor (2025).

O Gráfico 6, intitulado Iluminância efetiva para fotorreceptores humanos da fonte de luz com temperatura de cor de 6.500K, permite comparar a resposta de diferentes fotorreceptores frente a uma mesma fonte luminosa, evidenciando seu impacto tanto nas funções visuais quanto não visuais. Cada barra do gráfico representa a quantidade de luz efetiva capaz de excitar determinado fotorreceptor, isto é, o grau de estímulo luminoso recebido por cada tipo celular.

A partir da inserção dos dados referentes à fonte de luz, observou-se que a iluminação analisada produz níveis de ativação semelhantes entre todos os fotorreceptores avaliados, apresentando apenas pequenas variações entre eles. Esse resultado indica que tanto os receptores visuais (cones e bastonetes) quanto os receptores não visuais (células intrinsecamente fotorreceptivas à melanopsina) são

estimulados de forma equivalente pela radiação emitida, o que reforça o caráter uniforme e circadiano-neutro da fonte luminosa avaliada.

Gráfico 6 – Iluminância efetiva para fotopigmentos humanos da fonte de luz com temperatura de cor de 6.500K



Fonte: Autor (2025).

Observa-se que a iluminância efetiva associada a esse tipo de cone alcança aproximadamente 2500 lux no eixo α -opic lux, indicando uma intensa presença de radiação azul emitida pela fonte luminosa analisada. Tal resultado é coerente com a sensibilidade espectral dos cones S, cuja resposta máxima ocorre entre 420 nm e 440 nm, faixa correspondente à região do espectro azul-violeta.

A elevação das barras verde e vermelha no eixo de iluminância efetiva (α -opic lux) indica que a fonte de luz emite quantidades expressivas de radiação nos espectros verde e vermelho, o que sugere uma ampla cobertura espectral. Essa característica evidencia uma boa capacidade de reprodução de cores, aspecto essencial tanto para tarefas visuais de precisão quanto para a percepção natural e confortável do ambiente construído.

No Gráfico 6, a barra branca (z) com valor aproximado de 2500 lux no eixo de iluminância efetiva (α -opic lux) evidencia uma estimulação intensa da melanopsina pela fonte luminosa analisada. Esse comportamento indica que o espectro da

lâmpada apresenta elevado componente azul, o que potencializa a ativação das ipRGCs. Entretanto, quando tal estimulação ocorre em horários inadequados — especialmente durante o período noturno —, pode provocar desalinhamentos no ritmo circadiano, afetando a regulação do ciclo sono-vigília e outros processos fisiológicos associados à produção hormonal.

Adicionalmente, a barra preta, correspondente aos bastonetes (r), também apresenta valores elevados, demonstrando que a lâmpada de 6.500K emite radiação com comprimentos de onda suficientes para estimular fortemente essas células fotorreceptoras. Essa resposta reflete um espectro rico em componentes azul-esverdeados, o que indica que a fonte luminosa é capaz de ativar mecanismos visuais vinculados à percepção periférica e ao contraste, ainda que os bastonetes não constituam os principais mediadores da visão em ambientes fotópicos.

3.6.3 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

A distribuição relativamente uniforme entre os fotopigmentos indica que a fonte luminosa analisada corresponde a uma luz branca artificial de espectro amplo, possivelmente caracterizada por elevado conteúdo espectral na faixa do azul e alta temperatura de cor correlata. Sob a ótica cronobiológica, esse tipo de iluminação também apresenta potencial significativo de interferência nos ritmos circadianos, uma vez que estimula intensamente os fotorreceptores não visuais da retina, em especial as células ganglionares intrinsecamente fotossensíveis (ipRGCs), responsáveis pela detecção da luz azul por meio do fotopigmento melanopsina, o que pode comprometer a indução do sono e sincronização dos ritmos circadianos dos pacientes.

3.7 LIMITAÇÕES METODOLÓGICAS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Durante o desenvolvimento da pesquisa, identificou-se uma limitação associada ao método empregado para a análise da iluminação artificial, especificamente à utilização da Planilha de Lucas (Lucas, 2013). Para que a avaliação das luminárias do ambiente em estudo fosse conduzida com maior precisão, seria necessário dispor de dados de distribuição espectral detalhados, os

quais indicam a quantidade de energia irradiada em cada faixa de comprimento de onda e permitem mensurar com exatidão a irradiância incidente nos olhos.

Entretanto, verificou-se que os fabricantes das lâmpadas analisadas não disponibilizam essas informações em seus catálogos técnicos, o que impôs restrições ao processo de cálculo. Diante dessa limitação, optou-se por empregar o modo aproximado *Approximate Mode* oferecido pela planilha, recurso recomendado para situações em que não há acesso aos dados espectrais completos das fontes luminosas.

Embora, neste estudo, tenha sido possível encontrar alternativas compatíveis com as características técnicas das lâmpadas avaliadas, é importante ressaltar que, em outras circunstâncias, a ausência de dados espectrais precisos pode comprometer a confiabilidade dos resultados, especialmente quando não existem fontes luminosas de propriedades semelhantes para fins de comparação.

Com relação aos resultados, de modo geral, a iluminação artificial branca observada nos hospitais analisados mostra-se inadequada sob a perspectiva circadiana, uma vez que apresenta elevado conteúdo espectral na faixa do azul e alta temperatura de cor correlata. À luz da cronobiologia, esse padrão luminoso possui considerável potencial de perturbação dos ritmos circadianos, pois promove forte estimulação dos fotorreceptores não visuais da retina, podendo comprometer tanto a indução do sono quanto a sincronização dos ciclos biológicos dos pacientes. Uma alternativa de melhoria para os quartos de internação consiste na adoção de lâmpadas de temperatura de cor quente, que possuem baixa capacidade de estimulação circadiana devido à reduzida emissão de luz azul e, portanto, menor ativação da melanopsina. Por esse motivo, tratam-se de fontes mais adequadas para uso noturno ou em ambientes destinados ao relaxamento, uma vez que minimizam a supressão de melatonina e contribuem para a manutenção do ritmo circadiano natural.

4 CONCLUSÃO

O presente estudo teve como objetivo avaliar a iluminação natural e artificial em um ambiente de internação hospitalar em dois hospitais distintos, considerando sua influência sobre o ciclo circadiano e, conseqüentemente, sobre o bem-estar dos usuários. Para atender a esse propósito, a metodologia foi estruturada em duas etapas principais: uma de fundamentação teórica e outra de aplicação prática.

Na primeira etapa, realizou-se uma revisão bibliográfica voltada à compreensão do funcionamento dos sistemas visual e não visual do organismo humano, abordando os mecanismos de regulação do ciclo circadiano e os efeitos da iluminação — natural e artificial — em ambientes de internação hospitalar, com ênfase nas respostas fisiológicas decorrentes da exposição luminosa.

A segunda etapa consistiu na análise luminotécnica de dois quartos de internação, contemplando tanto a luz natural quanto a iluminação artificial, por meio da aplicação de dois métodos complementares: o Diagrama Morfológico, utilizado como ferramenta de avaliação da iluminação natural, e a Planilha de Lucas, empregada para examinar a iluminação artificial. Essa fase buscou investigar os efeitos da qualidade e da intensidade luminosa sobre o ritmo circadiano dos pacientes, permitindo correlacionar os resultados obtidos com os conceitos teóricos discutidos na etapa inicial do estudo.

A aplicação dos métodos propostos possibilitou a avaliação dos ambientes de internação em suas condições reais de uso, permitindo uma compreensão integrada dos efeitos combinados da luz natural e artificial sobre o conforto e o ritmo circadiano dos pacientes. A análise conduzida por meio do Diagrama Morfológico evidenciou que, devido à homogeneidade das fachadas, os Hospitais A e B não dispõem de proteção solar adequada, o que resulta em exposição excessiva à radiação luminosa e afeta diretamente os processos biológicos de regulação circadiana. No quarto de internação do Hospital A, orientado para o setor norte, verificou-se que as aberturas correspondem a aproximadamente 15% a 30% da área da parede, enquanto no Hospital B, voltado para o setor sudoeste, essas proporções variam entre 25% e 50%. Essa configuração favorece maior incidência luminosa no período vespertino, retardando a redução dos níveis de iluminância ao entardecer e, conseqüentemente, inibindo a produção de melatonina — fenômeno diretamente associado ao processo fisiológico de indução do sono.

A análise da iluminação artificial, realizada a partir da Planilha de Lucas (Lucas, 2013), revelou que o Hospital A apresenta duas fontes luminosas principais, ambas caracterizadas por temperatura de cor fria e espectro predominantemente azulado. No Hospital B, identificou-se uma única fonte luminosa principal com características semelhantes — temperatura de cor fria e forte componente espectral azul — condições que podem comprometer a sincronização do ciclo circadiano dos usuários. Observou-se, ainda, que a disposição das luminárias não foi planejada em conformidade com as atividades desenvolvidas no ambiente, privilegiando a uniformidade da iluminação geral em detrimento das demandas funcionais específicas. As luminárias de teto embutidas evidenciam uma concepção pautada exclusivamente na eficiência visual, desconsiderando os aspectos biológicos e ergonômicos da luz.

De modo geral, observou-se que o projeto arquitetônico dos edifícios não incorpora estratégias voltadas ao conforto visual, biológico e emocional dos usuários, tanto no que se refere à iluminação natural quanto à artificial. Diante desse cenário, ressalta-se a necessidade de readequação do ambiente por meio de soluções que minimizem os efeitos adversos da luz sobre o ciclo circadiano, promovendo uma iluminação integrativa mais eficiente, alinhada às atividades hospitalares e à saúde dos pacientes.

Assim, este estudo reforça a importância de conceber projetos arquitetônicos e luminotécnicos baseados não apenas em critérios estéticos e funcionais, mas também em pressupostos biológicos e de bem-estar. A consideração das condições climáticas locais, associada à análise das demandas específicas de cada espaço hospitalar, configura-se como estratégia essencial para o desenvolvimento de soluções de iluminação integrativa, capazes de equilibrar conforto, funcionalidade e saúde.

Diante das considerações apresentadas, recomenda-se que pesquisas futuras aprofundem a temática por meio de revisões e atualizações contínuas, acompanhando o surgimento de novas diretrizes, protocolos e avanços científicos relacionados à iluminação e ao bem-estar humano — reconhecendo que o conhecimento é dinâmico e em constante evolução.

Além disso, sugere-se o desenvolvimento de estudos de caso em unidades de internação mais complexas, como Unidades de Tratamento Intensiva (UTI) e

instituições de longa permanência, ampliando a compreensão sobre os efeitos da luz em diferentes contextos assistenciais.

Propõe-se, ainda, que investigações futuras apliquem os conceitos teóricos e metodológicos apresentados neste estudo na formulação de projetos de aprimoramento ambiental, considerando a adoção de estratégias de iluminação integrativa que envolvam o uso de tecnologias ajustáveis, o posicionamento criterioso de luminárias e aberturas, e a adequação da temperatura de cor e da intensidade luminosa conforme as atividades desenvolvidas ao longo do dia. Tais ações podem contribuir significativamente para a promoção da saúde, do conforto e da regulação circadiana dos usuários em ambientes hospitalares e correlatos.

REFERÊNCIAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Iluminância de Interiores. ABNT NBR ISO/CIE 8995-1, 2013.

ANVISA. Conforto ambiental em estabelecimentos assistenciais de saúde. [S. l.], 2014. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/centraisdeconteudo/publicacoes/servicosdesaude/publicacoes/manual-conforto-ambiental-em-estabelecimentos-assistenciais-de-saude.pdf/@@download/file/Manual%20%20Conforto%20ambiental%20em%20estabelecimentos%20assistenciais%20de%200sa%C3%BAde.pdf>. Acesso em: 25 out. 2025.

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 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho – Parte 1: Interior. Rio de Janeiro, 2013.

AMORIM, Cláudia Naves David. Diagrama morfológico parte II “” projetos exemplares para a luz natural: treinando o olhar e criando repertório. Paranoá, [S. l.], 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: 25 out. 2025.

AVANTLUX. Site institucional. Disponível em: <https://avantlux.com.br/>. Acesso em: 25 out. 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.

BITENCOURT, Fábio. **A importância da iluminação e da arquitetura em ambientes hospitalares**. São Paulo, Revista Lume, ano IX, n. 59, p. 6-11, dez./2012, jan./2013

BONI, Cláudio; SILVA, Conrado Renan; FORTUNA, Talita Carli. Conforto Ambiental Hospitalar Na Perspectiva Dos Hospitais Da Rede Sarah Kubistchek. **Revista Contemporânea: Revista Unioledo: Arquitetura, Comunicação, Design e Educação**, v. 03, n. 01, p. 74-88, jan/jun. 2018.

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: 25 outubro 2025.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Conforto Ambiental em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde** /Agência Nacional de Vigilância Sanitária Brasília: Agência Nacional de Vigilância Sanitária, p. 7–165, 2014.

BROWN, T. M. Melanopicilluminance defines the magnitude of human circadian light responses under a wide range of conditions. **Journal of Pineal Research**, Nova York, v. 69, n. 1, p. 1-14, 19 abr. 2020. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/jpi.12655>.

CARVALHO, Antônio Pedro Alves. **Introdução à arquitetura hospitalar**. Rio Books, 2023.

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. l.], v. 17, n. 6, p. 921–929, 2019. Disponível em: <https://latamt.ieee9.org/index.php/transactions/article/view/933>. Acesso em: 25 out. 2025.

CHAPUT, Jean-Philippe et al. The role of insufficient sleep and circadian misalignment in obesity. **Nature Reviews Endocrinology**, v. 19, n. 2, p. 82-97, 2023.

FIGUEIRO, M.G. NAGARE, R.; PRICE, L.L.A. Non-visual effects of light: how to use light to promote circadian entrainment and elicit alertness. **Lighting Research & Technology**, [S.L.], v. 50, n. 1, p. 38-62, 25 jul. 2017. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/1477153517721598>.

FOSTER, Russell. How Light Exposure Affects Human Health. In: SLL LIGHTING RESEARCH & TECHNOLOGY SYMPOSIUM, 1., 2020, Londres. **How Light Exposure Affects Human Health**. Londres: CIBSE, 2020. Disponível em: <https://bit.ly/32jnNlj>. Acesso em: 25 out. 2025

GERALDO, Juliana d Souza; OAZ, Gabriel Seco. Breve Estudo Sobre Técnicas De Conforto Ambiental Aplicada Aos Ambientes Hospitalares. **Journal of Exact Sciences – JES**. Vol.34 n.1, p. 05-12, Jul - Set 2022.

GOOGLE. Google Maps. Disponível em: <https://maps.google.com>. Acesso em: 25 out. 2025.

HEVNER, Alan R. et al. Design science in information systems research. **MIS quarterly**, p. 75-105, 2004.

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/foruns-comites-e-redes/cie>. Acesso em: 25 out. 2025.

ILLUMINATION ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA. Committee For Health Care Facilities. RP 29-95: **Lighting for Hospitals an Healthcare Facilities**. New York: IESNA, 2000.

ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY (IES). ANSI/IES RP-29-20, **Recommended Practice: Lighting Hospital and Healthcare Facilities**. New York: IES; 2020.

KASPER. A. A.; BITTENCOURT. C. M.; GRAUO. S. **A Influência da Iluminação como Fator de Humanização em Ambientes Hospitalares**: O Caso das Salas de Espera e Corredores Hospitalares. Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído – SBQP, USP, 2009.

KOTH, Deyse. A influência da iluminação e das cores no ambiente hospitalar: a saúde vista com outros olhos. **Especialize**, jan, 2013.

LAM, William MC; RIPMAN, Christopher Hugh. **Perception and lighting as formgivers for architecture**. New York (NY): McGraw-Hill, 1977.

Leite, Ana Luiza Ferreira. Iluminação e automação residencial: análise e aplicações em busca de conforto lumínico. 2023.

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.

Markus, Regina Pekelmann; junior, EJMB; ferreira, Zulma Silva. **Ritmos biológicos**: entendendo as horas, os dias e as estações do ano. Einstein, v. 1, p. 143–148, 2003.

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, v. 8, n. 4, p. 249-256, 2017.

MASCARELLO, Vera Lúcia Dutra. **Princípios bioclimáticos e princípios de arquitetura moderna – evidências no edifício hospitalar. Dissertação (Mestrado em Arquitetura)** – Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005

MIQUELIN, L. **Anatomia dos Edifícios Hospitalares**. São Paulo: Cedas, 1992.

MORI, Satomi et al. Incidência e fatores relacionados ao delirium em Unidade de Terapia Intensiva. **Revista da Escola de Enfermagem da USP**, v. 50, p. 0587-0593, 2016.

NASCIMENTO, Gúlti Ricardo Fagundes. A saúde com outros olhos: Iluminação Hospitalar. **Revista SUSTINERE**, Rio de Janeiro, v.7, n.2, p.401-413, jul-dez, 2019.

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. l.], v. 5, n. 23, 2024. DOI: 10.17271/qs3znd49. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/rlaac_sustentabilidade/article/view/5380. Acesso em: 25 out. 2025.

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: 25 out. 2025.

PESSOA, Renata Fittipaldi; NÁCUL, Flávio Eduardo. Delirium em pacientes críticos. **Revista brasileira de terapia intensiva**, v. 18, p. 190-195, 2006.

PITROWSKY, Melissa Tassano et al. Importância da monitorização do delirium na unidade de terapia intensiva. **Revista Brasileira de Terapia Intensiva**, v. 22, p. 274-279, 2010.

PECCIN, Adriana. **Iluminação hospitalar: estudo de caso: espaços de internação e recuperação**. 2002.

PERÉN MONTERO, Jorge Isaac. **Ventilação e iluminação naturais na obra de João Filgueiras Lima, Lelé: estudo dos hospitais da rede Sarah Kubitschek Fortaleza e Rio de Janeiro**. 2006. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006. doi:10.11606/D.18.2006.tde-12032007-225829. Acesso em: 06 dez. 2024.

Reddy S, Reddy V, Sharma S. Fisiologia, Ritmo Circadiano. In: StatPearls. Publicação StatPearls, Treasure Island (FL); 2023. PMID: 30137792.

ROMERO, M. A. B. **A arquitetura bioclimática do espaço público**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2001.

SCURI, Piera. **Design of enclosed Spaces**. New York: Chapman & Hall, 1995. ZUMTOBEL. Lighting Hand Book. Debindorn/Austria, dez. 2008. Disponível em: <<https://www.zumtobel.com/PDB/teaser/EN/lichandbuch.pdf>>. Acesso em: 03 de Agosto de 2024.

VAN BOMMEL, Wout. Interior lighting: fundamentals, technology and application. [S. l.]: Springer Nature Switzerland AG, 2019. E-book.

WALRAVEN, J.; et al. (1990). The control of visual sensitivity: Receptoral and postreceptoral processes. In L. Spillmann & J. S. Werner (Eds.), *Visual perception: The neurophysiological foundations* (pp. 53–101). Academic Press.

WATSON, Andrew B. A formula for human retinal ganglion cell receptive field density as a function of visual field location. *Journal of vision*, v. 14, n. 7, p. 15-15, 2014.

WRIGHT JR, Kenneth P. et al. Sleep and wakefulness out of phase with internal biological time impairs learning in humans. *Journal of Cognitive Neuroscience*, v. 18, n. 4, p. 508-521, 2006.

ANEXO A - PARÂMETROS E VARIÁVEIS APRESENTADOS NO DIAGRAMA MORFOLÓGICO

Parâmetro do Nível I – Espaço Urbano

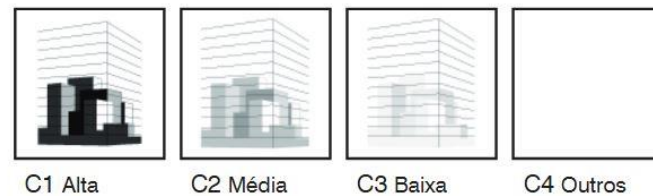
A - Desenho Urbano



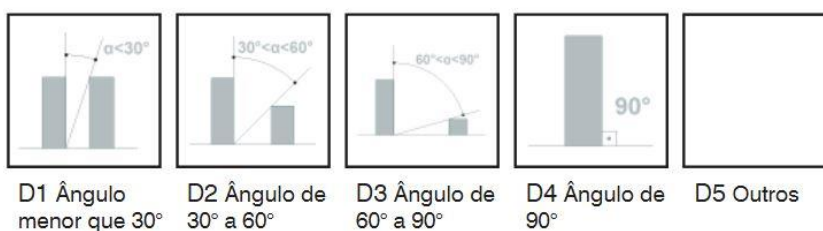
B - Refletância das Fachadas



C - Especularidade das Fachadas



D - Ângulo máximo de Incidência do Sol na Fachada do Edifício

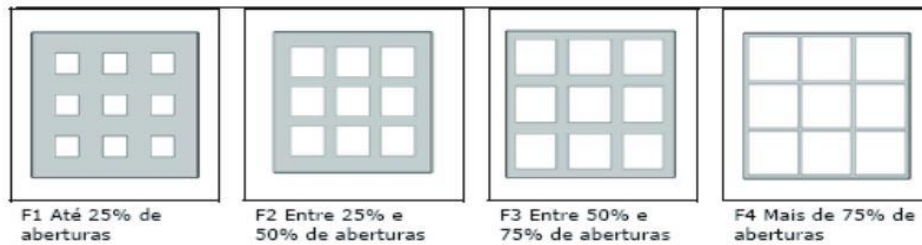


Parâmetro do Nível II – Edifício

E - Forma e Planta Baixa



F – Taxa de Aberturas nas Fachadas



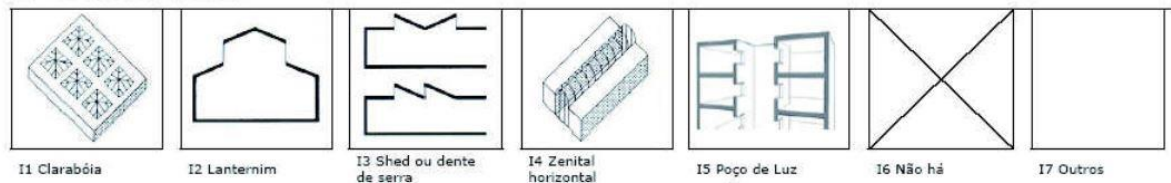
G – Distribuição das Aberturas nas Fachadas



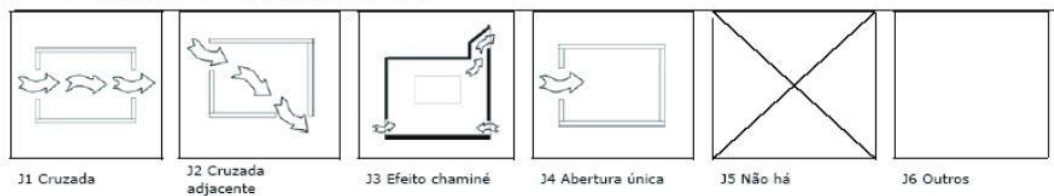
H – Proteções Solares nas Fachadas



I – Aberturas Zenitais

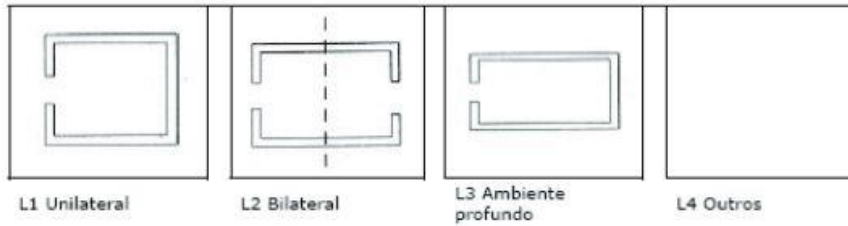


J – Mecanismos de Ventilação Natural



Parâmetro do Nível III – Ambiente Interno

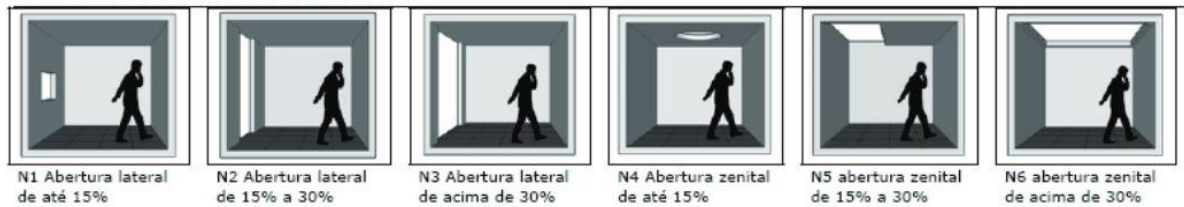
L - Planta Baixa



M - Posição do Coletor de Luz



N - Dimensão do Coletor de Luz



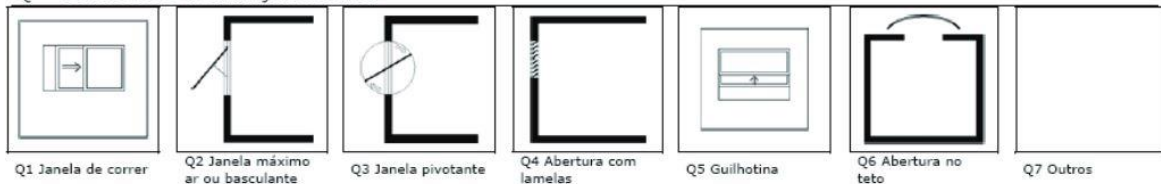
O - Forma do Coletor de Luz



P - Controle de Entrada de Luz



Q - Controle da Ventilação Natural



R - Controle e Integração da Iluminação Artificial

