



Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas
CECAU - Colegiado do Curso de
Engenharia de Controle e Automação



Ana Luiza Ferreira Leite

Iluminação e Automação Residencial: análises e aplicações em busca de conforto lumínico

Monografia de Graduação

Ouro Preto, 2023

Ana Luiza Ferreira Leite

Iluminação e Automação Residencial: análises e aplicações em busca de conforto lumínico

Trabalho apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro(a) de Controle e Automação.

Universidade Federal de Ouro Preto

Orientador: Prof. Dr. Paulo Marcos de Barros Monteiro

Ouro Preto

2023



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



FOLHA DE APROVAÇÃO

Ana Luiza Ferreira Leite

Iluminação e Automação: análises e aplicações em busca de conforto lumínico

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Controle e Automação

Aprovada em 25 de agosto de 2023

Membros da banca

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

Dra. Adrielle de Carvalho Santana - Examinadora (DECAT - Universidade Federal de Ouro Preto)

Dr. Luiz Fernando Rispoli Alves - Examinador (Professor aposentado - DECAT - Universidade Federal de Ouro Preto)

Paulo Marcos de Barros Monteiro, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 26/08/2023



Documento assinado eletronicamente por **Paulo Marcos de Barros Monteiro, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 26/08/2023, às 03:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0580759** e o código CRC **DCC0497D**.

Agradecimentos

Agradeço a Deus pelo dom da vida e por me permitir concluir esse ciclo tão importante.

Aos meus pais Agnaldo e Izabel por todo apoio, amor e por serem meus exemplos na vida.

Às minhas irmãs Gabriela e Maria Beatriz por todo carinho, cuidado e cumplicidade.

Às minha avós Nina (in memoriam) e Lilia e meus avôs Zezé e Berto (in memoriam) por toda oração e por sempre zelarem por mim. À toda minha família que sempre me apoiou.

Agradeço ainda ao meu orientador Paulo Monteiro, pela paciência, disponibilidade e por todos seus ensinamentos que me ajudaram a desenvolver esse trabalho.

A Escola de Minas e todos os seus mestres que contribuíram para que eu chegasse até aqui, em especial o corpo docente do Departamento de Engenharia de Controle e Automação.

À todos os meus amigos que sempre estiveram torcendo por mim, em especial Talita e Laura.

Aos amigos de curso que me ajudaram desde o início até essa reta final, em especial Ana, Ray e Bruno.

Gratidão a todos que ajudaram de alguma forma para a realização desse sonho!

Resumo

A crescente evolução tecnológica tem mudado não apenas a forma como se interage com o mundo, mas também como se cria ambientes propícios ao bem-estar e qualidade de vida. Nesse contexto, a automação residencial surge revolucionando a forma com qual se integra dispositivos tecnológicos às casas, visando aprimorar o conforto, eficiência energética, segurança e funcionalidades. Um componente fundamental desse avanço é a iluminação inteligente, que oferece um nível de controle e ajuste de maneira flexível e adaptável. No entanto essa transformação vai além do controle de dispositivos, envolvendo também a possibilidade da sincronização com os ritmos biológicos humanos, especificamente o ciclo circadiano, que influencia o padrão de sono, vigília e estados fisiológicos ao longo de um dia. Nesse sentido, este trabalho busca explorar a conexão entre automação residencial, iluminação inteligente e ciclo circadiano, explorando como esses três aspectos podem convergir para criar ambientes que não apenas atendam às necessidades funcionais, mas também promovam a saúde e o bem-estar dos ocupantes das residências. O presente estudo visa, assim, contribuir para o avanço do conhecimento na área da automação residencial, tomando por base como a iluminação inteligente pode ser uma ferramenta poderosa para aprimorar a relação com os ambientes internos, proporcionando ambientes mais saudáveis, produtivos e harmonizados com os ritmos naturais do corpo humano.

Palavras-chaves: Automação residencial; Domótica; Iluminação; Iluminação Inteligente; Casas inteligentes; Ciclo circadiano.

Abstract

The growing technological evolution has been changing not only the way we interact with the world around us but also how we create environments conducive to well-being and quality of life. In this context, home automation emerges, revolutionizing the way we integrate technological devices into our homes, aiming to enhance comfort, energy efficiency, security, and functionalities. A crucial component of this advancement is smart lighting, which offers a level of control and adjustment in a flexible and adaptable manner. However, this transformation goes beyond device control, also involving the possibility of synchronization with human biological rhythms, specifically the circadian cycle, which influences the pattern of sleep, wakefulness, and physiological states throughout a day. In this sense, this work seeks to explore the connection between home automation, smart lighting, and the circadian cycle, investigating how these three aspects can converge to create environments that not only meet functional needs but also promote the health and well-being of home occupants. The present study aims to contribute to the advancement of knowledge in the field of home automation, based on how smart lighting can be a powerful tool to enhance the relationship with indoor environments, providing healthier, more productive, and harmonized spaces aligned with the natural rhythms of the human body.

Key-words: Home Automation; Domotics; Lighting; Smart Lighting; Smart Homes; Circadian Rhythm.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Fluxo Luminoso. Fonte: (OSRAM, 2004)	15
Figura 2 – Intensidade Luminosa. Fonte: (OSRAM, 2004)	16
Figura 3 – Iluminância. Fonte: (OSRAM, 2004)	16
Figura 4 – O Luxímetro é o aparelho usado para medir a iluminância, grandeza dada em lux (lx). Fonte: (OSRAM, 2004)	16
Figura 5 – Luminância. Fonte (OSRAM, 2004)	17
Figura 6 – Temperatura de cor dada em Kelvin e suas classificações. Fonte: (OSRAM, 2004)	17
Figura 7 – Índice de Reprodução de Cor (IRC). Fonte: (ÍNDICE..., 2023)	18
Figura 8 – Eficiência Energética dada em lm/W. Fonte: (OSRAM, 2004)	18
Figura 9 – Pé direito útil - a distância entre a luminária e o plano de trabalho (h). (OSRAM, 2004)	19
Figura 10 – Espectro de Ondas Eletromagnéticas. Fonte: (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009)	21
Figura 11 – Anatomia geral do olho humano. Fonte: (BEAR; CONNORS; PARADISO, 2017).	22
Figura 12 – Sensibilidade Espectral relativa para visão escotópica e fotópica. Fonte: (MOREIRA, 1999).	23
Figura 13 – Sensibilidade dos cones presentes na retina de acordo com o comprimento de onda. Cones S (curtos), M (médios) e L (grandes) respectivamente. Fonte: (BEAR; CONNORS; PARADISO, 2017).	23
Figura 14 – Fisiologia da secreção do hormônio melatonina. Fonte: (FILHO, 2018)	25
Figura 15 – Gráfico que apresenta os ritmos seguidos pelos hormônios cortisol e melatonina e o estado de atenção em relação ao horário do dia. Fonte: (MARTAU, 2009)	26
Figura 16 – Relógio circadiano e respostas fisiológicas ao longo do dia. Fonte: (AZUOS, 2023)	26
Figura 17 – Pinagem do microcontrolador ESP32. Fonte: Albuquerque (2023)	29
Figura 18 – Módulo Dimmer DM02A. Fonte:(MSSELETRÔNICA, 2023)	30
Figura 19 – Montagem no protoboard do projeto prático.	31
Figura 20 – Montagem completa do projeto prático com o módulo dimmer e a luminária.	31
Figura 21 – Interface de controle da intensidade da luz no aplicativo da ESP Rain-Maker.	32
Figura 22 – Planta da edificação demonstrativa. Fonte: Elaborada pela autora.	34

Figura 23 – Tipo do piso a ser usado na casa: laminado amadeirado para os quartos e sala de estar; porcelanato acetinado de cor branca para os demais cômodos. Fontes: (LEROY MERLIN, 2023); (PORCELANATO..., 2023) . . .	34
Figura 24 – Parâmetros passados para o aplicativo para o projeto da Sala de Estar. Fonte: Elaborada pela autora.	36
Figura 25 – Dados adicionais passados para a definição do tipo de iluminação a ser usada na sala. Fonte: Elaborada pela autora.	37
Figura 26 – Luminária definida para a sala e detalhes obtidos após o cálculo pelo aplicativo. Fonte: Elaborada pela autora.	38
Figura 27 – Posições aonde as luminárias devem ser instaladas na sala de estar. Fonte: Elaborada pela autora.	38
Figura 28 – Parâmetros passados para o aplicativo para o projeto do Quarto 1. Fonte: Elaborada pela autora.	39
Figura 29 – Dados adicionais passados para a definição do tipo de iluminação a ser usado no quarto 1. Fonte: Elaborada pela autora.	40
Figura 30 – Luminária definida para o quarto 1 e os detalhes obtidos após o cálculo pelo aplicativo. Fonte: Elaborada pela autora.	41
Figura 31 – Posições aonde as luminárias devem ser instaladas no quarto 1. Fonte: Elaborada pela autora.	41
Figura 32 – Parâmetros passados para o aplicativo para o projeto da Cozinha/Sala de Jantar. Fonte: Elaborada pela autora. Fonte: Elaborada pela autora.	42
Figura 33 – Dados adicionais passados para a definição do tipo de iluminação a ser usado na cozinha/sala de jantar. Fonte: Elaborada pela autora.	42
Figura 34 – Luminária definida para a cozinha e sala de jantar e os detalhes obtidos após o cálculo pelo aplicativo. Fonte: Elaborada pela autora.	43
Figura 35 – Posições aonde as luminárias devem ser instaladas na cozinha/sala de jantar. Fonte: Elaborada pela autora.	44
Figura 36 – Parâmetros passados para o aplicativo para o projeto do banheiro. Fonte: Elaborada pela autora.	45
Figura 37 – Dados adicionais passados para a definição do tipo de iluminação a ser usada no banheiro. Fonte: Elaborada pela autora.	45
Figura 38 – Luminária definida para o banheiro e os detalhes obtidos após o cálculo pelo aplicativo. Fonte: Elaborada pela autora.	46
Figura 39 – Posições aonde as luminárias devem ser instaladas no banheiro. Fonte: Elaborada pela autora.	46
Figura 40 – Posição das luminárias definidas com auxílio do aplicativo DIALux Mobile.	54
Figura 41 – Modelo de luminária utilizada na cozinha/sala de jantar.	55
Figura 42 – Modelo de luminária utilizada no banheiro.	56
Figura 43 – Modelo de luminária utilizada na sala de estar.	57

Lista de tabelas

Tabela 1 – Tabela de Iluminâncias para residências segundo a NBR5413.	33
Tabela 2 – Tabela com exemplo de determinação do Fator de Utilização de Luminárias. Fonte: (KAWASAKI, 2012)	51
Tabela 3 – Fator de Depreciação F_d . Fonte: (FREITAS et al., 2009)	52
Tabela 4 – Índice de Refletância das Superfícies (ρ). Fonte: (LUZ, 2023)	53

Lista de abreviaturas e siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
A	Área, dada em m ²
cd	Candela
CAD	Computer Aided Design (Desenho assistido por computador)
CIE	Comissão Internacional de Iluminação
CDL	Curva de Distribuição Luminosa
η_w	Eficiência Luminosa
η_L	Eficiência de uma luminária
F_d	Fator de Depreciação
ϕ	Fluxo Luminoso
E	Iluminância
ρ	Índice de Refletância das Superfícies
IRC	Índice de Reprodução de Cor
Ra	Índice de Reprodução de Cor
IA	Inteligência Artificial
I	Intensidade Luminosa
ISO	International Organization for Standardization – Organização Internacional para Padronização
IoT	Internet of Things - Internet das Coisas
K_d	Índice do recinto
lm	Lúmens
L	Luminância
lx	Lux
NBR	Normas Brasileiras

T Temperatura de Cor

W Watt

Sumário

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivos	13
1.1.1	Objetivo Geral	13
1.1.2	Objetivos Específicos	13
1.2	Metodologia	14
1.3	Estrutura do trabalho	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1	Iluminação e seus conceitos	15
2.2	Luz e Visão	20
2.3	Ciclo Circadiano e Saúde	24
3	DESENVOLVIMENTO	27
3.1	Automação residencial e Iluminação Inteligente	27
3.1.1	Iluminação Inteligente	28
3.2	Projeto Luminotécnico	32
3.2.1	Sala de Estar	35
3.2.2	Quarto 1	38
3.2.3	Cozinha e Sala de Jantar	40
3.2.4	Banheiro	44
4	CONCLUSÕES	47
	Referências	48
	ANEXO A – TABELA DO FATOR DE UTILIZAÇÃO DE LUMI- NÁRIAS	51
	ANEXO B – TABELA DO FATOR DE DEPRECIAÇÃO	52
	ANEXO C – TABELA DO ÍNDICE DE REFLEXÃO DAS SUPER- FÍCIES	53
	ANEXO D – PLANTA DA RESIDÊNCIA COM AS POSIÇÕES DAS LUMINÁRIAS	54
	ANEXO E – LUMINÁRIA LINA - HALLA	55

ANEXO F – LUMINÁRIA LINEDO - RZB	56
ANEXO G – LUMINÁRIA LUNA - ES SYSTEM	57

1 Introdução

A domótica, termo que advém da junção da palavra em latim “*domus*”, que significa casa, com a palavra robótica, é utilizada para se referir a residências, apartamentos e prédios que possuem sistemas de automação integrados. Este tipo de sistema tem como função facilitar, trazer praticidade e otimizar a vida de seus usuários.

Segundo [Morrone \(2012\)](#), a domótica surgiu dos conceitos utilizados em automação industrial e seus projetos começaram a surgir na década de 80, no entanto, sua apresentação de fato ocorreu na década de 90.

A automação residencial (AR) tem se tornado muito popular nos últimos anos e está cada vez mais presente no dia a dia da sociedade. Essa popularização se deve ao fato de que a domótica pode trazer inúmeros benefícios e facilidades aos usuários, além de possuir uma gama extensa de aplicações.

A utilização da domótica torna a vida de seus usuários mais confortável, segura e econômica, tornando automáticas tarefas que antes eram rotineiras e exaustivas, até mesmo tarefas simples como o acender de uma lâmpada ([Canato et al. \(2007\)](#)).

[Teza et al. \(2002\)](#) acreditam que os sistemas podem oferecer diversos recursos, cabendo ao usuário optar pelo que melhor atende suas necessidades, já que é possível integrar as mais diversas funcionalidades, desde equipamentos de segurança até eletrodomésticos.

De forma simplificada, uma instalação domótica necessita de uma infraestrutura com rede de comunicação (com ou sem fios), controlador do sistema, sensores, atuadores e elementos externos que irá automatizar ([Eloy et al. \(2010\)](#)).

Atualmente no mercado já é possível encontrar soluções que facilitam a vida de quem deseja automatizar algum dispositivo em sua casa sem a necessidade de realizar reformas como, por exemplo, fazer uso da tecnologia *wireless* que permite que seja feito o controle de lâmpadas, sistemas de som e até mesmo a programação da rotina da máquina de café.

No entanto, como a AR ainda é um campo “novo” da ciência e existe muito a ser explorado, não existe uma padronização exata quanto a seus equipamentos, dispositivos e protocolos ([Neto, Júnior e Carneiro \(2018\)](#)).

A implantação da domótica em um ambiente não beneficia o usuário apenas nas facilidades, mas também na melhoria de sua saúde quando aliado à execução de um bom projeto luminotécnico. Exemplificando, é possível trabalhar com tipos de luzes diferentes e suas temperaturas de cor para criação de ambientes que favoreçam o ciclo circadiano dos usuários do ambiente.

Filho (2018) afirma que o corpo humano necessita de luz rica em azul no início da manhã para que os fotorreceptores sejam estimulados, uma vez que estes são responsáveis por converter a luz em sinais nervosos que sustentarão o ciclo circadiano. Já no final da tarde o corpo deve ser exposto à luz com pouco azul em sua composição espectral.

O hipotálamo é a área do cérebro responsável por receber sinais relativos à luz. E é encarregada de gerir e controlar a marcação dos ciclos biológicos dos seres humanos. Esse marcador é conhecido como ciclo circadiano e abrange um intervalo de 24 horas - um dia completo.

Sabe-se que todos os processos biológicos do corpo são regidos por esse ciclo e principalmente pela variação da exposição de luz ao longo o dia, influenciando diretamente no sono e metabolismo de cada indivíduo, bem como na produção de hormônios.

Com a variação de iluminação ao passar do dia e o aumento do tempo de vivência dentro de ambientes fechados que na maioria das vezes possuem iluminação artificial e ausência de luz natural, faz-se necessário o controle e execução de um bom projeto luminotécnico para que a iluminação nos ambientes seja a mais saudável possível auxiliando na definição do ciclo claro/escuro.

O presente trabalho se propõe a apresentar e descrever dispositivos da domótica que viabilizem aos usuários a manutenção e correção da iluminação de cômodos de uma casa, possibilitando que o fluxo luminoso advindo de iluminação artificial se equipare à iluminação natural e varie de acordo com a exigência e necessidade de cada ambiente.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Nesse trabalho tem-se como objetivo principal apresentar conceitos, aspectos e algumas aplicações ligadas à iluminação e automação residencial visando tornar mais compreensível.

1.1.2 Objetivos Específicos

Aliado ao objetivo principal, será proposto um projeto luminotécnico de uma residência, levando-se em consideração a implementação adequada para cada um de seus cômodos. O intuito será trazer segurança, praticidade e conforto, juntamente com a melhoria na saúde e no ciclo de atividades dos moradores. Ainda, será proposto uma implementação prática de um sistema de dimerização de lâmpadas utilizando o microcontrolador EP32.

1.2 Metodologia

Para conduzir este estudo, será adotada uma abordagem exploratória de pesquisa. Isso envolverá a realização de levantamentos e revisões bibliográficas por meio de análises de monografias, livros, revistas científicas e artigos relevantes. Além disso, será realizado uma análise de estudo de caso de uma residência e a criação de um projeto luminotécnico da mesma. Será sugerido também aplicações de automação residencial no ambiente juntamente com a proposta do desenvolvimento de uma solução simples para controle da luminosidade na casa.

1.3 Estrutura do trabalho

O presente trabalho está organizado em seis capítulos:

- Capítulo 1 - é apresentada a introdução, os objetivos, a metodologia abordada e a estruturação do trabalho.
- Capítulo 2 - são abordados conceitos relacionados à iluminação, também chamados de conceitos luminotécnicos para melhor compreensão acerca do tema. Também é feita uma revisão da literatura sobre o tema “Luz e Visão” trazendo todos os aspectos que fazem a relação entre esses dois temas tão importantes. E por último é feita a revisão bibliográfica sobre o Ciclo Circadiano e a Saúde humana, para melhor compreensão da motivação sobre a escrita do trabalho.
- Capítulo 3 - se dá o desenvolvimento do trabalho, apresentando um estudo de caso e etapa de cálculos para o projeto luminotécnico proposto. São mostradas também alguns modelos de lâmpadas e cenários para a planta do caso proposto.
- Capítulo 4 são apresentadas as conclusões.

2 Fundamentação Teórica

2.1 Iluminação e seus conceitos

Para se ter uma melhor compreensão do trabalho e seus aspectos é necessário primeiro esclarecer alguns conceitos e grandezas ligados à iluminação e lâmpadas.

- Fluxo luminoso: Considera-se como fluxo luminoso a quantidade de luz emitida por uma fonte na tensão nominal de funcionamento. Essa definição é medida em lúmens (lm) e seu símbolo é (Φ).



Figura 1 – Fluxo Luminoso. Fonte: (OSRAM, 2004)

- Intensidade luminosa: É o fluxo luminoso irradiado na direção de um determinado ponto. Seu símbolo é dado por I e sua unidade de medida é a candela (cd).
- Iluminância: Também chamado de Iluminamento, essa grandeza indica o fluxo luminoso de uma fonte de luz que incide sobre uma superfície situada à uma certa distância desta fonte. Sua unidade é dada em lux (lx) e seu símbolo é E. A equação que define essa grandeza é dada por:

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad (2.1)$$

em que Φ é o Fluxo Luminoso e A é a área.

A Iluminância pode ser medida com o uso de um aparelho chamado luxímetro (figura 4) e esse valor é especificado para os ambientes segundo a norma NBR-ISO

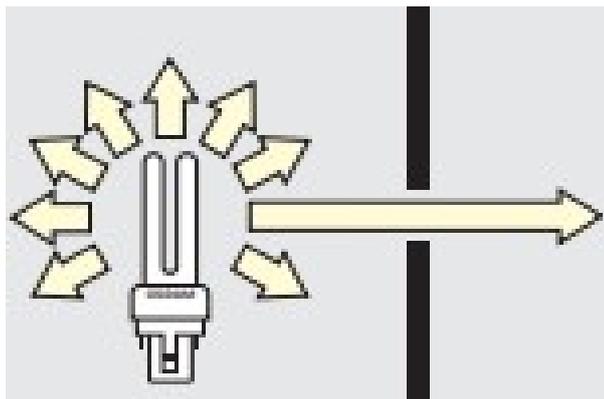


Figura 2 – Intensidade Luminosa. Fonte: (OSRAM, 2004)

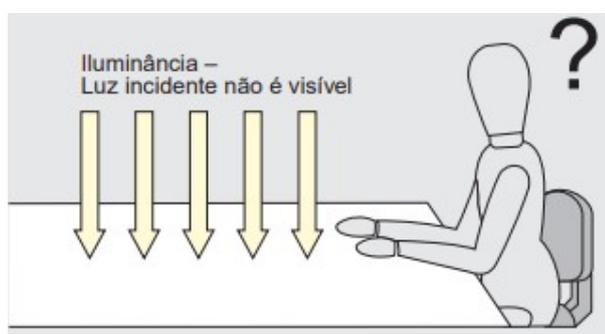


Figura 3 – Iluminância. Fonte: (OSRAM, 2004)

8995-1. Nesse trabalho, no entanto, por se tratar do aspecto residencial a norma citada anteriormente não é aplicável. Serão adotados os requisitos da norma NBR 5413 que, apesar de estar descontinuada, é a norma que faz referência à iluminação residencial.

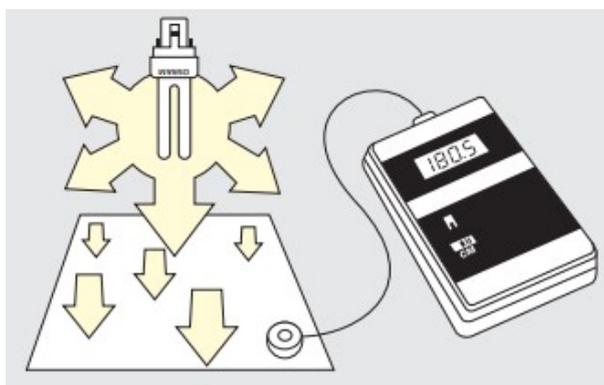


Figura 4 – O Luxímetro é o aparelho usado para medir a iluminância, grandeza dada em lux (lx). Fonte: (OSRAM, 2004)

- Luminância: É definida como a intensidade luminosa (cd) refletida por unidade de área (m^2), através da superfície aparente. Seu símbolo é dado por L e sua unidade de medida (cd/m^2).

$$L = \frac{I}{A \cdot \cos \alpha} \quad (2.2)$$

onde I é a intensidade luminosa, A é a área e a α é o ângulo considerado ($^{\circ}$).

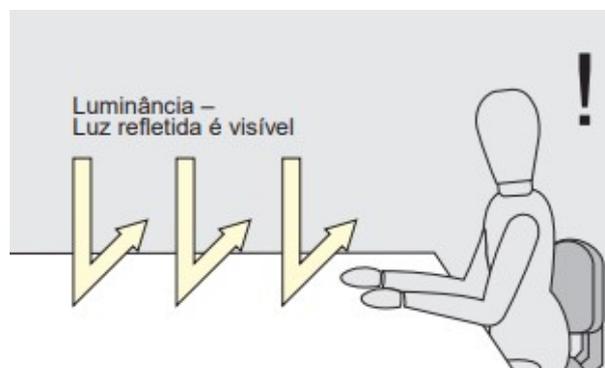


Figura 5 – Luminância. Fonte (OSRAM, 2004)

- Temperatura de cor: é uma grandeza que expressa a classificação da cor da luz e é uma característica das lâmpadas. Seu símbolo é dado por T e sua unidade é K (Kelvin). Quanto maior o valor dessa grandeza, mais branca ou "fria" será a cor dessa luz e quanto menor o valor, mais amarelada ou "quente" será a tonalidade da mesma.



Figura 6 – Temperatura de cor dada em Kelvin e suas classificações. Fonte: (OSRAM, 2004)

- Índice de Reprodução de Cor (IRC): é a variação da cor dos objetos ao serem observados sob incidência luminosa. Essa grandeza expressa uma escala qualitativa e é dada no intervalo de 0 a 100, quanto maior for a diferença entre a cor real do objeto e sua cor aparente quando iluminado, menor é o seu IRC. Também é um conceito relacionado às lâmpadas. Sua unidade é dada por R e seu símbolo é IRC ou Ra.
- Eficiência Luminosa: é um indicador da eficiência da emissão de luz sob o ponto de vista energético. Também pode ser entendida como a relação entre o fluxo luminoso

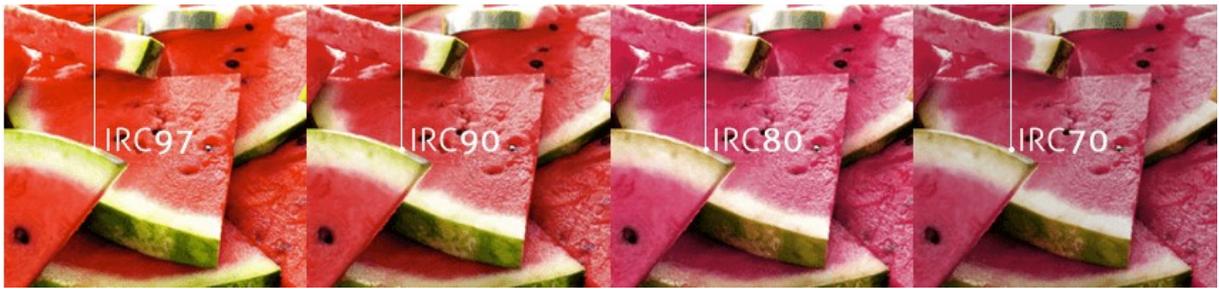


Figura 7 – Índice de Reprodução de Cor (IRC). Fonte: (ÍNDICE..., 2023)

(lm) e a potência energética da luz (Watt). Seu símbolo é dado por η_w e sua unidade de medida é lm/W. Indica a conversão de energia elétrica em quantidade de lúmens.

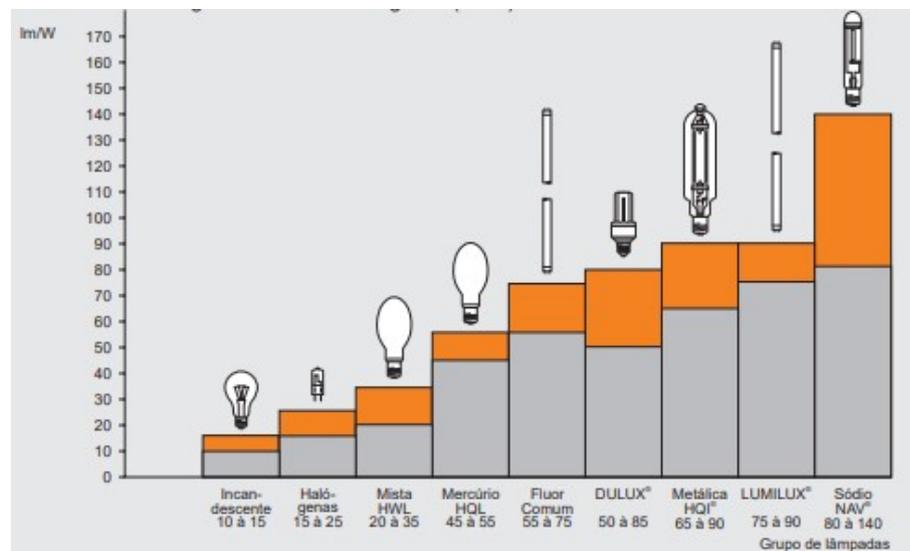


Figura 8 – Eficiência Energética dada em lm/W. Fonte: (OSRAM, 2004)

Por normalmente a instalação das lâmpadas serem feitas utilizando luminárias, ocorre então a redução do fluxo luminoso final emitido. Dessa forma, existem alguns conceitos que precisam ser definidos em relação ao conjunto de tipo de luminárias e o ambiente para onde será feito o projeto luminotécnico. São eles:

- **Eficiência de Luminária:** é o rendimento da luminária, dado pela razão do fluxo luminoso emitido por uma luminária sobre o fluxo luminoso da lâmpada sem o uso da luminária. É um valor que normalmente é fornecido pelos fabricantes através da curva de distribuição luminosa (CDL). Seu símbolo é η_L e sua unidade é dada em porcentagem.
- **Eficiência do Recinto:** é a porcentagem de luz refletida, levando em conta os valores do coeficiente de flexão do teto, paredes, piso e pintura. Seu símbolo é dado por η_R .

- Índice do Recinto: é a relação entre todas as dimensões do ambiente a ser iluminado e depende do tipo de iluminação a ser aplicado. Para iluminação direta, tem-se:

$$K_d = \frac{a \cdot b}{h'(a + b)} \quad (2.3)$$

e para iluminação indireta

$$K_d = \frac{3 \cdot a \cdot b}{2 \cdot h'(a + b)} \quad (2.4)$$

em que K_d é o índice do recinto, a é o comprimento, b é a largura, h é o pé direito útil e h' é a distância do teto ao plano de trabalho. Entende-se como é direto útil a distância real entre a luminária e o plano de trabalho conforme pode ser observado na figura 9. (OSRAM, 2004)

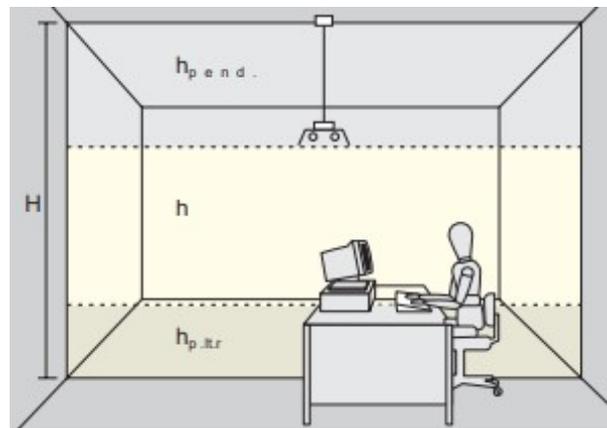


Figura 9 – Pé direito útil - a distância entre a luminária e o plano de trabalho (h). (OSRAM, 2004)

- Fator de Utilização: é o indicador da eficiência luminosa do conjunto composto pela lâmpada, luminária escolhida e pelo recinto a ser iluminado. Ele pode ser calculado por:

$$K_d = \eta_L \cdot \eta_R \quad (2.5)$$

em que η_L é a eficiência do recinto e η_R é a eficiência da luminária. Porém, em alguns casos esse fator é fornecido pelo fabricante em forma de tabela em que se deve levar em conta na análise pelos coeficientes de reflexão do teto, parede e piso do cômodo. Um exemplo pode ser observado na tabela 2.

- Fator de Depreciação: é a relação entre o fluxo luminoso no fim do período de manutenção e o fluxo luminoso no início da instalação. Essa depreciação se dá principalmente pela sujeira depositada sob a lâmpada ou luminária, tempo de utilização diária ou ainda a diminuição da reflexão das paredes e teto em consequência do acúmulo de sujeira proveniente do tempo (LUZ, 2023).

Esse fator, cujo símbolo é dado por F_d , é apresentado na tabela 3 fazendo a relação entre o ambiente e o período de manutenção.

- Índice de Reflexão: é a porcentagem de luz refletida por uma superfície em relação à luz que incide na mesma. É preciso que sejam analisados os índices de reflexão das paredes, teto e piso do ambiente. A tabela 4 indica o índice de reflexão baseado na cor da superfície. Seu símbolo é dado por ρ e também é chamado de Refletância ou Coeficiente de Reflexão (FREITAS et al., 2009).

2.2 Luz e Visão

Jewett e Serway (2012) afirma que a luz é o principal meio pelo qual o ser humano capazes de transmitir e receber informações para e de corpos no ambiente e pelo Universo. Pode-se definir então que a luz é uma forma de energia transmitida eletromagneticamente que se propaga por meio de ondas ou partículas conhecidas como fótons.

Muitas importantes descobertas acerca desse tema puderam ser mais esclarecidas quando James Clerk Maxwell propôs a teoria que descreve a luz como uma onda eletromagnética. Naquela época, eram conhecidas apenas as ondas do intervalo entre os raios infravermelhos, luz visível e raio ultravioletas. Ao passar do tempo, novos estudos foram feitos até que se chegou ao chamado Espectro Eletromagnético que se tem hoje (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

O Espectro Eletromagnético, mostrado na figura 10, é compreendido pelo conjunto de todas as ondas eletromagnéticas que existem e que se diferem umas das outras pela sua frequência (f) e pelo seu comprimento de onda (λ) (MOREIRA, 1999).

No espectro são apresentados intervalos de comprimentos de onda variados, desde muito curtos como por exemplo dos raios cósmicos, até as ondas que possuem grandes comprimentos de ondas como dos raios gama (MORAES, 2002).

Ao se estudar sobre iluminação, entram em foco as ondas do espectro visível, pois a sensibilidade da visão humana está representada nesse intervalo. A luz visível se estende dos comprimentos de onda de 400 a 700 nanômetros (nm), mas esses limites podem variar um pouco de pessoa para pessoa.

A percepção das cores é resultante da interação da luz com os olhos e está relacionada aos diferentes comprimentos de onda. Cada cor está associada a um intervalo específico do espectro eletromagnético, que varia desde cores mais “frias”, de menor comprimento, até cores mais “quentes”, de maior comprimento.

Para melhor entendimento do sistema de percepção visual é preciso entender um pouco da anatomia e fisiologia dos olhos. O sistema visual humano tem como principal

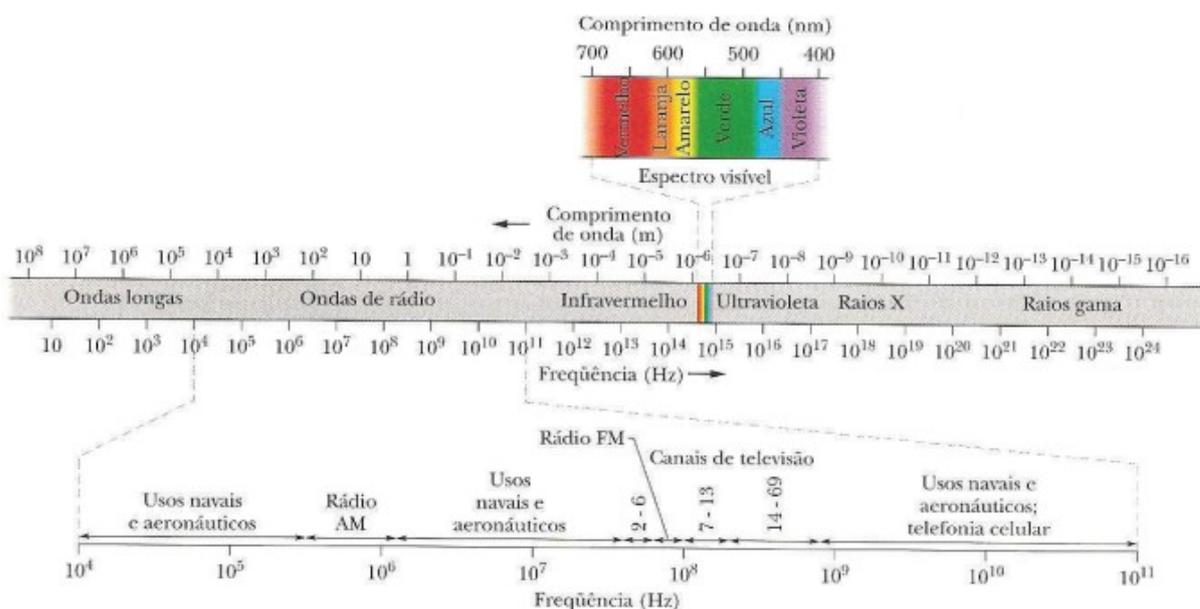


Figura 10 – Espectro de Ondas Eletromagnéticas. Fonte: (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009)

órgão o olho, que por sua vez é formado por uma série de estruturas que possibilitam o enxergar.

Bear, Connors e Paradiso (2017) descrevem a anatomia ocular (figura 11) da seguinte forma:

- Pupila: é a abertura que permitem a entrada de luz nos olhos até a retina ocular e está envolta pela íris.
- Córnea: é a superfície externa dos olhos que recobre a pupila e a íris.
- Íris: área conhecida por apresentar a coloração dos olhos, composta por dois músculos que podem alterar o tamanho da pupila com a contração.
- Esclera: é a continuação da córnea, faz parte da parede do globo ocular.
- Cristalino: é uma espécie de lente flexível que altera sua forma permitindo o ajuste do foco da luz, esse processo é chamado de acomodação e é fundamental para que se tenha uma visão nítida em diferentes distâncias.
- Nervo ótico: seu papel é transmitir os sinais visuais obtidos pela retina até o cérebro para serem processados e interpretados.
- Retina: é o tecido responsável por realizar a conversão da energia luminosa em atividade neural. Suas principais funções são a captura de luz, o processamento e a transmissão das informações visuais e a conversão de energia luminosa em sinais elétricos.

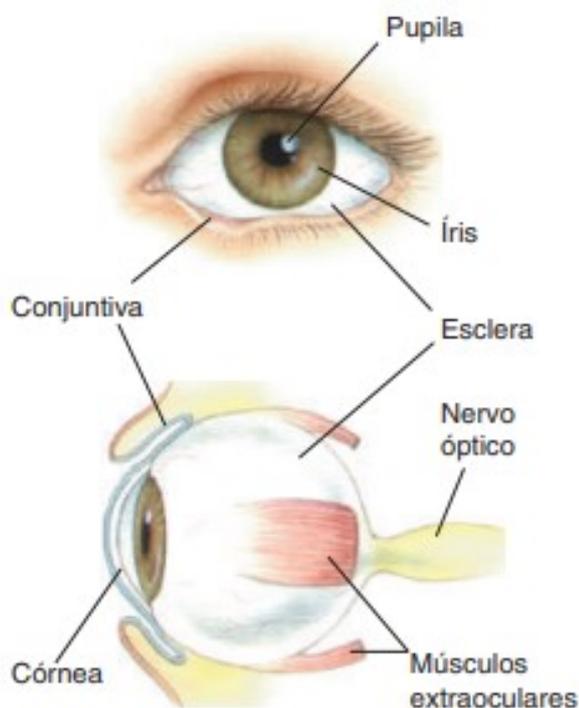


Figura 11 – Anatomia geral do olho humano. Fonte: (BEAR; CONNORS; PARADISO, 2017).

A luz então é percebida e interpretada pelo cérebro através da retina, que é um agente fotorreceptor. Existem dois tipos de fotorreceptores encontrados nas retinas: os fotorreceptores do tipo bastonete e do tipo cones. Os cones estão localizados no centro do campo visual, são responsáveis pela visão em condições de maior iluminação, como a visão diurna, possuem o papel de permitir a visão em cores e percepção e distinção de detalhes finos. Já os bastonetes se localizam no periférico do campo de visão, são mais sensíveis a movimentos e a pouca iluminação, como ambientes noturnos ou escuros, além de serem mais numerosos do que os cones. Estima-se que em cada retina humana exista cerca de 92 milhões de bastonetes e 5 milhões de cones (MOREIRA, 1999).

Guido Stolfi (2018) afirma que existem dois mecanismos diferentes para a percepção visual variando conforme a disponibilidade de luz no ambiente: a visão escotópica e fotópica. A visão chamada escotópica acontece em condições de pouca iluminação, apresentam pouca nitidez e normalmente a percepção das cores é dada apenas em tonalidades de cinza. Já a visão fotópica é a visão em condições de iluminação intensa, na qual é possível a diferenciação de cores. Na figura 12 é possível perceber que o pico de sensibilidade espectral da visão escotópica é dada em 508nm e da visão fotópica 555nm.

Como citado anteriormente, os bastonetes não diferem as cores e seu pico de sensibilidade ocorre no comprimento de onda de 500nm. Nessas condições, os objetos aparentam ser em tons de azul-esverdeado escuro. De maneira oposta, os cones são sensíveis à cores e podem ser divididos em três tipos de cones dependendo da gama do comprimento de onda (figura 13). Conforme explica Lopes (2013), existem cones sensíveis à luz na zona

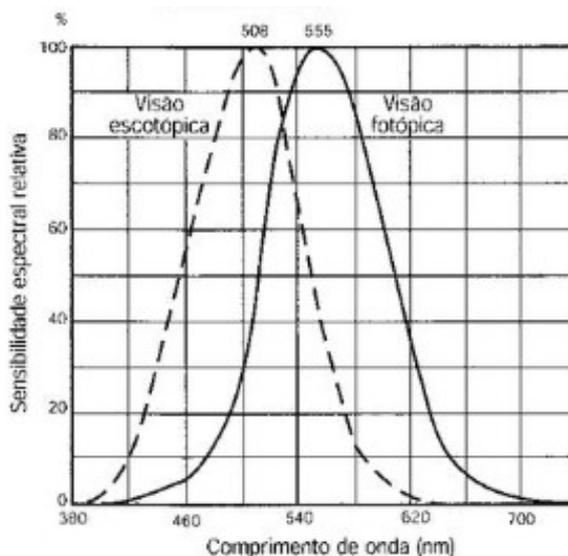


Figura 12 – Sensibilidade Espectral relativa para visão escotópica e fotópica. Fonte: (MO-REIRA, 1999).

“do vermelho” ou com comprimento de ondas longos com pico em aproximadamente 560nm; cones sensíveis à luz na zona “do verde” ou com comprimentos de ondas intermediários, com pico em 530nm; e cones sensíveis à luz na zona “azul” ou com comprimentos de onda baixos, com pico em 430nm. Normalmente, os tipos de cones são chamados de cones grandes, médios e curtos, respectivamente a percepção das cores é determinada pela contribuição combinada de cada tipo de cone para o sinal na retina.

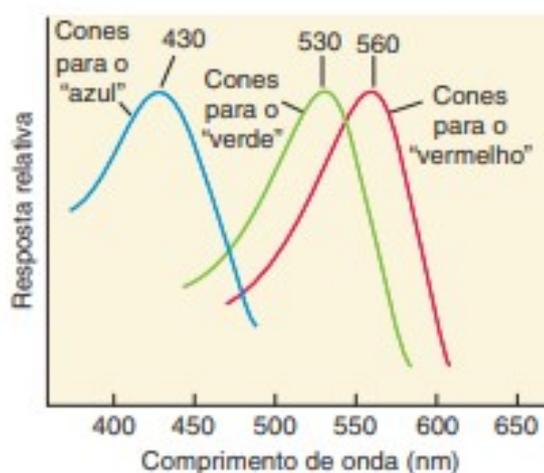


Figura 13 – Sensibilidade dos cones presentes na retina de acordo com o comprimento de onda. Cones S (curtos), M (médios) e L (grandes) respectivamente. Fonte: (BEAR; CONNORS; PARADISO, 2017).

2.3 Ciclo Circadiano e Saúde

Nos primórdios da humanidade, o homem sentiu a necessidade de encontrar uma forma de prolongar seu tempo de realização de tarefas que dependiam do seu esforço visual, já que essas tarefas só poderiam ser realizadas enquanto houvesse a presença da luz solar. O domínio do fogo possibilitou inúmeras vantagens aos nossos ancestrais como o uso culinário, segurança na proteção de predadores e, a mais importante ao se tratar do foco desse trabalho, o início da iluminação artificial.

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).

Apesar do conceito do domínio do fogo e do ciclo circadiano serem distintos eles estão indiretamente relacionados. O ritmo biológico sofre grande influência do ambiente e ações ao qual é exposto. Para Santos (2017), quanto maior for o tempo e a intensidade de exposição à luminosidade de um determinado ambiente, menor será a sensibilidade do seu ritmo circadiano no período da noite. Logo, com o desenvolvimento de novas formas de iluminação artificiais, o homem se viu cada vez mais imerso em ambientes fechados, sem a presença de luz natural e perdendo a referência do ciclo claro-escuro natural.

É chamada de Cronobiologia a disciplina que estuda a organização temporal dos seres, ou seja, seus ritmos biológicos. Além do ciclo circadiano que se reinicia a cada dia, existem outros ciclos biológicos que acontecem em paralelo com frequências diferentes. Existem também os ciclos infradianos, que acontecem em períodos maiores que 24 horas como o ciclo menstrual das mulheres, e os ciclos ultradianos que acontecem em períodos menores que 20 horas como secreção de alguns hormônios.

Além de estar ligado ao ciclo de sono, existem alguns outros aspectos em que os ritmos circadianos também interferem diretamente como o ritmo de atividades, de repouso, os níveis de alguns hormônios como melatonina e cortisol e o horário de alimentação (MARTAU, 2009).

É muito importante ao se realizar um projeto de iluminação sempre atentar-se ao excesso ou falta de iluminação, a intensidade do brilho que a lâmpada a ser usada irá emitir e sua temperatura de cor pois esses são fatores que podem causar danos à saúde do usuário. Ao se falar sobre conforto lumínico, ou seja, o conforto em se ter a melhor condição de iluminação no ambiente para exercer tarefas com menor esforço e maior acuidade visual, existem algumas alterações comportamentais ou fisiológicas envolvidas, como por exemplo: a fadiga visual, dores de cabeça, dificuldades de concentração e cansaço (LIMA et al., 2019).

A definição de um padrão do ciclo “claro-escuro” é muito importante para que a

produção hormonal aconteça da maneira que deve ser. A melatonina é um dos hormônios que podem sofrer esses impactos, ela é produzida pela glândula pineal durante o período escuro, temporizando as atividades do organismo (MARKUS; JUNIOR; FERREIRA, 2003).

A fisiologia da secreção da melatonina pode ser observada na figura 14. De acordo com Filho (2018),

“a produção e secreção da melatonina são mediadas principalmente por fibras nervosas pós-ganglionares que passam através do trato retino-hipotalâmico aos núcleos supraquiasmático. Em seguida passam para o gânglio cervical superior e, finalmente, a glândula pineal. Esse sistema neural é ativado pela ausência e reprimido pela incidência de luz na retina.”

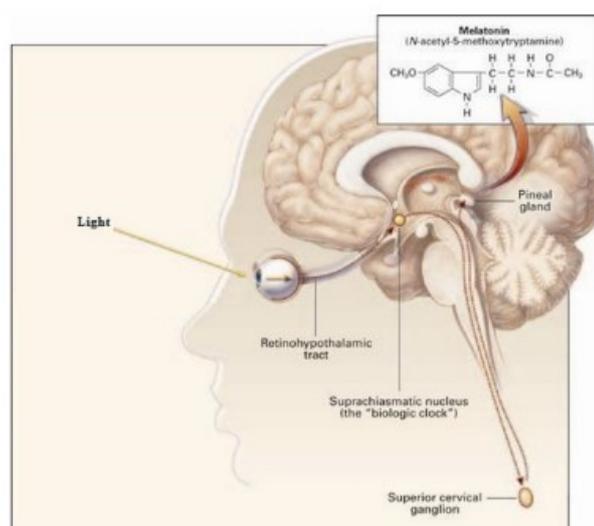


Figura 14 – Fisiologia da secreção do hormônio melatonina. Fonte: (FILHO, 2018)

Outro hormônio que também está ligado aos ciclos biológicos é o cortisol. Esse é conhecido como hormônio do estresse e é secretado quando o indivíduo se encontra em situações de estresse físico ou psicológico.

Reinhardt (2013) afirma que pessoas imersas em ciclos de vigília diurna e sono noturno apresentam a mínima secreção rítmica de cortisol durante a primeira metade do sono durante a noite e aumenta durante a segunda metade durante a madrugada.

As concentrações de cortisol são mais altas no início da manhã e mais baixas próximo ao fim da tarde até o período da noite e por ser controlado pelo relógio biológico no núcleo supraquiasmático entende-se que sua concentração tem influência direta da luz. (MARTAU, 2009)

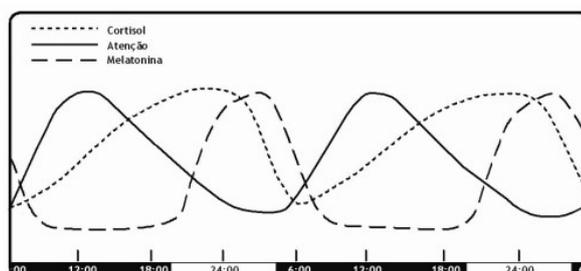


Figura 15 – Gráfico que apresenta os ritmos seguidos pelos hormônios cortisol e melatonina e o estado de atenção em relação ao horário do dia. Fonte: (MARTAU, 2009)



Figura 16 – Relógio circadiano e respostas fisiológicas ao longo do dia. Fonte: (AZUOS, 2023)

3 Desenvolvimento

3.1 Automação residencial e Iluminação Inteligente

No mundo atual cada vez mais moderno, surgem sempre novas tecnologias que habilitam melhorias e novas funcionalidades para os dispositivos que se tem. A automação residencial tem uma grande importância para os usuários, já que permite tornar mais prática a execução de tarefas e determinadas funções que antes tinham que ser feitas de maneira manual e demorada. Isso não aumenta apenas o conforto para o usuário, como também a segurança, eficiência.

O crescimento exponencial desse tipo de tecnologia vem sendo impulsionado principalmente pelos avanços na eletrônica e computação, podendo contribuir na transformação de casas em espaços inteligentes e interconectados. Os moradores das residências inteligentes têm por consequência um controle cada vez maior sobre seus ambientes, já que é habilitada também a capacidade de controlar a iluminação, temperatura, aparelhos e diversos outros sistemas por meio de aplicativos, dispositivos ou comandos de voz.

Outro benefício da domótica é que ela não só simplifica as atividades diárias, mas também está relacionada a economia de energia, reduzindo o desperdício e os custos associados ao consumo desnecessário.

Como resultado, a integração da automação nas residências não apenas reflete a evolução tecnológica, mas também molda a maneira como o ser humano vive e interage com os espaços. À medida que os dispositivos se tornam mais acessíveis e as funcionalidades mais sofisticadas, como por exemplo com o uso de Internet das Coisas (IoT) e a inteligência artificial (IA) surgem possibilidades ilimitadas do que ser feito. Com o uso de IoT, as informações estão sendo transmitidas em tempo real entre os dispositivos e permitindo a conectividade entre eles. Por sua vez, a IA está permitindo que os dispositivos aprendam e se adaptem, coletando dados e ajustando de forma automática para atender ao usuário.

Para que se tenha uma casa inteligente, que consiga gerir os dispositivos e tecnologias integradas é preciso levar em conta alguns pontos:

- Planejamento do que se pretende com a automação residencial, definição das metas e objetivos, como por exemplo: melhorar a segurança da residência, otimizar o sistema de iluminação, permitir o controle de dispositivos.
- Selecionar os dispositivos e tecnologias que atendam os objetivos estabelecidos, buscando no mercado lâmpadas inteligentes, fechaduras e câmeras com controle a distância, sensores, entre outros.

- Definir a plataforma de controle responsável por gerenciar os dispositivos conectados, seja via aplicativo, painel de controle, assistente de voz.
- Fazer a instalação e configuração dos dispositivos, se atendendo à infraestrutura elétrica e de rede necessária para o funcionamento.

3.1.1 Iluminação Inteligente

A iluminação inteligente é a técnica que busca otimizar formas de iluminação levando em conta o fator de conforto lumínico e eficiência energética. É preciso aliar a iluminação natural presente no ambiente juntamente a iluminação artificial para que essa sirva de complemento e torne o sistema eficiente e mais saudável ao se analisar as questões envolvidas.

Existem dispositivos que habilitam a aplicação da AR para melhorar e otimizar a experiência do usuário com a iluminação da residência:

- **Lâmpadas Inteligentes:** são lâmpadas que apesar de trabalharem da mesma forma do que as lâmpadas comumente usadas possibilitam o controle à distância ou sem a necessidade de andar até o interruptor para acioná-la. Algumas permitem ainda o controle de cor, intensidade de brilho, ajuste de temperatura de cor e criação de rotinas de acionamento. São comandadas via Wi-fi e por serem principalmente luzes de LED proporcionam também menor consumo de energia. O uso desse tipo de lâmpada permite que o usuário crie rotinas com horários e intensidades da luz, como por exemplo durante o início da noite ir diminuindo a intensidade favorecendo o ciclo circadiano.
- **Lâmpadas Comuns:** as lâmpadas comuns não estão descartadas desse tipo de tecnologia, é possível utilizar interruptores inteligentes que trazem a facilidade de ligar ou desligar luzes para o celular ou assistentes de voz.

Existem também outras formas de oferecer ao usuário o controle de variáveis como intensidade das lâmpadas, por exemplo por meio de dimmers.

Como parte do objetivo deste trabalho foi desenvolvido um projeto de dimmerização de lâmpadas com controle da intensidade luminosa utilizando um aplicativo chamado ESP RainMaker.

A montagem utiliza os seguintes componentes:

- **Microcontrolador ESP32:** O ESP32 é um microcontrolador - um componente eletrônico que integra um processador, memória, portas de entradas ou saídas e módulo de comunicação - comumente usado para conectar projetos de automação residencial

à internet de forma mais fácil e mais viável financeiramente. A conectividade do ESP32 é realizada por meio de dois módulos de integração que já vem integrados ao chip, o protocolo bluetooth e wi-fi. Sua linguagem de programação é C/C++ e pode ser programado pela interface Arduino IDE.([SILVA, 2021](#))

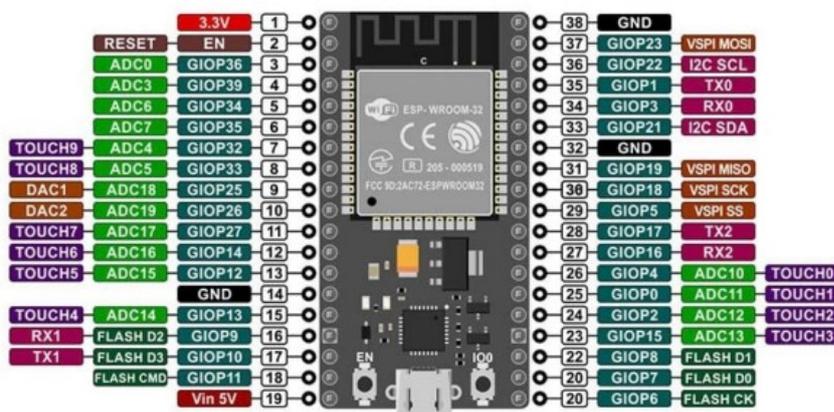


Figura 17 – Pinagem do microcontrolador ESP32. Fonte: [Albuquerque \(2023\)](#)

- Módulo Dimmer DM02A: O Módulo Dimmer 2 canais bivolt é utilizado para automatizar lâmpadas e ventiladores utilizando um microcontrolador à escolha como o Arduino, ESP32, ESP8266 e etc. Possui 70 níveis de dimerização para cada canal e para o ajuste do nível é preciso enviar um pulso no intervalo de 500 a 35000 μ S, em que 500 μ S corresponde ao nível 1.

O módulo conta com seis bornes do lado esquerdo aonde é ligada à rede de alta tensão (fase e neutro/fase e neutro da saída 1/ fase e neutro da saída 2), podendo ligar uma lâmpada em cada saída. No lado direito da placa têm-se nove bornes que são ligados ao microcontrolador (GND referência 0V; VCC que recebe a tensão de 3V 5V; SIG que faz o envio do pulso; CH que seleciona para qual canal o pulso será enviado; EN que habilita ou desabilita o recebimento dos pulsos pelo borne SIG, serve para usar mais de um módulo em conjunto; B1 + e B1- são entradas para botões pulsadores referentes ao ajuste do canal 1; B2+ e B2- são entradas para botões pulsadores referentes ao ajuste do canal 2). Além disso, o módulo conta com quatro botões para controle manual direto na placa sendo dois botões para cada canal, três LEDs para indicar funcionamento (ON, canal 1 e canal 2).

O chaveamento do módulo é feito por meio do controle do ângulo de disparo dos tiristores (TRIAC) internos da placa e pode ser aplicado no controle de intensidade de brilho de lâmpadas incandescentes, fluorescentes, lâmpadas de LED dimerizáveis, lâmpadas dicricas e em ventiladores (informações fornecidas pelo fabricante ([MSSELETRÔNICA, 2023](#))).

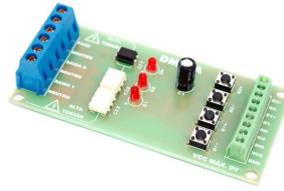


Figura 18 – Módulo Dimmer DM02A. Fonte:([MSSELETRÔNICA, 2023](#))

- Protoboard: É uma placa que possui furos e conexão utilizada para a montagem de circuitos eletrônicos.
- Potenciômetro 250K: É um componente de resistência elétrica variável. Contém três terminais sendo o da esquerda ligado ao GND, o do meio ligado a uma porta do microcontrolador e o da direita ligado a VCC.

Ao girar o potenciômetro será possível aumentar ou diminuir manualmente a intensidade luminosa da lâmpada de acordo com o sentido de giro do eixo. No sentido anti-horário a potência luminosa diminui e no sentido horário aumenta. Por ser um componente analógico, o código faz uma média das leituras no pino de entrada para melhor controle, sendo assim pode-se ter um *delay* após o giro.

- Aplicativo ESP RainMaker: O ESP RainMaker é uma plataforma desenvolvida pela Espressif (assim como os módulos ESP8266 e ESP32) que possibilita o ajuste remotamente de dispositivos de forma simples. Após a implementação do código no ESP32 é possível fazer o controle remotamente e em tempo real utilizando a solução em nuvem da Espressif, permitindo também a integração com assistentes virtuais como Alexa e Google Assistente.

Para habilitar o uso dessa funcionalidade, é preciso ter instalada a placa esp32 na IDE do Arduino e configurar o campo “*Partition Scheme*”, que é encontrado dentro do menu ferramentas da IDE, para a opção “RainMaker”.

Após essa configuração, ao compilar o código é gerado no Monitor Serial da IDE um QR Code e um link de acesso ao dispositivo à ser controlado pelo aplicativo. Em seguida, é necessário conectar o dispositivo à rede wi-fi para que os dados trafeguem em tempo real.

É apresentado na figura 19 a montagem no protoboard de parte do projeto. À esquerda da imagem é possível ver o potenciômetro ligado ao VCC, ao GND e a porta D33 do ESP32. O conector borne posicionado à direita está conectado ao módulo dimmer nas saídas SIG e CH e ligado nas portas D23 e D22, respectivamente, do microcontrolador. Já o borne posicionado no centro do protoboard está conectado às saídas VCC e GND no módulo dimmer e também nas mesmas portas do ESP32.

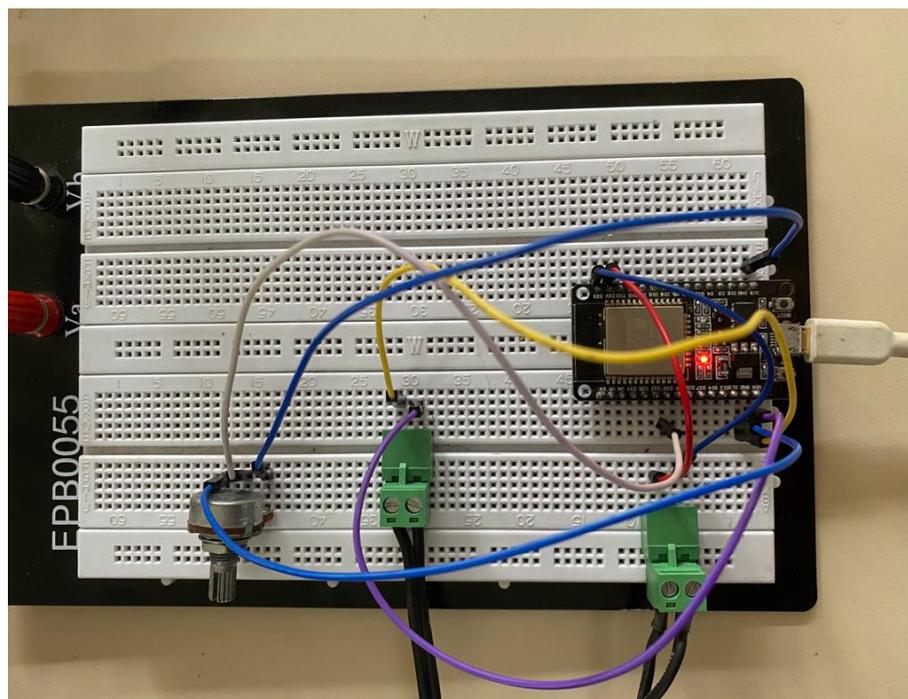


Figura 19 – Montagem no protoboard do projeto prático.

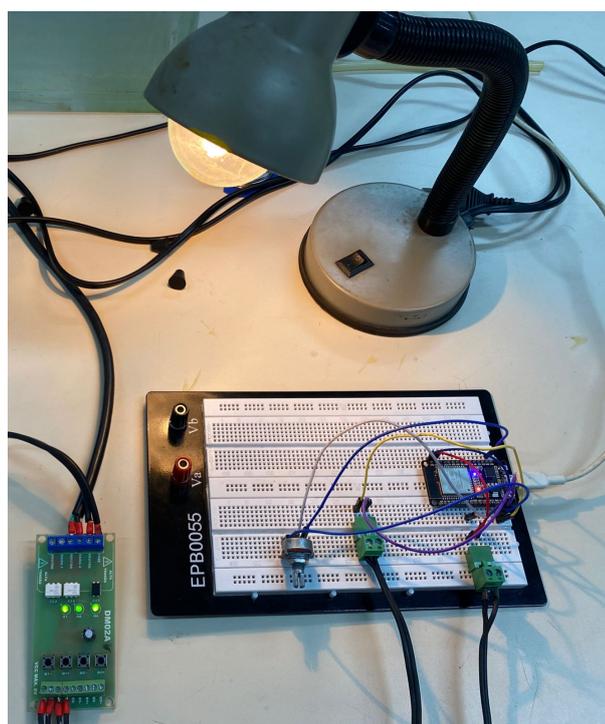


Figura 20 – Montagem completa do projeto prático com o módulo dimmer e a luminária.

Na figura 20 é indicada a montagem completa do projeto da lâmpada inteligente. Na esquerda está o módulo dimmer DM02A conectado na parte inferior aos bornes em verde no protoboard e na parte superior conectado a rede de alta tensão e a lâmpada.

O controle pode ser feito então por meio do potenciômetro de forma manual ou pelo

aplicativo da ESP RainMaker. A tela de controle da lâmpada chamada de “Lamp1” pode ser visualizada na figura 21, nela o valor enviado para o módulo é de nível 34, ou seja, envia um pulso na porta SIG de $17000\mu s$.

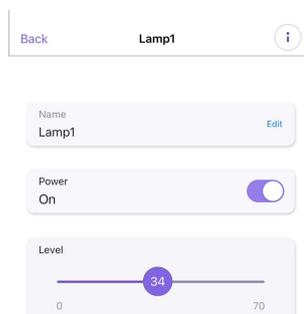


Figura 21 – Interface de controle da intensidade da luz no aplicativo da ESP RainMaker.

O código implementado no trabalho está disponível com os devidos comentários e pode ser consultado através de um repositório do GitHub.¹

3.2 Projeto Luminotécnico

A norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 / 2013 especifica os requisitos de iluminação para locais de trabalho internos e os requisitos para que as pessoas desempenhem tarefas visuais de maneira eficiente, com conforto e segurança durante todo o período de trabalho. Como ela não faz referências à iluminação residencial, serão adotadas, como de costume, as recomendações da antiga norma NBR 5413 conforme apresentado na tabela 1.

Para se definir um projeto de iluminação residencial é preciso que previamente seja feito um estudo elaborado tomando como base o efeito de luz desejado para cada cômodo. Em seguida, devem ser feitos os levantamentos acerca do ambiente à ser estudado, suas dimensões, características de infraestrutura e materiais usados. Após essa etapa, é preciso fazer uma pesquisa de mercado em busca das melhores lâmpadas e luminárias mais adequadas para o projeto para que então, sejam feitos os cálculos luminotécnicos para definir a quantidade e disposição no local das luminárias, a avaliação do consumo energético das mesmas e o cálculo de rentabilidade do projeto.

¹ [Link do repositório no GitHub.](#)

Tabela de Iluminâncias para Residências - NBR5413
Sala de estar geral: 100 - 150 - 200
Sala de estar local: 300 - 500 - 750
Cozinha geral: 100 - 150 - 200
Cozinha local: 200 - 300 - 500
Quartos de dormir geral: 100 - 150 - 200
Quartos de dormir local: 200 - 300 - 500
Banheiros geral: 100 - 150 - 200
Banheiros local: 200 - 300 - 500
Hall, escadas, despensas, garagens geral: 75 - 100 - 150
Hall, escadas, despensas, garagens local: 200 - 300 - 500

Tabela 1 – Tabela de Iluminâncias para residências segundo a NBR5413.

Nesse trabalho será feito um estudo de caso de uma edificação demonstrativa, considerando apenas os seguintes cômodos de uma casa:

- Quarto 1 - quarto de casal com área $A_{Q_1} = 16,77m^2$
- Sala de Estar - sala com área $A_{S_E} = 16,77 m^2$
- Cozinha - cozinha com área $A_C = 16,38m^2$
- Sala de Jantar - sala de jantar com área $A_{S_J} = 16,38m^2$
- Banheiro - banheiro com área $A_B = 4,35m^2$

O layout da planta pode ser melhor visualizado na figura 22.

Para efeitos didáticos e por se tratar de uma situação hipotética, o piso dos quartos e da sala de estar a ser utilizado será um piso laminado amadeirado de cor clara e nos demais cômodos o piso será um porcelanato acetinado de cor branca conforme mostrado na figura 23.

As paredes dos quartos serão pintadas em uma tonalidade de azul escuro. As paredes da sala de estar serão pintadas de cinza claro e a cozinha/sala de jantar serão pintadas de branco. No banheiro e na área de serviço terá um revestimento também na cor branca. Todos os tetos da casa serão de cor branca, as janelas terão 2m de comprimento exceto pela janela do banheiro que tem 0,75cm.

Para realização dos cálculos do projeto luminotécnico, o método empregado será o Método dos Lúmens definido pela Comissão Internacional de Iluminação (CIE). [Kawasaki \(2012\)](#) define que esse método de cálculo fornece um resultado único de iluminância para o ambiente em função das características do ambiente e do efeito lumínico desejado.

Os cálculos serão feitos de acordo com o cômodo da residência e o efeito desejado. Em seguida, serão propostos tipos de luminárias/lâmpadas que atendam as especificações obtidas pelo método e aplicações de automação residencial para o ambiente.

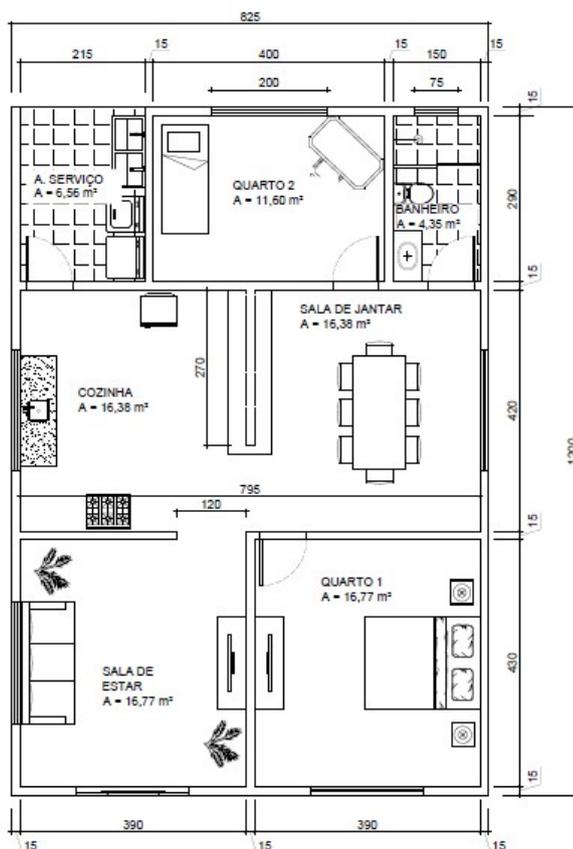


Figura 22 – Planta da edificação demonstrativa. Fonte: Elaborada pela autora.



Figura 23 – Tipo do piso a ser usado na casa: laminado amadeirado para os quartos e sala de estar; porcelanato acetinado de cor branca para os demais cômodos. Fontes: (LEROY MERLIN, 2023); (PORCELANATO..., 2023)

Para iniciar os cálculos é preciso que se tenha o levantamento das dimensões do ambiente, a classificação para o cômodo segundo a NBR5413, a definição dos índices de reflexão das superfícies (piso, paredes e teto) e a periodicidade da manutenção do local baseada na tabela de fator de depreciação.

Com esses dados já levantados, a próxima etapa consiste em fazer o cálculo do índice do recinto analisado. Em seguida, definir quais os equipamentos a serem utilizados,

as características das lâmpadas e luminárias, como a curva de intensidade luminosa, o fluxo e eficiência luminosa.

Após a definição, é feita então a determinação do fator de utilização da luminária, tomando como base o valor de K_d obtido para o índice de recinto. Essa etapa deve ser consultada no manual do fabricante da luminária.

Por fim, é preciso fazer o dimensionamento da quantidade de luminárias (equação 3.1) e a distribuição delas pelo espaço.

$$N = \frac{n \cdot \phi_n \cdot U \cdot F_d \cdot FFL}{A \cdot E_{med}} \quad (3.1)$$

Onde N é o número necessário de luminárias, n é o número de lâmpadas em cada luminária, ϕ_n é o fluxo luminoso de cada lâmpada em lm, F_d é o fator de depreciação ou de manutenção, FFL é o fator de fluxo luminoso do reator e E_{med} é a iluminância média.

A seguir, serão feitas as análises do projeto luminotécnico utilizando o *software* DIALux na sua versão *Mobile* para celular e desconsiderando a iluminação natural advinda das janelas.

Para a criação do projeto pelo DIALux *Mobile* é preciso passar as medidas do quarto em metros (largura, comprimento e altura), definir qual o tipo de uso do cômodo (escritório, sala de aula, área de circulação, lojas, depósitos, residencial ou a definir pelo usuário) e o fator de manutenção (0,5 sujo; 0,57 muito sujo; 0,67 limpo; 0,80 muito limpo).

Existe ainda um campo para preencher detalhes adicionais contendo: o valor alvo para iluminância em lx, a altura do plano de trabalho dado em metros e os valores de refletância do teto, paredes e piso em %.

A próxima etapa é fazer a busca pela luminária que o usuário achar mais interessante para o seu projeto. O aplicativo apresenta um campo para filtrar os fabricantes da busca, o campo de modo de instalação da luminária (sobrepor ao teto, embutido no teto, pendente/lustre, em grande), a forma de distribuição da luz (focal/spot, retangular, difusa ou assimétrica), uma seleção de valores para a temperatura de cor em K procurada (2800 a 6000K), valor da potência da lâmpada (0 a 88000, o valor do fluxo luminoso dado em lm (0 a 9999999)), o campo de *IP code* - grau de proteção a fatores externos como poeira e água, *IK rating* e por último é possível escolher se a luminária será em formato retangular ou redonda e passar as medidas referentes ao formato escolhido.

Após o preenchimento de todos os campos são exibidas as luminárias que atendam aos critérios preenchidos nos campos anteriores.

3.2.1 Sala de Estar

A sala de estar da residência é um cômodo retangular com medidas 3,90m de largura e 4,30m de comprimento. Na sala existem duas janelas, um sofá, algumas plantas

decorativas e um painel com televisão.

Por se tratar de um ambiente à ser usado para descanso, receber pessoas e para assistir televisão, o efeito proposto é de proporcionar uma sensação de aconchego para os usuários. Sendo assim, as lâmpadas escolhidas possuem temperatura de cor mais baixa, cerca de 3000K.

A seguir é possível ver as informações passadas para o aplicativo (Figuras 24 e 25):

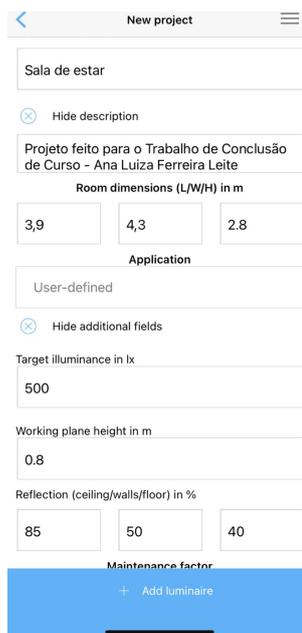


Figura 24 – Parâmetros passados para o aplicativo para o projeto da Sala de Estar. Fonte: Elaborada pela autora.

Conforme estabelecido pela NBR5413, a iluminância para salas de estar pode variar entre 300 a 750lx, então o valor alvo escolhido foi $E=500\text{lx}$. A altura do plano de trabalho considerado para esse ambiente foi de 0,8m e os índices de reflexão foram 85/50/40 respectivamente para teto/paredes/chão levando em consideração as definições de pintura e piso estabelecidas anteriormente.

Após análise das opções fornecidas pelo aplicativo, optou-se pela luminária escolhida já que ela atenderia aos requisitos necessários e ficaria visualmente adequada à proposta da residência.

A fonte de iluminação escolhida foi a seguinte: **Luminária LUNA BIS DY-NAWHITE 1530 5367061 da marca ES-SISTEM**. Características²:

- Quantidade: 2 luminárias
- Tipo: LED

² Maiores dados podem ser visualizados no Anexo G desse documento.

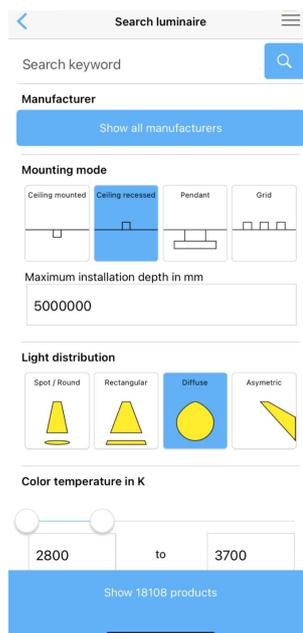


Figura 25 – Dados adicionais passados para a definição do tipo de iluminação a ser usada na sala. Fonte: Elaborada pela autora.

- Fluxo luminoso: 8000lm
- Potência: 103W
- IRC: 80
- Eficiência Energética: 77.7 lm/W
- Temperatura de cor variável 3000-5000K
- Iluminação que leva em conta o ciclo circadiano humano para fornecer a luz artificial. Usa tecnologia avançada para gerar luz que consegue variar como o espectro solar durante as fases do dia.
- Instalação embutida no teto.
- Vida útil 127000h.
- IP20 - proteção contra poeira.

São definidas também as posições aonde devem ser colocadas as luminárias conforme pode se observar na figura 27.

Com a iluminação proposta pelo DIALux o valor de iluminância obtido ao final (543 lx) atende o que foi proposto pela norma (500lx).

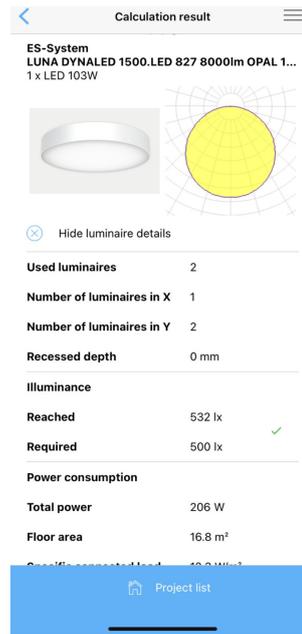


Figura 26 – Luminária definida para a sala e detalhes obtidos após o cálculo pelo aplicativo.
Fonte: Elaborada pela autora.

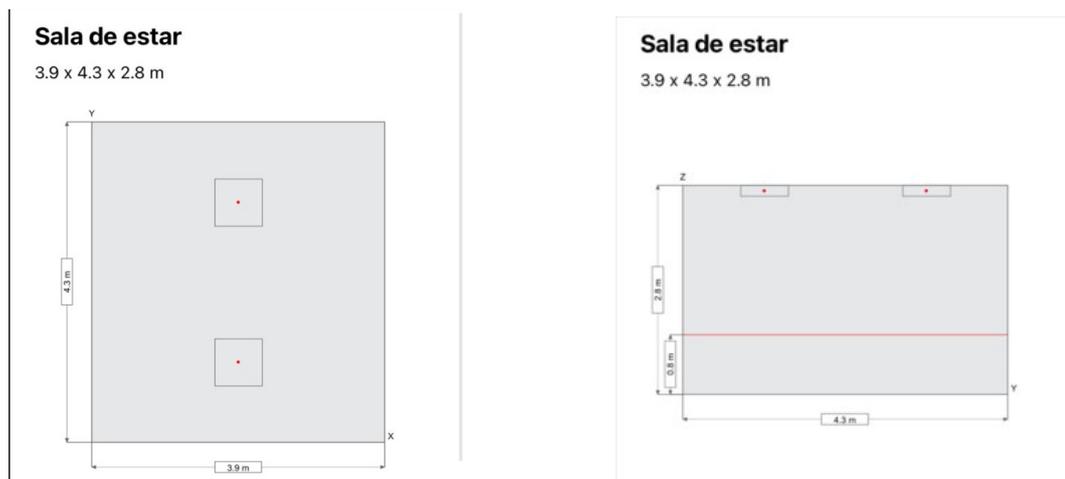


Figura 27 – Posições aonde as luminárias devem ser instaladas na sala de estar. Fonte: Elaborada pela autora.

3.2.2 Quarto 1

O quarto 1 é o quarto de casal da residência e apresenta medidas iguais as da sala (3,90x4,30m). No quarto possui uma janela e os móveis são a cama de casal, duas mesas de cabeceira com iluminação auxiliar posicionadas uma em cada lado da cama e um painel com TV.

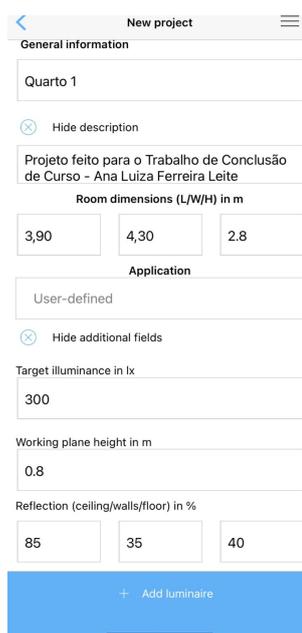
Esse cômodo é utilizado principalmente para descanso e relaxamento, logo exige uma iluminação com temperaturas mais baixas para que o corpo consiga entender o efeito proposto. As luminárias de cabeceira servem para flexibilizar um pouco para o usuário em caso de atividades como leitura e escrita, já que dispensam o acendimento da iluminação

geral do ambiente. Por esse tipo de iluminação não fazer parte direta do projeto ela não foi levada em conta nos cálculos, porém, a recomendação ao se escolher é de atentar-se com a altura do fecho de lux para que esteja abaixo do campo de visão.

Para a iluminação geral do quarto, optou-se por buscar por uma luminária/lâmpada com temperatura de cor variável, para que o usuário ajuste conforme necessidade. Dependendo da atividade realizada no ambiente, pode-se fazer necessário a iluminação com temperaturas de cor mais fria para melhor visualização, como troca de roupas ou maquiagem.

A NBR5413 estabelece que para quartos de dormir a iluminância pode variar entre 100 a 500 lx, sendo assim, o valor referência usado foi de $E=300\text{lx}$. A altura do plano de trabalho considerada para esse ambiente foi de 1,0m e os índices de reflexão tomando como base as cores de pintura e piso passados no início dessa seção foram de 85/35/40 (teto/paredes/chão).

Nas figuras 28 e 29 é possível observar os parâmetros passados para o aplicativo para o cálculo e definição da iluminação do quarto 1.



The screenshot shows a mobile application interface titled "New project". The form is divided into several sections:

- General information:** A text input field containing "Quarto 1".
- Hide description:** A toggle switch that is currently turned on.
- Description:** A text input field containing "Projeto feito para o Trabalho de Conclusão de Curso - Ana Luiza Ferreira Leite".
- Room dimensions (L/W/H) in m:** Three input fields containing the values "3,90", "4,30", and "2.8".
- Application:** A dropdown menu with "User-defined" selected.
- Hide additional fields:** A toggle switch that is currently turned on.
- Target illuminance in lx:** An input field containing "300".
- Working plane height in m:** An input field containing "0.8".
- Reflection (ceiling/walls/floor) in %:** Three input fields containing the values "85", "35", and "40".

At the bottom of the form is a blue button with a plus sign and the text "+ Add luminaire".

Figura 28 – Parâmetros passados para o aplicativo para o projeto do Quarto 1. Fonte: Elaborada pela autora.

Com os parâmetros já definidos no aplicativo e a característica de ter uma lâmpada dimerizável no recinto, foi realizada então a busca pela luminária que atendessem aos critérios passados. Sendo assim, a luminária escolhida foi: **Luminária LARGE LED PANEL LIGHT USES DIMMER FPL-3030T-DIM** do fabricante MPE. Características:

- Quantidade: 2 luminárias

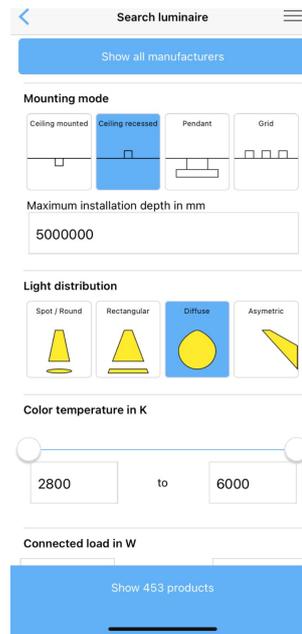


Figura 29 – Dados adicionais passados para a definição do tipo de iluminação a ser usado no quarto 1. Fonte: Elaborada pela autora.

- Tipo: LED
- Fluxo luminoso: 1800lm
- Potência: 20W
- IRC: 80
- Eficiência Energética: 288 lm/W
- Temperatura de cor variável 2800-6500K
- Dimerizável.
- Instalação embutida no teto.
- IP 20 - proteção contra poeira.

Na figura 31 é possível observar a disposição das luminárias pelo quarto.

De maneira semelhante à sala, o valor de iluminância obtido com o uso das luminárias selecionadas foi atendido (348 lx) e ainda permaneceu dentro do estipulado pela norma (100-500lx).

3.2.3 Cozinha e Sala de Jantar

A chamada cozinha americana consiste num estilo de integração o qual conjuga no mesmo espaço a cozinha com a sala de jantar. Esse é o cômodo de maior área da casa e

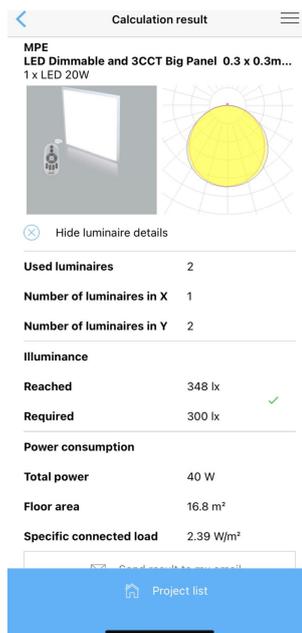


Figura 30 – Luminária definida para o quarto 1 e os detalhes obtidos após o cálculo pelo aplicativo. Fonte: Elaborada pela autora.

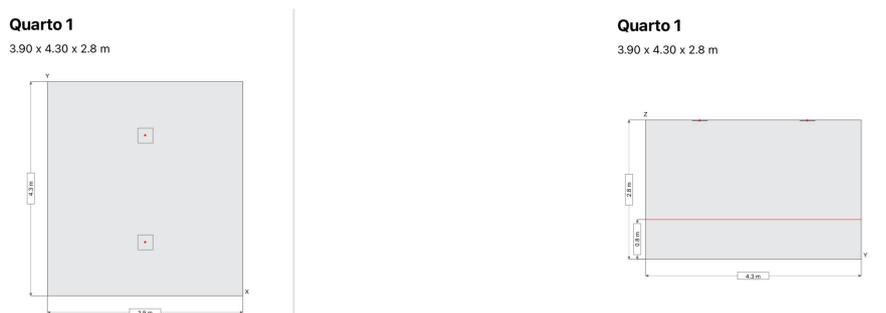


Figura 31 – Posições aonde as luminárias devem ser instaladas no quarto 1. Fonte: Elaborada pela autora.

suas medidas de largura e comprimento são respectivamente 7,95m e 4,20m. No espaço reservado para a cozinha propriamente dita têm-se um fogão, uma pia com bancada, uma geladeira e a bancada que divide os dois espaços do ambiente. No espaço da sala de jantar têm-se uma mesa com 8 assentos.

Na cozinha, normalmente são utilizadas lâmpadas de potências mais altas, índice de rendimento cromático acima de 80 e temperatura de cor mais elevada já que é um local com tarefas de maior esforço visual como corte, limpeza de alimentos e etc.

Segundo a NBR5413, cozinhas precisam ter iluminância variando entre 100 a 500lx, então o valor alvo escolhido foi 400lx. A altura do plano de trabalho considerado foi de 1,0m e os índices de reflexão foram 85/50/80 para teto, paredes e chão respectivamente.

Os parâmetros passados para o DIALux podem ser melhor observados nas figuras 32 e 33.

Figura 32 – Parâmetros passados para o aplicativo para o projeto da Cozinha/Sala de Jantar. Fonte: Elaborada pela autora. Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 33 – Dados adicionais passados para a definição do tipo de iluminação a ser usado na cozinha/sala de jantar. Fonte: Elaborada pela autora.

Com as definições pré-estabelecidas no aplicativo, após a seleção das luminárias a escolhida foi: **Luminária Lina80 11-531M-50GEE/840 do fabricante Halla. Características³:**

- Quantidade: 2 luminárias

³ Maiores dados podem ser visualizados no Anexo E desse documento.

- Tipo: LED
- Fluxo luminoso: 12430lm
- Potência: 100W
- IRC: 80
- Eficiência Energética: 124 lm/W
- Temperatura de cor: 4000K
- Instalação: tipo pendente
- IP20 - proteção contra poeira

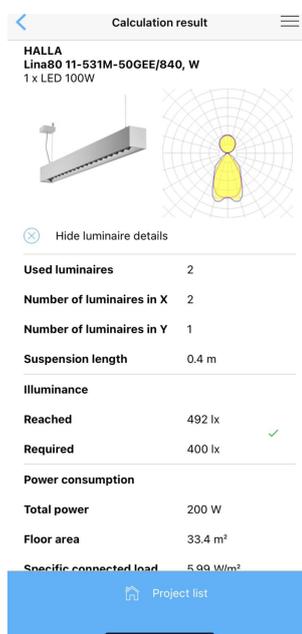


Figura 34 – Luminária definida para a cozinha e sala de jantar e os detalhes obtidos após o cálculo pelo aplicativo. Fonte: Elaborada pela autora.

O valor de iluminância obtido com o uso das luminárias selecionadas (492 lx) permaneceu dentro dos limites definidos pela NBR5413 (100-500lx).

Na figura 35 é possível visualizar a posição das luminárias no ambiente.

Por conta de o projeto ser elaborado de forma mais generalizada não se entrou tanto em detalhes em outras formas de iluminação para esse ambiente. Porém, seria interessante também acrescentar alguns outros pontos de iluminação nesse ambiente da seguinte forma:

- Uso de fitas de LEDs embaixo dos armários aéreos iluminando a bancada de forma uniforme e minimizando a formação de sombras nessa área. Temperatura de cor mais alta/fria para melhor visualização das tarefas.



Figura 35 – Posições aonde as luminárias devem ser instaladas na cozinha/sala de jantar.
Fonte: Elaborada pela autora.

- Uso de pendentes decorativos sobre a bancada que divide os dois ambientes e pode ser usada para refeições rápidas. Temperatura de cor mais baixa/quente para trazer uma sensação de conforto.
- Uso de pendentes com lâmpadas de que provoquem uma iluminação mais pontual e decorativa nessa área. Temperatura de cor mais baixa/quente para trazer uma sensação de conforto.

3.2.4 Banheiro

O banheiro é o cômodo de menor área da casa, sua largura e comprimento respectivamente são 1,5m e 2,90m. Possui uma pia, um vaso sanitário e uma área reservada para chuveiro.

No banheiro recomenda-se o uso de lâmpadas de maior temperatura de cor neutra a alta de preferência com distribuição difusa pelo ambiente. A norma estabelece que para esse recinto tenha iluminância variando de 100 a 500lx, então o valor objetivo escolhido foi de 300lx. Os índices de reflexão levados em consideração foram 85/50/80 conforme cor de pintura e de pisos definidos.

Nas imagens 36 e 37 é possível visualizar os parâmetros passados para o aplicativo. Vale ressaltar que para o banheiro por se tratar de uma área que tem contato de forma mais direta com a água fez-se necessário que a iluminação utilizada tenha um grau de proteção IP54 - protegido contra poeira e contra projeções d'água.

A luminária escolhida para esse ambiente que atenda os parâmetros passados foi: **LINEDO 9506OH.842.476.004 do fabricante RZB. Características⁴:**

- Quantidade: 1 luminária
- Tipo: LED

⁴ Maiores dados podem ser visualizados no Anexo F desse documento.

The screenshot shows the 'New project' screen in an application. At the top, there is a back arrow and the title 'New project'. Below this is a section titled 'General information' with a text input field containing 'Banheiro'. There is a toggle switch for 'Hide description' which is currently turned on. Below that is a text input field containing 'Projeto feito para o Trabalho de Conclusão de Curso - Ana Luiza Ferreira Leite'. Underneath is a section for 'Room dimensions (L/W/H) in m' with three input fields: '1,5', '2,90', and '2.8'. This is followed by an 'Application' section with a dropdown menu set to 'User-defined' and another 'Hide additional fields' toggle switch. Below these are input fields for 'Target illuminance in lx' (300), 'Working plane height in m' (0.8), and 'Reflection (ceiling/walls/floor) in %' with three input fields: '85', '50', and '80'. At the bottom of the form is a blue button with a plus sign and the text '+ Add luminaire'.

Figura 36 – Parâmetros passados para o aplicativo para o projeto do banheiro. Fonte: Elaborada pela autora.

The screenshot shows the 'Search luminaire' screen. At the top, there is a back arrow and the title 'Search luminaire'. Below this is a section titled 'Light distribution' with four icons: 'Spot / Round', 'Rectangular', 'Diffuse', and 'Asymmetric'. The 'Diffuse' icon is selected and highlighted in blue. Below this is a 'Color temperature in K' section with a slider and two input fields: '4000' and '6000'. This is followed by a 'Connected load in W' section with two input fields: '0' and '88000'. Below that is a 'Luminous flux in lm' section with two input fields: '0' and '9999999'. At the bottom is an 'IP code' section with two input fields: '5' and '4'. At the very bottom is a blue button with the text 'Show 1352 products'.

Figura 37 – Dados adicionais passados para a definição do tipo de iluminação a ser usada no banheiro. Fonte: Elaborada pela autora.

- Fluxo luminoso: 4650lm
- Potência: 38W
- IRC: 80
- Eficiência Energética: 122lm/W

- Temperatura de cor: 4000K
- Instalação: embutida no teto
- IP54 - protegido contra poeira e contra projeções d'água.

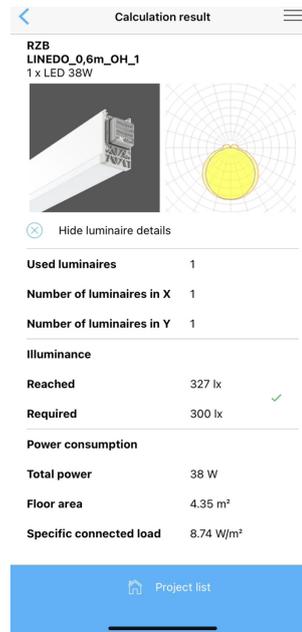


Figura 38 – Luminária definida para o banheiro e os detalhes obtidos após o cálculo pelo aplicativo. Fonte: Elaborada pela autora.

Por fim, é possível observar a disposição da luminária escolhida no cômodo (figura 39).

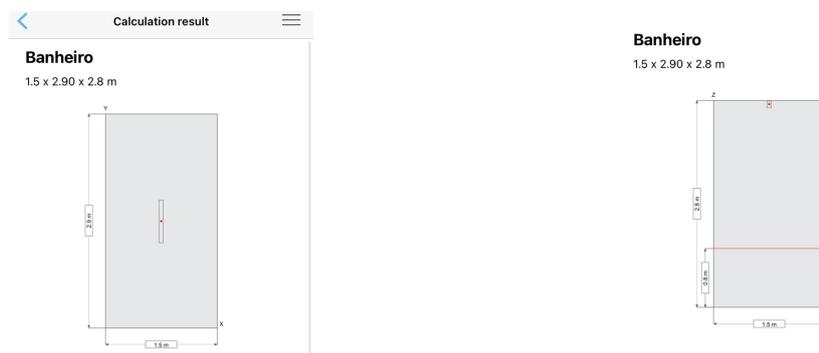


Figura 39 – Posições aonde as luminárias devem ser instaladas no banheiro. Fonte: Elaborada pela autora.

O valor de iluminância alcançado para o banheiro foi de 327lx e se enquadra ao estabelecido pela norma.

4 Conclusões

Durante a elaboração desse trabalho foi possível notar que existem muitas pesquisas com foco em ciclo circadiano e visão, porém que não abordam diretamente a proposta de conectar esses temas tão importantes à tecnologia que a Automação Residencial possibilita, utilizando dispositivos inteligentes, assistentes virtuais para que “conversem” diretamente com lâmpadas proporcionando maior conforto visual aos usuários e seus ritmos.

Para atingir o primeiro objetivo por esse trabalho foi preciso fazer um estudo minucioso nas áreas de visão e ciclo circadiano - entendendo como funcionam os ciclos biológicos do corpo, iluminação e seus aspectos - buscando entender conceitos e fazer a relação com toda a conhecimento já possuído e novos conhecimentos na área de domótica.

O desenvolvimento do projeto prático de uma lâmpada inteligente pôde oferecer e proporcionar uma visão mais técnica sobre como realizar a integração entre os componentes eletrônicos, a programação dos códigos implementados e tornar esse um sistema viável e com fácil usabilidade. Apesar de ter alcançado o resultado desejado essa etapa foi bastante árdua, no entanto, os desafios encontrados motivaram a seguir em frente percebendo que existe uma série de aplicações possíveis desde que adaptadas ao projeto desenvolvido.

Na criação do projeto luminotécnico foi possível aprender mais sobre os efeitos arquitetônicos que a iluminação consegue proporcionar ao ambiente e possibilitou ter a visão de que, apesar de serem áreas distintas, a automação residencial pode ser uma grande aliada para a que a luz se torne um elemento que integre o ambiente e se adapte às necessidades específicas do local em diferentes momentos do dia e conforme as atividades realizadas.

O propósito ao final desse trabalho é de despertar novos interesses sobre essa linha de pesquisa que faz a relação entre os três temas principais (automação residencial, iluminação e ciclo circadiano) buscando aumentar ainda mais os benefícios proporcionados pelo crescimento da tecnologia, tornando a vida das pessoas cada vez melhor, com mais conforto e qualidade de vida.

Referências

- ALBUQUERQUE, Yure. *ESP32 pinout - Guia Básico de GPIOs*. Disponível em: <https://blog.smartkits.com.br/esp32-pinout-guia-basico-de-gpios/>. Acesso em: 15 ago. 2023. Citado 0 vez na página 29.
- AZUOS, Alessandro. *Iluminação Cênica e o Ciclo Circadiano*. Disponível em: <https://alessandroazuos.com.br/ciclo-circadiano/>. Acesso em: 26 jul. 2023. Citado 0 vez na página 26.
- BEAR, Mark F; CONNORS, Barry W; PARADISO, Michael A. *Neurociências: desvendando o sistema nervoso*. Artmed editora, 2017. Citado 1 vez nas páginas 21–23.
- CANATO, Decio Albino et al. Utilização de conceitos de integração de sistemas direcionados a domotica: estudo de caso para automação residencial. [sn], 2007. Citado 1 vez na página 12.
- ELOY, Sara et al. Utilização de domótica na estratégia de sustentabilidade social e ambiental. Argumentum, 2010. Citado 1 vez na página 12.
- FILHO, Ruy Barbosa Soares. *Resposta humana à luz: alterações não visuais e o projeto luminotécnico residencial com LEDs*. 2018. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo. Citado 2 vezes nas páginas 13, 25.
- FREITAS, Paula Campos Fadul de et al. *Luminotécnica e lâmpadas elétricas*. 2009. Citado 1 vez nas páginas 20, 52.
- GUIDO STOLFI. *Elementos de Fotometria*. PTC3547 – Codificação e Transmissão Multimídia – EPUSP, 2018. Acesso em 27 de junho de 2023. Disponível em: <https://www.lcs.poli.usp.br/~gstolfi/PPT/APTV0118.pdf>. Citado 1 vez na página 22.
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. *Fundamentos de física*. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2009. Vol. 4. Citado 1 vez nas páginas 20, 21.
- ÍNDICE DE REPRODUÇÃO DE COR (IRC) – VOCÊ SABE O QUE É ? Disponível em: <https://ca-2.com/indice-de-reproducao-de-cor-irc-voce-sabe-o-que-e/>. Acesso em: 4 jul. 2023. Citado 0 vez na página 18.
- JEWETT, John W.; SERWAY, Raymond A. *Física para cientistas e engenheiros, volume 4: luz, óptica e física moderna*. xx. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012. P. 398. (broch.) ISBN 9788522111114. Citado 1 vez na página 20.
- KAWASAKI, Juliana Iwashita. *Métodos de Cálculo Luminotécnico*. Mar. 2012. P. 36–42. Disponível em: https://www.osestoreletrico.com.br/wp-content/uploads/documentos/fasciculos/Ed74_fasc_sistemas_iluminacao_cap3.pdf. Acesso em: 22 jul. 2023. Citado 1 vez nas páginas 33, 51.

- LEROY MERLIN. *Piso Laminado Prime Cappuccino*. 2023. Disponível em: https://www.leroymerlin.com.br/piso-laminado-prime-cappuccino-136x19,7cm-m2-eucafloor_87744965. Acesso em: 31 jul. 2023. Citado 0 vez na página 34.
- LIMA, Amanda Vieira Pessoa et al. Orientação solar e conforto lumínico. Análise das condições ambientais e opinião dos usuários. Universidade Federal da Paraíba, 2019. Citado 1 vez na página 24.
- LOPES, João Manuel Brisson. Cor e luz. *Departamento de Engenharia Informática-Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa: Instituto Superior Técnico*, 2013. Citado 1 vez na página 22.
- LUZ, Jeanine Marchiori da. *Luminotécnica*. Disponível em: <https://hosting.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Livros/Luminotecnica.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2023. Citado 1 vez nas páginas 19, 53.
- 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. Citado 2 vezes nas páginas 24, 25.
- MARTAU, Betina Tschiedel. *A luz além da visão: iluminação e sua relação com a saúde e bem-estar de funcionárias de lojas de rua e de shopping centers em Porto Alegre*. 2009. Tese (Doutorado) – [sn]. Citado 2 vezes nas páginas 24–26.
- MORAES, EC de. Fundamentos de sensoriamento remoto. *São José dos campos: INPE*, p. 1–7, 2002. Citado 1 vez na página 20.
- MOREIRA, Vinícius de Araújo. *Iluminação elétrica*. São Paulo: E. Blucher, 1999. P. 189. (broch.) ISBN 8521201753. Citado 2 vezes nas páginas 20, 22, 23.
- MORRONI, Rafael Morales. Proposta de uma automação residencial para um anteprojeto de uma instalação elétrica. Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2012. Citado 1 vez na página 12.
- M SSELETRÔNICA. *Manual de configuração - Módulo dimmer 2 canais canais bivolt - DM02A*. Disponível em: <https://www.msseletronica.com.br/arquivos/DM02A.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2023. Citado 1 vez nas páginas 29, 30.
- NETO, José Aprígio Carneiro; JÚNIOR, Lúcio da Silva Gama; CARNEIRO, Luiz Felipe Costa Silva. UM MAPEAMENTO TECNOLÓGICO DA DOMÓTICA NO BRASIL. In: 9TH International Symposium on Technological Innovation. 2018. Citado 1 vez na página 12.
- OSRAM. *Manual Luminotécnico Prático*. 2004. P. 28. Disponível em: <http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Livros/ManualOsram.pdf>. Citado 1 vez nas páginas 15–19.
- PORCELANATO de Luxo Cinza Sólido Acetinado. Disponível em: https://www.lemonbr.com/MLB-3248782955-porcelanato-de-luxo-cinza-solido-acetinado-_JM. Acesso em: 31 jul. 2023. Citado 0 vez na página 34.

- REINHARDT, Érica Lui. *Avaliação dos impactos do trabalho em turnos noturnos na produção de citocinas inflamatórias salivares e na secreção dos hormônios rítmicos melatonina e cortisol*. 2013. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo. Citado 1 vez na página 25.
- SANTOS, Eder Ferreira dos. *A influência dos espectros da luz em usuários residenciais*. 2017. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo. Citado 1 vez na página 24.
- SILVA, Saymon Rafael da Cunha. *Sistema de monitoramento e controle de energia utilizando o microcontrolador ESP32*. 2021. B.S. thesis – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Citado 1 vez na página 29.
- TEZA, Vanderlei Rabelo et al. *Alguns aspectos sobre a automação residencial: domótica*. Florianópolis, SC, 2002. Citado 1 vez na página 12.

ANEXO A – Tabela do Fator de Utilização de Luminárias

Teto (%)		70		50			30		0
Parede (%)	50	30	10	50	30	10	30	10	0
Piso (%)		10		10			10		0
K_R	Fator de Utilização								
0.60	32	28	26	31	28	26	28	26	25
0.80	38	34	31	37	34	31	33	31	30
1.00	42	39	36	41	38	36	38	36	35
1.25	46	43	40	45	42	40	42	40	39
1.50	48	46	44	48	45	43	45	43	42
2.00	52	60	48	51	49	48	49	47	46
2.50	54	53	51	53	52	50	51	50	49
3.00	56	54	53	55	53	52	53	52	50
4.00	57	56	55	56	55	54	54	54	52
5.00	58	57	56	57	56	55	55	55	53

Tabela 2 – Tabela com exemplo de determinação do Fator de Utilização de Luminárias.
 Fonte: (KAWASAKI, 2012)

ANEXO B – Tabela do Fator de Depreciação

Ambiente	Período de Manutenção		
	2500h	5000h	7500h
Limpo	0,95	0,91	0,88
Normal	0,91	0,85	0,80
Sujo	0,80	0,66	0,57

Tabela 3 – Fator de Depreciação F_d . Fonte: (FREITAS et al., 2009)

ANEXO C – Tabela do Índice de Reflexão das Superfícies

Índice de Refletância das Superfícies	
Teto Branco	75%
Teto Claro	50%
Parede Branca	50%
Parede Clara	30%
Parede medianamente clara	10%

Tabela 4 – Índice de Refletância das Superfícies (ρ). Fonte: (LUZ, 2023)

ANEXO D – Planta da Residência com as posições das luminárias

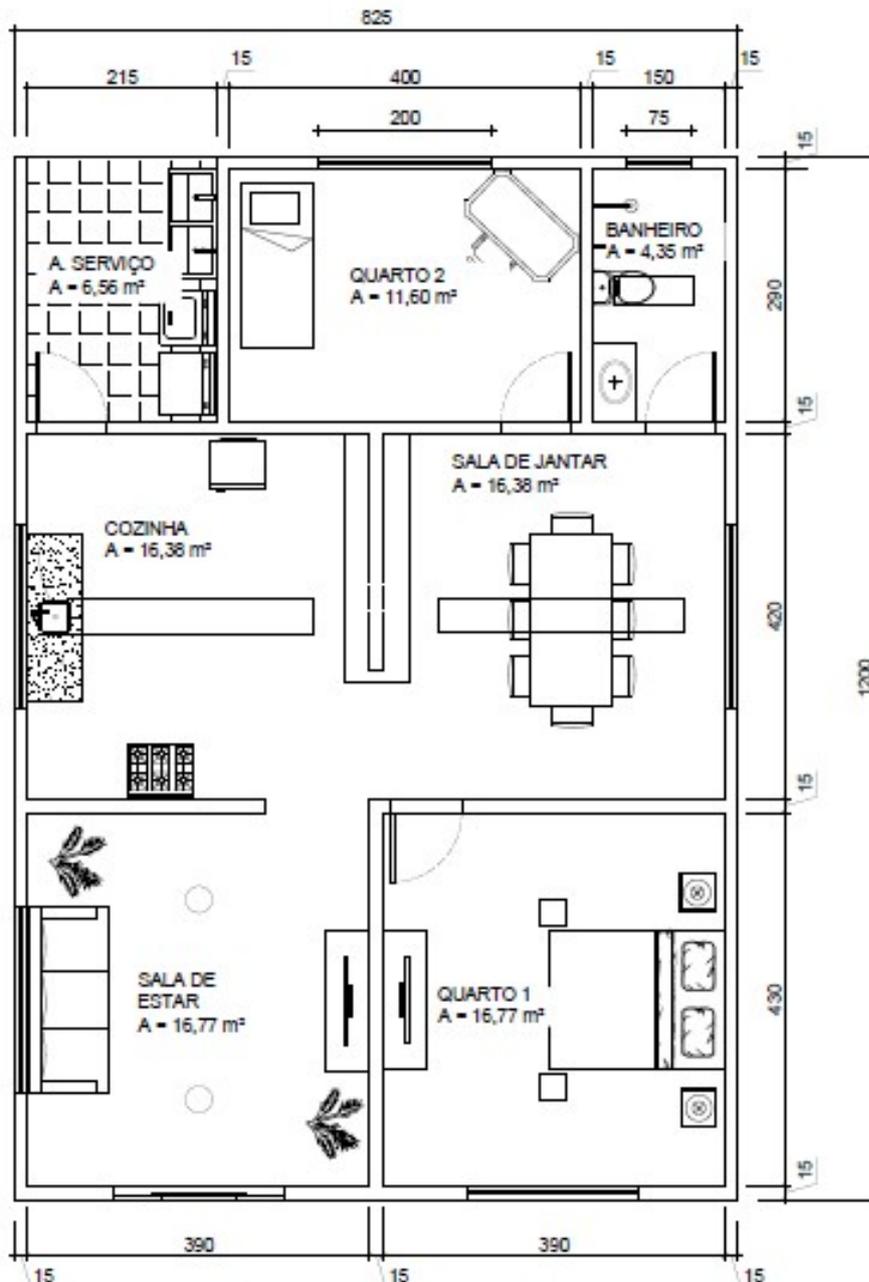


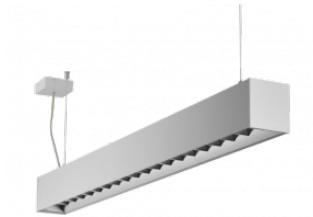
Figura 40 – Posição das luminárias definidas com auxílio do aplicativo DIALux Mobile.

ANEXO E – Luminária Lina - HALLA



Product datasheet of the luminaire

Lina80 11-531M-50GEE/840, W



Luminaire

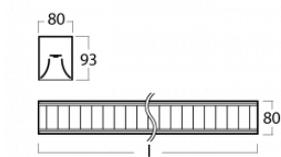
Lina80

11-531M-50GEE/840, W



Lina80 luminaires with an easy L-Click system feature an elegant and classic linear design with excellent illumination characteristics with both ceiling mounted and suspended versions, allowing them to fit into almost any space. Lina80 lighting is the right solution for offices, business, social and cultural spaces, as well as households and restaurants. With Tunable White, you set the white color temperature according to the time of day. The light thus provides optimal light helping you to focus on and concentrate on the work.

Technical drawing



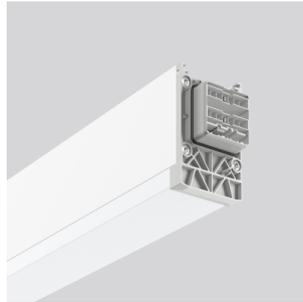
Type of installation	Suspended
Light distribution	Direct-indirect
Luminaire shape	Linear
Colour of the luminaires	White
Material	Aluminium
Lifetime	L90/B50 50 000 hours
Warranty	60 months
Description of luminaires	Luminaire suspended
Dimensions	2810 mm × 80 mm × 93 mm
Light source	LED MODUL
Type of optical system	Matt parabolic louvre
Luminous flux	12430 lm ± 10 %
Colour Temperature	4000 K cool white
Luminous efficacy test	124 lm/W
MacAdam Light source	2
Colour rendering index	80
UGR max. X=4H Y=8H, ρ=70,50,20	16.3

Figura 41 – Modelo de luminária utilizada na cozinha/sala de jantar.

ANEXO F – Luminária LINEDO - RZB

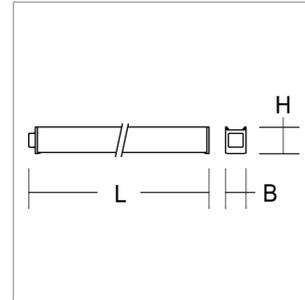
LINEDO

9506OH.842.476.004 | LINEDO continuous line luminaire



Continuous line luminaire
4051859623298
L 598, B 58, H 91

ceiling mounting, suspension cable/chain
Traffic white, matt (RAL 9016)



Rapid-installation complete module for universal use as a continuous line luminaire. System profile made of aluminium extrusion profile, powder-coated. High-efficiency LED units with opal diffuser profile made of non-yellowing PMMA with increased proportion of indirect light. Simple, tool-free installation of system profiles using separate accessories for cable, chain or ceiling suspension. Tool-free connection and mechanical connectors to secure. 14-poles LINEDO connector (5 x 2.5 mm² / 9 x 1.5 mm²) for additional applications in light management or for the integration of emergency lighting. Phase can be set via patented bridge without opening the luminaire. Please order supply module, connection and mounting accessories separately. Luminaires with limited surface temperature in accordance with DIN EN 60598-2-24 for use in environments in which a deposit of non-conductive dust on the luminaire can be expected.

Product specifications

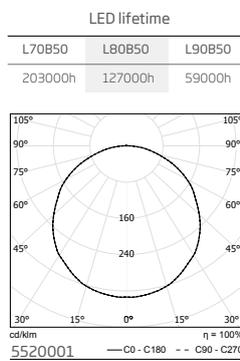
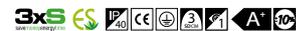
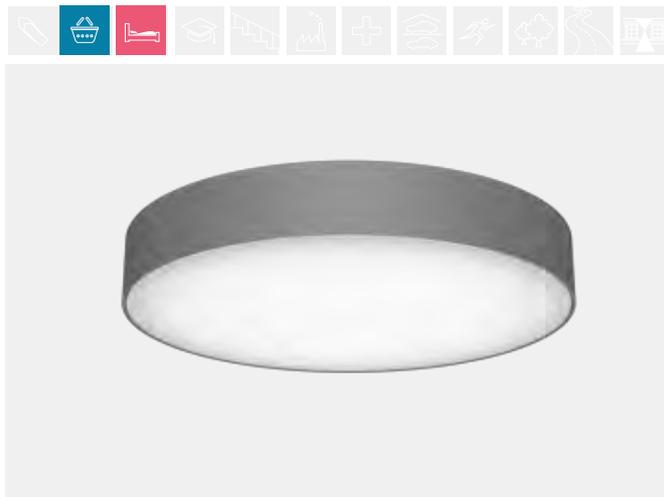
Length L	598 mm
Width B	58 mm
Height H	91 mm
Weight	1.48 kg
Light source	LED
Colour temperature	4000 K
Rated luminous flux	4650 lm
System power	38 W
System efficiency	122 lm/W
Glare evaluation UGR (4H 8H)	29,1
Beam angle	down 128°/112° up 180°/180°
Rated life	80000 h (L80/B10)
Colour rendering index (CRI)	80
Colour tolerance	3
Photobiological safety according to EN 62471	Risk group 1
Driver	Converter, dimmable
Control	DALI
Voltage	220 - 240 V / 0 Hz, 50 - 60 Hz
Luminaires on B10A fuse	12
Luminaires on B16A fuse	20
Luminaires on C10A fuse	21
Luminaires on C16A fuse	34
Inrush current / Inrush current duration	21 A / 230 µs
CIE Flux Code / CEN Flux Code	43 74 92 89 100
Type of protection	IP 54
Protection class	I
Filament test	650°C - 30 seconds
Impact resistance	IK04 (0,50 Joule)
Ambient temperature	-25 °C ... + 40 °C
Safety marks	D-mark, F-mark
Conformity mark	CE

Figura 42 – Modelo de luminária utilizada no banheiro.

ANEXO G – Luminária Luna - ES SYSTEM

SYSTEM LUNA LED / SYSTEM LUNA LED DYNWHITE

Ceiling-mounted or pendant luminaire
 BODY: white painted steel sheet
 DIFFUSER: specialist thermoelastic lighting foil
 POWER SUPPLY: integral electronic driver
 OTHER: 3 suspension wires required for pendant mounting, to be ordered separately



MD	D [mm]
LUNA LED 600	600
LUNA LED 950	950
LUNA LED 1250	1250
LUNA LED 1500	1500

Code	Model	LED	Flux	Power	Voltage	Price
5520071	LUNA LED 600	LED 830	1250lm	16W	230V AC	14,00
5521071	LUNA LED 600	LED 840	1300lm	16W	230V AC	14,00
5522071	LUNA LED 950	LED 830	3400lm	44W	230V AC	22,00
5523071	LUNA LED 950	LED 840	3550lm	44W	230V AC	22,00
5524071	LUNA LED 1250	LED 830	5350lm	70W	230V AC	29,00
5525071	LUNA LED 1250	LED 840	5600lm	70W	230V AC	29,00
5526071	LUNA LED 1500	LED 830	7800lm	103W	230V AC	35,00
5527071	LUNA LED 1500	LED 840	8200lm	103W	230V AC	35,00

version with increased luminous flux

5374071	LUNA LED 950	LED 840	7000lm	88W	230V AC	23,00
5375071	LUNA LED 1500	LED 840	16000lm	206W	230V AC	36,00
5364061	LUNA DYNWHITE 950	LED 827-865	3500lm	48W	230V AC	23,00
5365061	LUNA DYNWHITE 1500	LED 827-865	8000lm	103W	230V AC	36,00

.....? 0 - ON/OFF • 6 - DALI



Accessories
 9113000 suspension wire L=2m

Figura 43 – Modelo de luminária utilizada na sala de estar.