

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE ENGENHARIA
ENGENHARIA DE ENERGIA**

FELIPE PAJEU SAMPAIO

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO DO PRÉDIO DA
FACULDADE DE ENGENHARIA - UFGD: ESTUDO DE CASO CONSIDERANDO A
ILUMINAÇÃO NATURAL**

DOURADOS, 2023

FELIPE PAJEU SAMPAIO

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO DO PRÉDIO DA
FACULDADE DE ENGENHARIA - UFGD: ESTUDO DE CASO CONSIDERANDO A
ILUMINAÇÃO NATURAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal da Grande Dourados, na área de concentração 3.04.04.06-1, Instalações Elétricas Prediais e Industriais, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Aureo Cezar de Lima

DOURADOS, 2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

S192e Sampaio, Felipe Pajeu

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO DO PRÉDIO DA
FACULDADE DE ENGENHARIA - UFGD: ESTUDO DE CASO CONSIDERANDO A
ILUMINAÇÃO NATURAL [recurso eletrônico] / Felipe Pajeu Sampaio. -- 2025.

Arquivo em formato pdf.

Orientador: Aureo Cezar Lima.

TCC (Graduação em Engenharia de Energia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2024.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. sustentável. 2. aproveitamento da luz natural. 3. arduino. I. Lima, Aureo Cezar. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

FELIPE PAJEU SAMPAIO

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO DO PRÉDIO DA
FACULDADE DE ENGENHARIA - UFGD: ESTUDO DE CASO CONSIDERANDO A
ILUMINAÇÃO NATURAL**

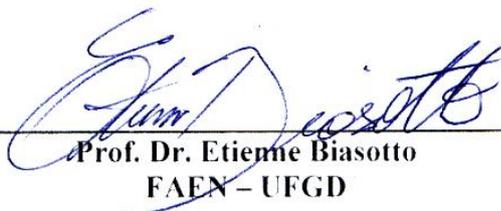
Trabalho de conclusão de curso aprovado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energia da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal da Grande Dourados, na área de concentração 3.04.04.06-1, Instalações Elétricas Prediais e Industriais, pela comissão formada por:



Orientador: Prof. Dr. Aureo Cezar Lima
FAEN – UFGD



Prof. Dr. Agleison Ramos Omido
FAEN – UFGD



Prof. Dr. Etienne Biasotto
FAEN – UFGD

DOURADOS -MS
7 DE MARÇO DE 2024

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, quero expressar meu mais sincero agradecimento à minha família, pois o apoio constante e o amor incondicional foram pilares fundamentais em minha jornada acadêmica – nos momentos desafiadores, foram a presença e o encorajamento que me deram a força necessária para continuar avançando.

Aos meus amigos e colegas de turma, não posso deixar de mencionar a importância da jornada que compartilhamos. Enfrentamos desafios juntos, celebramos as vitórias e superamos as adversidades lado a lado. Nossas experiências e aprendizados conjuntos foram inestimáveis e contribuíram imensamente para o meu crescimento pessoal e acadêmico.

Minha gratidão também se estende aos professores que dedicaram seu tempo e esforço para nos orientar e ensinar ao longo desta jornada educacional. O conhecimento que adquiri moldou minha compreensão e vem me preparando para os desafios futuros, em especial o prof. Dr. Aureo Cezar de Lima, pois sua orientação, sabedoria e dedicação foram inestimáveis para o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

A gestão sustentável do setor energético é um desafio crucial na sociedade contemporânea, dada a crescente demanda por energia elétrica. Nesse contexto, a utilização da iluminação natural surge como uma alternativa para mitigar esse problema. O presente estudo teve como objetivo principal avaliar o consumo elétrico em uma instalação predial, com ênfase na otimização da iluminação por meio da luz natural, focando especificamente no bloco Faculdade de Engenharia da Universidade Federal da Grande Dourados. Inicialmente, realizou-se uma análise do percentual de aproveitamento de luz natural (PALN), que permitiu determinar uma redução de 48,6% no consumo anual, ou ainda, o equivalente a 7.530,6 kWh. Para aproveitar a luz natural, desenvolveu-se um sistema utilizando a plataforma Arduino, utilizando como base os laboratórios do bloco FAEN/UFGD. A última etapa da pesquisa consistiu na avaliação da viabilidade econômica da implantação do sistema desenvolvido nos cinco laboratórios da fachada sul do bloco. O custo de implantação foi estimado em R\$ 16.488,00 para o sistema Arduino e R\$ 20.815,00 para o sistema comercial. Com base na redução do consumo, espera-se um Valor Presente Líquido (VPL) de R\$ 16.230,04 e R\$ 11.903,04, e um período de retorno do investimento (*Payback*) de 6 anos e 8 anos para os sistemas de automação apresentados, respectivamente. Assim, ambos os sistemas se mostram economicamente viáveis para implantação e aproveitamento da luz natural.

Palavras-chave: economia em iluminação, aproveitamento da luz natural, Arduino.

ABSTRACT

The sustainable management of the energy sector is a crucial challenge in contemporary society, given the growing demand for electricity. In this context, the use of natural lighting emerges as an alternative to mitigate this problem. The main objective of this study was to evaluate the electrical consumption in a building installation, with emphasis on the optimization of lighting through natural light, focusing specifically on the Engineering Faculty block of the Federal University of Grande Dourados. Initially, an analysis of the Percentage of Use of Natural Light was carried out, which allowed to determine a reduction of 48.6% in annual consumption, or the equivalent of 7,530.6 kWh. To take advantage of natural light, a system was developed using the Arduino platform, using the laboratories of the FAEN/UFGD block as a base. The last stage of the research consisted of evaluating the economic feasibility of implementing the system developed in the five laboratories on the south façade of the block. The implementation cost was estimated at US\$ 3,297.60 for the Arduino system and US\$ 4,163.00 for the commercial system. Based on the reduction in consumption, a Net Present Value (NPV) of US\$ 3,246.00 and R\$ 2,380.60 is expected, and a payback period of 6 years and 8 years for the automation systems presented, respectively. Thus, both systems are economically viable for the implementation and use of natural light.

Keywords: lighting economy, use of natural light, Arduino.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Carta solar para cidade de Dourados em outubro de 2023.	18
Figura 2 – Ângulos de penetração da radiação solar em uma edificação.	19
Figura 3 – Curvas de iluminâncias natural e artificial e total em ambiente com abertura unilateral.....	20
Figura 4 – Aproveitamento da iluminação natural na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo.	21
Figura 5 – Brises para o controle do ofuscamento e aquecimento interior.....	22
Figura 6 – Sensor constituído por Resistor Dependente de Luz (LDR).	23
Figura 7 – Sensor Piroelétrico (PIR) compatível com o controlador Arduino.	24
Figura 8 – Microcontrolador Arduino UNO.	24
Figura 9 – Probabilidade de nebulosidade em Dourados no ano de 2023.	26
Figura 10 – Malha de pontos de medição da iluminação natural no interior de um ambiente.....	29
Figura 11 – Carta solar para o bloco FAEN/UFGD, em outubro de 2023.....	41
Figura 12 – Dimensões das aberturas laterais do prédio da FAEN/UFGD em 2023.....	41
Figura 13 – Fachada norte do prédio FAEN/UFGD, em 30 de agosto de 2023.	42
Figura 14 – Fachada sul do Prédio FAEN/UFGD, em 30 de agosto de 2023.	42
Figura 15 – Ambientes considerados no estudo no pavimento térreo do Bloco FAEN/UFGD, em 2023... ..	43
Figura 16 – Ambientes considerados no estudo no pavimento superior do Bloco da FAEN/UFGD, em 2023.	43
Figura 17 – Caracterização das zonas de iluminação do Pavimento Térreo do prédio FAEN/UFGD.....	44
Figura 18 – Caracterização das zonas de iluminação do Pavimento Superior do prédio FAEN/UFGD.....	44
Figura 19 – Laboratório de Engenharia de Fábrica do bloco FAEN/UFGD, em 23 de agosto de 2023.....	45
Figura 20 – Laboratório de Engenharia Econômica do bloco FAEN/UFGD, em 23 de agosto de 2023.....	46
Figura 21 – Termo-Higro-Anemômetro -Luxímetro digital THAL-300.....	46
Figura 22 – Iluminância no Laboratório de Engenharia de Fábrica simulada e medida às 9h45 do dia 23 de agosto de 2023	47

Figura 23 – Iluminância no Laboratório de Engenharia Econômica simulada e medida às 10h do dia 23 de agosto de 2023	47
Figura 24 – Modelo 3D no Dialux do prédio da Faculdade de Engenharia/UFGD, em 2023.....	48
Figura 25 – Ângulo do brise do prédio da Faculdade de Engenharia/UFGD, em 2023.	51
Figura 26 – Características do Protótipo do Laboratório de Engenharia Econômica do bloco FAEN/UFGD.....	64
Figura 27 – Protótipo luminotécnico do laboratório de Engenharia Econômica da FAEN/UFGD.....	65
Figura 28 – Diagrama de blocos do controle da iluminação do laboratório da FAEN/UFGD.....	65
Figura 29 – Modelo simulado no Tinkercad do controlador de iluminância para o Laboratório de Engenharia Econômica da FAEN/UFGD	66
Figura 30 – Montagem e funcionamento do protótipo de controle de iluminamento do laboratório de Engenharia Econômica do prédio da FAEN/UFGD.	67
Figura 31 – Módulo de controle de potência CA Dimmer Pic MC-8A.....	67
Figura 32 – Esquema da ligação de luminárias para dimerização do modelo de sala 1, para bloco FAEN /UFGD	68

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Quantidade mínima de pontos a serem medidos.	28
Quadro 2 – Área dos ambientes de uso contínuo do prédio da Faculdade de Engenharia/UFGD em novembro de 2023.	39
Quadro 3 – Características das luminárias do Bloco FAEN/UFGD em 2023.....	44
Quadro 4 – Componentes da montagem do protótipo para o controle de iluminância do laboratório de Engenharia Econômica do prédio da FAEN/UGD.....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Avaliação da medição de iluminância dos laboratórios de Engenharia de Fábrica e Econômica realizada em 23/08/2023.....	46
Tabela 2 – Iluminância e UGR nos ambientes da fachada Norte variando-se o ângulo das aletas dos brises para o solstício inverno, verão e equinócio no prédio da FAEN/UFGD.	49
Tabela 3 – Simulação da iluminação artificial das zonas do prédio da FAEN/UFGD em 2013.....	50
Tabela 4 – Sistematização das simulações de iluminação no Dialux para o prédio da FAEN/UFGD.	52
Tabela 5 – Iluminâncias máximas e UGR no Solstício de verão na fachada sul no bloco da FAEN/UFGD, em 2023.....	58
Tabela 6 – Probabilidade de ocorrência de céu e iluminâncias natural média mensal nos ambientes do bloco da FAEN/UFGD, em 2023.....	59
Tabela 7 – Áreas, taxa de utilização e potência de iluminação dos ambientes agrupados por atividade no prédio da FAEN/UFGD, em 2023.....	60
Tabela 8 – Porcentagem de aproveitamento da luz natural, e demanda evitada no prédio FAEN/UFGD, em 2023.....	61
Tabela 9 – Tempo de utilização mensal dos ambientes por atividade do prédio FAEN/UFGD, em 2023.....	61
Tabela 10 – Energia economizada, consumida e total em iluminação no prédio da FAEN/UFGD, em 2023.....	62
Tabela 11 – Custo de implantação para sistema de controle de iluminância utilizando Arduino UNO R3.	68
Tabela 12 – Custo de implantação sistema de controle de iluminância Lutron.....	69
Tabela 13 – Energia economizada, consumida e total em iluminação dos laboratórios da fachada sul do prédio da FAEN/UFGD, em 2023.	70
Tabela 14 – Energia, custo e Preço médio por fonte de fornecimento entre 2020 e 2022 na UFGD, Unidade II.....	71
Tabela 15 – Análise de viabilidade econômica dos projetos de controle de iluminamento dos laboratórios da fachada sul, térreo do prédio da FAEN/UFGD.	72

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT:	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL:	Agência Nacional de Energia Elétrica
PALN:	Percentual de Aproveitamento de Luz Natural
DA _{Max} :	Autonomia máxima à luz do dia
DPI:	Densidade de potência de iluminação
EPE:	Empresa de pesquisa energética
FAEN:	Faculdade de Engenharia
FAUUSP:	Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo
PALN:	Percentual de aproveitamento de luz natural
UFGD:	Universidade Federal da Grande Dourados
VPL:	Valor Presente Líquido
TIR:	Taxa Interna de Retorno
UGR:	Índice de Ofuscamento Unificado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1	ILUMINAÇÃO NATURAL	17
2.1.1	Influência das condições geográficas e climáticas na iluminação natural	17
2.1.2	Influência das características construtivas na iluminação natural	20
2.2	AUTOMAÇÃO	22
2.2.1	Controle da Iluminação	23
3	METODOLOGIA	26
3.1	ANÁLISE DO ILUMINAMENTO NATURAL	26
3.1.1	Determinação do iluminamento natural em um ambiente interno	27
3.1.2	Simulação do iluminamento em um ambiente interno	29
3.2	DETERMINAÇÃO DO CONSUMO ECONOMIZADO PELO USO DA LUZ NATURAL	30
3.2.1	Ajuste do ângulo das aletas dos brises	30
3.2.2	A Potência Específica de Iluminação	31
3.2.3	Determinação da disponibilidade da luz natural	31
3.2.4	Iluminância por ambiente e probabilidade de ocorrência da cobertura do céu ..	32
3.2.5	Porcentagem de Aproveitamento da Luz Natural	33
3.2.6	Economia de energia pela utilização da iluminação natural	33
3.3	DETERMINAÇÃO DO PREÇO MÉDIO DA ENERGIA	35
3.4	ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO PROJETO.....	37
4	DETERMINAÇÃO DA ECONOMIA DE ENERGIA COM O APROVEITAMENTO DA LUZ NATURAL	39
4.1	CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE DE ESTUDO	39
4.2	PROCEDIMENTO DE CÁLCULO E AFERIÇÃO DOS RESULTADOS	45

4.2.1	Variação dos elementos de controle no limite de ofuscamento	49
4.2.1	Simulação da iluminação natural nos ambientes	50
4.2.2	Determinação da iluminação natural média nos ambientes	58
4.2.3	Determinação da energia economizada, consumida e total	60
5	DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO DE CONTROLE DE ILUMINAÇÃO UTILIZANDO O ARDUINO.....	64
5.1	PROJETO DO PROTÓTIPO LUMINOTÉCNICO DO LABORATÓRIO.....	64
5.2	PROJETO DO CONTROLADOR DE LUMINOSIDADE	65
5.3	INSTALAÇÃO DO CONTROLADOR DE LUMINOSIDADE.....	68
5.4	ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO PROJETO.....	70
5.4.1	Determinação do Preço médio da energia e análise de viabilidade	70
6	CONCLUSÃO	73
	REFERÊNCIAS	75
	APÊNDICE A – DIAGRAMA DO CIRCUITO E CONEXÕES PELO TINKERCAD	79
	APÊNDICE B – PROGRAMAÇÃO DO PROTÓTIPO.....	80

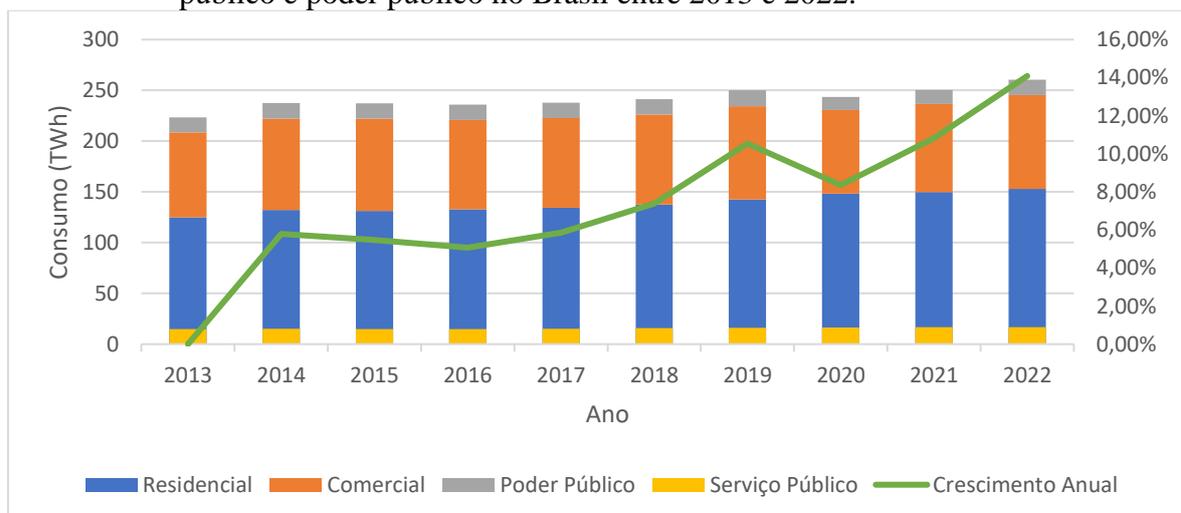
1 INTRODUÇÃO

No atual momento, um dos grandes desafios da sociedade é a gestão de recursos naturais, visando a sua proteção, de forma a mitigar os danos ao meio ambiente, sem comprometer o crescimento populacional e econômico (BERNADES; CELESTE; DINIZ CHAVES, 2020). Neste cenário, o conceito de desenvolvimento sustentável ganhou prioridade nos debates mundiais referentes a gestão energética (ROMERO; REIS, 2012). Visando alcançar este objetivo, investimento em fontes de energia renováveis e sistemas mais eficientes, vem sendo adotadas.

Um marco na história do Brasil foi a crise elétrica no início dos anos 2.000, que levou a conscientização e a discussão pública sobre a gestão e o uso dos recursos energéticos. A adoção de políticas visando a atualização do sistema de iluminação, como a distribuição de lâmpadas econômicas e o financiamento de equipamentos mais eficientes, gerou resposta positiva para a conscientização e adoção de melhores práticas pela população (ROMERO; REIS, 2012).

Atualmente, o setor residencial e o setor comercial, de serviço público e poder público representam 54,41% de todo consumo de eletricidade nacional, que, em números absolutos equivale a 245.313,17 GWh (EPE, 2023). Este valor representa um crescimento de 14,96% nos últimos 10 anos, como demonstrado no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Consumo de eletricidade no setor residencial e o setor comercial, de serviço público e poder público no Brasil entre 2013 e 2022.



Fonte: Adaptado (EPE, 2023)

Assim, a automação de sistemas e equipamentos energéticos podem contribuir para a redução da demanda de eletricidade. Comumente chamada de *Home & Building Automation*,

nas edificações residenciais, a automação tem por objetivo controlar seus principais equipamentos – de iluminação, condicionadores de ar, som, imagem e outras cargas – trazendo benefícios como, segurança, conforto, versatilidade e melhora na gestão energética (PRUDENTE, 2011). Esse mercado, de acordo com a Associação Brasileira de Automação Residencial, como resposta aos avanços tecnológicos, apresentou um crescimento de 12,5% no período entre 2015 e 2022 devido a redução dos custos dos componentes necessários para implementação destes sistemas (SANTOS; JUNIOR, 2019).

De acordo com Bihalva (2016), a combinação inteligente de luz natural e lâmpadas pode levar a uma redução no consumo energético durante os momentos de maior exposição solar. Assim, a automação da iluminação, aliado ao aproveitamento da luz natural, pode propiciar a redução do consumo com a melhor gestão destes sistemas e o uso da iluminação artificial como complementar à natural – a partir de aberturas zenitais (no teto) e laterais, através de janelas. Em climas tropicais, estudos indicam que a redução no consumo de iluminação artificial pode variar entre 20% e 62% (DIDONÉ, 2009).

O estudo realizado por Santana et al. (2020) na Universidade Federal da Paraíba, estima a economia de 60% a 70% no consumo de energia nas salas de aula com a utilização da luz natural. Lima & Oliveira Batista (2011), por sua vez, controlando a intensidade luminosa das lâmpadas de um edifício comercial em Maceió, Alagoas, obteve um ganho médio anual de 43%.

Assim, neste trabalho é proposto o aumento da eficiência energética na iluminação do prédio da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal da Grande Dourados (FAEN/UFGD) a partir do aproveitamento da iluminação natural e da automação das luminárias. Através do estudo da disponibilidade da luz nos ambientes, por medição e simulação, será proposto um controle de iluminamento setorial das salas a partir da dimerização das lâmpadas. Caracterizando a redução do consumo de energia obtido, por sua vez, será realizada a análise de viabilidade técnica e econômica para a aquisição de um sistema comercial para essa finalidade, assim como o desenvolvimento de um sistema de controle utilizando o Arduino.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ILUMINAÇÃO NATURAL

A incorporação da iluminação natural nas edificações é uma estratégia fundamental para criar ambientes internos agradáveis e sustentáveis. A luz natural compreende a luz direta do Sol, a luz difusa e a luz refletida pelo entorno, e sua distribuição no espaço depende de uma série de fatores. Além dos aspectos construtivos para o aproveitamento eficiente da luz natural – orientação das aberturas, configuração do ambiente e bloqueios externos – é importante empreender um planejamento minucioso considerando a latitude, a variação anual da inclinação solar, as variações climáticas sazonais, e a eventual presença de nuvens (SOUZA, 2003).

Atualmente, a norma NBR ABNT NBR 15215 define os procedimentos para o estudo da iluminação natural, com texto dividido em quatro partes: a parte 1 trata dos conceitos básicos e definições da iluminação natural; a 2 apresenta procedimentos de cálculo para estimativa da luz natural disponível; a 3 para o cálculo e determinação da luz natural em ambientes internos; e a 4 apresenta métodos para verificação experimental das condições de iluminação interna das edificações (ABNT, 2023).

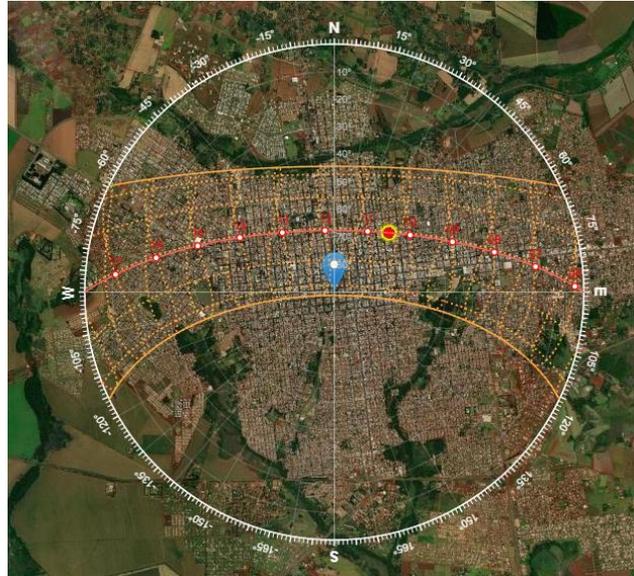
2.1.1 Influência das condições geográficas e climáticas na iluminação natural

A latitude e a orientação do prédio, além das características das aberturas, determinam a disponibilidade de luz natural nas edificações. A influência desses fatores é multidimensional e está intrinsecamente ligada ao movimento aparente do Sol no céu, bem como aos níveis de insolação, e a disponibilidade da luz natural em diferentes épocas do ano (ASCHEHOUG, 2000).

Em regiões de altas latitudes, próximo aos polos, a variação sazonal dos níveis de luz do dia é acentuada, com menor luz natural durante o inverno. Nesses locais, os projetos de edifícios frequentemente buscam maximizar a entrada de luz natural, incluindo estratégias como o redirecionamento da luz das áreas mais brilhantes do céu. Por outro lado, nos trópicos, onde a luz do dia é abundante durante todo o ano, o foco é evitar o sobreaquecimento, limitando a quantidade de luz natural que penetra no edifício, como estratégias que incluem o controle da luminosidade incidente, ou seu total bloqueio (ASCHEHOUG, 2000), estratégia também utilizada para o controle do ofuscamento interno. Com intuito de orientar a locação de uma

edificação, bem como a distribuição, formato e as dimensões das aberturas, utiliza-se a carta solar conforme a Figura 1.

Figura 1 – Carta solar para cidade de Dourados em outubro de 2023.

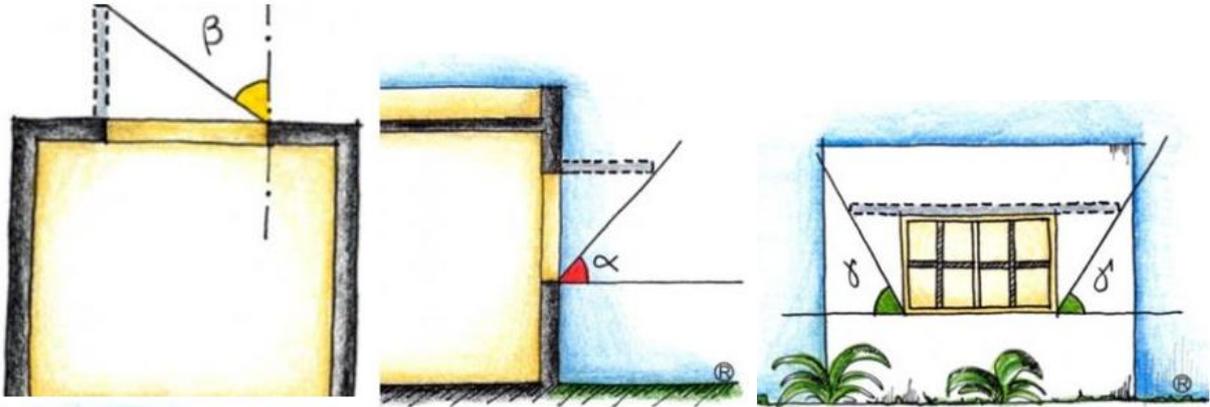


Fonte: (PD: SunPath, 2023)

A Carta Solar é uma representação gráfica dos percursos aparentes do Sol na abóbada celeste ao longo do dia e em diferentes épocas do ano. Esses percursos são identificados através da transposição do azimute e da altitude solar sobre o plano. Para auxiliar no estudo da iluminação natural, a Carta Solar permite: avaliar a penetração solar, verificar o sombreamento de projeções do entorno, determinar a melhor orientação da edificação e as proteções solares necessárias às aberturas (LABEEE, 2014).

Para o projeto da penetração da iluminação solar e dimensionamento de proteções solares é usado o método de projeção estereográfica, de forma a se determinar a incidência de iluminação natural em diferentes ângulos. De acordo com a Figura 2, o ângulo horizontal (β) é formado pela projeção do raio solar no plano perpendicular à fachada – o utilizado para determinar a posição das proteções solares verticais. O ângulo vertical frontal (α), por sua vez, é formado pela projeção do raio solar no plano perpendicular à fachada no ponto considerado. Este ângulo é usado para determinar a máscara de sombra de uma proteção solar horizontal. O ângulo vertical lateral (γ), por fim, é formado pela projeção do raio solar no plano da fachada, e é utilizado para se determinar o tamanho de uma placa horizontal (LABEEE, 2014).

Figura 2 – Ângulos de penetração da radiação solar em uma edificação.



Fonte:(LABEEEE, 2014)

As condições do céu, sobretudo, são essenciais para o projeto da iluminação natural dos ambientes – elas são divididas em céu claro, encoberto e parcialmente encoberto (parcialmente nublado ou intermediário) (ABNT 15215-2, 2022).

Céu Claro: condição na qual, dada a inexistência de nuvens e baixa nebulosidade, as reduzidas dimensões das partículas de água fazem com que apenas os baixos comprimentos de onda, ou seja, a porção azul do espectro, consigam emergir em direção à superfície da Terra, conferindo a cor azul, característica do céu [...].

Céu encoberto: condição de céu na qual as nuvens preenchem toda a superfície da abóboda celeste [...].

Céu parcialmente encoberto: condição de céu na qual a iluminância de dado elemento é definida para uma dada posição do sol sob uma condição climática intermediária que ocorre entre os céus padronizados como céu claro e totalmente encoberto [...].

Segundo Vasconcellos (2019), a disponibilidade da luz natural nos ambientes reduz-se para as maiores latitudes. Estudando Macapá, Maceió, Vitória e Porto Alegre para edificações em oito orientações – N, NE, L, SE, S, SO, O e NO – observou-se que há menor disponibilidade de luz em edifícios com aberturas voltadas para o norte ou sul, sobretudo, com maior uniformidade na distribuição. Os edifícios com aberturas ao leste ou oeste, por sua vez, têm maior intensidade de luz natural, no entanto apresentam baixa uniformidade na distribuição.

Outro estudo foi desenvolvido na cidade de Macapá por Silva; Queiroz e Pereira (2019). Os autores avaliaram a influência da variação da nebulosidade na disponibilidade de luz natural, constatando que a alta quantidade de chuvas durante o ano influenciam diretamente a disponibilidade de luz natural, uma vez que a probabilidade de céu encoberto é maior que 58%. Por fim, caracterizadas as condições ambientais, de localização e a orientação associadas a

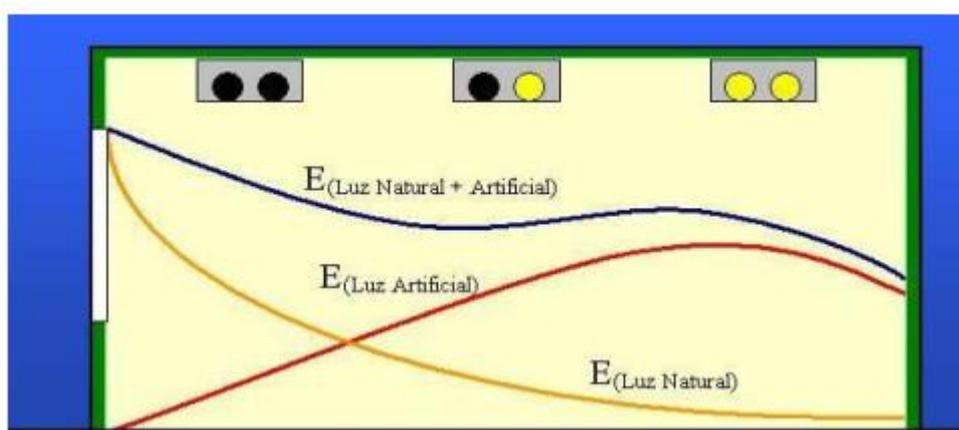
disponibilidade de luz natural nas edificações, deve-se observar a influência da arquitetura das aberturas e de outros elementos integrados a construção.

2.1.2 Influência das características construtivas na iluminação natural

Os sistemas de iluminação natural têm como finalidade permitir que a luz entre nos espaços internos – eles englobam aberturas, dispositivos de sombreamento, caixilhos, vidros e outros materiais translúcidos, bem como as superfícies internas do ambiente. O projeto desses sistemas visa a distribuição uniforme da luz natural, evitando o ofuscamento no interior dos ambientes – os mais comuns são as aberturas laterais e as aberturas zenitais (KREMER, 2002).

As aberturas laterais são amplamente empregadas na iluminação natural de edifícios, uma vez que oferecem iluminação, ventilação e vistas para o exterior. Essa preferência é influenciada por fatores culturais e, principalmente, econômicos; sobretudo, tem como desvantagem a redução do iluminamento conforme afasta-se da fonte de luz, acarretando distribuição irregular da iluminação (KREMER, 2002; MANSILHA, 2013). A partir da Figura 3 é possível observar a complementação das fontes natural e artificial – enquanto as luminária próximas à abertura lateral estão desligadas, a luz do sol fornece o iluminamento necessário ao ambiente para a obtenção da iluminância esperada.

Figura 3 – Curvas de iluminâncias natural e artificial e total em ambiente com abertura unilateral.



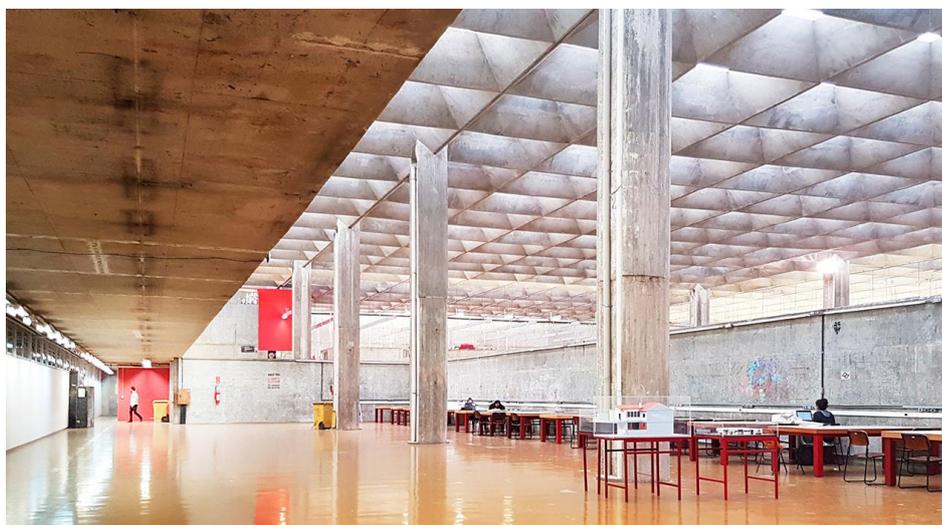
Fonte: (PEREIRA,2011 apud MASILHA, 2013)

As aberturas zenitais, e os componentes de passagem zenital, propiciam a iluminação zenital, definida como a “porção de luz natural produzida pela luz que entra através dos fechamentos superiores dos espaços internos” (ABNT, 2023). A abertura zenital tem como

vantagem a disponibilização da luz natural onde é necessária, bem como a fácil integração com a iluminação artificial. Sobretudo, tem limitação em edifícios com mais de um pavimento, e não permite a vista exterior lateral, embora, dependendo do projeto, o céu esteja visível (KREMER, 2002). Destaca-se, ainda, que devem ser projetados componentes de passagem mais elaborados para permitir a entrada da luz sem ofuscamento e aquecimento indesejado do ambiente.

A Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAUUSP) é um exemplo da integração da iluminação zenital à estrutura construtiva, propiciando elevada iluminância e uniformidade na distribuição da luz, como pode ser observado na Figura 4.

Figura 4 – Aproveitamento da iluminação natural na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo.



Fonte:(FAUUSP,2023).

Destaca-se, sobretudo, que a entrada da iluminação natural necessita ser controlada, de forma a evitar o ofuscamento e reduzir o aquecimento do ambiente, que provoca o aumentando do consumo de energia para climatização. Os elementos de controle, para esses objetivos, podem ser externos e internos à edificação.

Os dispositivos de controle externo – varandas, beirais, marquises, pérgulas, vegetação de entorno, brises, entre outros – geralmente são estruturas rígidas que fazem o controle da radiação solar antes de sua entrada no ambiente e, de forma geral, reduzem a entrada do calor e o ofuscamento (a Figura 5 apresenta um exemplo de brise). Os elementos de controle interno, por sua vez, películas, cortinas e persianas, são recursos utilizados para reduzir o desconforto do ambiente, uma vez que o calor e o excesso de luz devem ser controlados para o desenvolvimento das atividades (FRANÇA, 2012).

Figura 5 – Brises para o controle do ofuscamento e aquecimento interior



Fonte: (FRANÇA, 2012).

Como estudos do efeito da iluminação natural em ambientes podem ser citados (RODRIGUES; LARANJA, 2021) e (SILVA; LARANJA; ALVAREZ, 2021). Enquanto o primeiro observou que os brises de inclinação horizontal apresentam maior conforto e redução das luminárias artificiais na cidade de Belo Horizonte; o segundo pesquisou a interação dos brises com prateleiras de luz em uma sala considerando: sem dispositivo, com prateleira de luz, com prateleira de luz associada a brises horizontais com cinco lâminas, com prateleira de luz associada a brises inclinados com cinco lâminas, com prateleira de luz associada a brises horizontais com duas lâminas e com prateleira de luz associada a brises inclinados com duas lâminas. Os autores constataram que as prateleiras de luz associadas a brises com inclinação horizontal, apresentam os maiores níveis de disponibilidade de luz natural, bem como, melhor uniformidade de distribuição.

Entende-se, por fim, que, obtido a iluminação natural interna adequada, ou máxima, limitada ao ofuscamento e aquecimento permitido, os benefícios energéticos são obtidos pela redução controlada da iluminação artificial, conforme será apresentado na seção 2.2.

2.2 AUTOMAÇÃO

Considerando as curvas de iluminâncias apresentadas na Figura 3, observa-se que os benefícios energéticos se dão pela redução da potência, ou desligamento, das luminárias paralelas e próximas as aberturas, enquanto a energia passa ser utilizada como fonte complementar à iluminação natural – nesse contexto a automação predial apresenta-se como elemento fundamental de projeto.

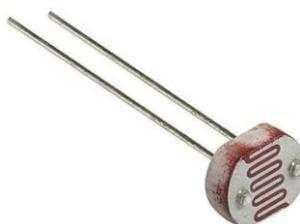
A automação predial pode ser aplicada a quaisquer edifícios – de habitação, escritórios, comerciais etc. Os edifícios automatizados, quando se baseiam na tecnologia da computação e informação para o atendimento das necessidades dos usuários, recebem o nome de ambiente inteligente. Os edifícios inteligentes são projetados com objetivo de proporcionar conforto, conveniência, praticidade, segurança, lazer, assim como, economia de energia (COELHO; CRUZ, 2017). Segundo Prudente (2011 p.7), “*De fato, além de executar todas as instalações de tipo tradicional, [através da automação] podemos obter novas funções que com a técnica tradicional seriam impossíveis ou nada econômicas.*”.

2.2.1 Controle da Iluminação

A tecnologia dos sistemas de iluminação vem avançando nas últimas décadas, não somente pelo surgimento das lâmpadas LED, mas também devido aos seus equipamentos de acionamento e controle. O controle automático adaptável da dimerização, regulando a intensidade luminosa de 0% a 100%, integrado a sensores de movimento e luminosidade é um exemplo dessa tecnologia (MURATORI; DAL BÓ, 2011) e (PRUDENTE, 2011). O controle da iluminação, para o aproveitamento da luz natural, baseia-se no monitoramento das grandezas por sensores de luminosidade e presença, processamento dos dados e acionamento de dispositivos de saída (luminárias) (STEVAN; FARINELLI, 2018).

O sensor de luminosidade de menor custo, e normalmente utilizado, é constituído por um Resistor Dependente de Luz (LDR), que é sensibilizado linearmente pela radiação visível (STEVAN; FARINELLI, 2018), Figura 6. O sensor de presença, por sua vez, detecta a emissão infravermelha do corpo humano através de um dispositivo piroelétricos ou PIR (*passive infrared*). Esse sensor utiliza uma substância que se polariza quando exposta à radiação infravermelha, gerando uma tensão – essa tensão é amplificada e utilizada para fins de controle, como abertura de portas, acionamento de iluminação, escadas rolantes, podendo ser integrado a uma central de controle de incêndio e pânico (WENDLING, 2010), Figura 7.

Figura 6 – Sensor constituído por Resistor Dependente de Luz (LDR).



Fonte: (FERMARC, 2023)

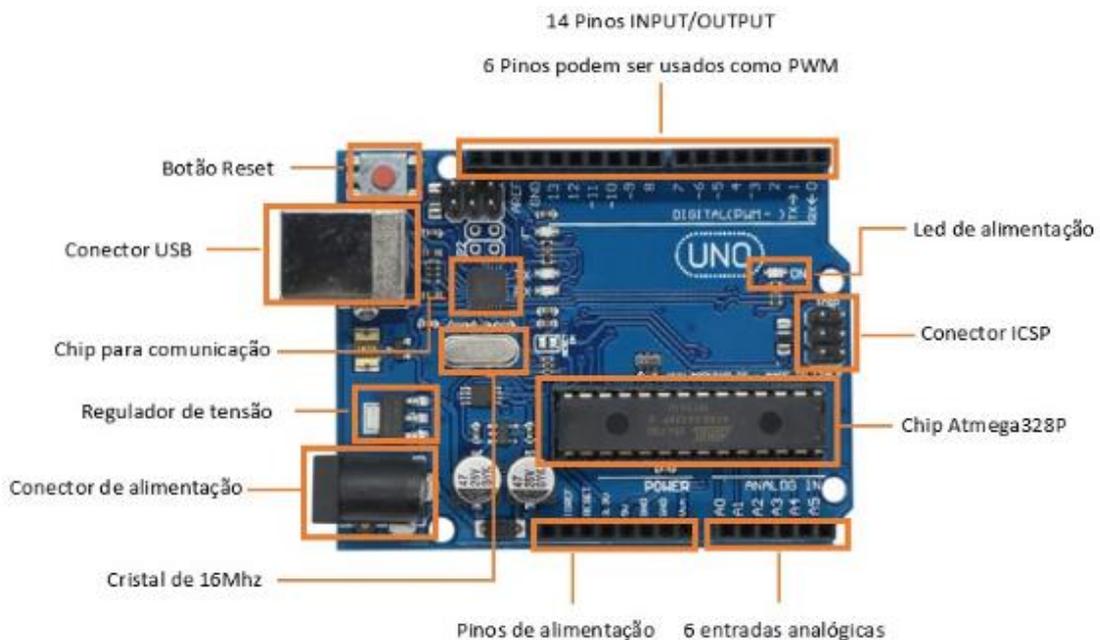
Figura 7 – Sensor Piroelétrico (PIR) compatível com o controlador Arduino.



Fonte:(AUTOCORE ROBOTICA, 2023)

Os microcontroladores, por sua vez, processam os dados dos sensores e acionam o controle da luminosidade. Para uma aplicação de baixo custo pode se utilizar o Arduino UNO – equipamento dotada de plataforma versátil e de fácil aplicação (ARDUINO, 2023), que possui seis entradas analógicas e 14 digitais configuráveis como entrada ou saída (*input/output*), Figura 8.

Figura 8 – Microcontrolador Arduino UNO.



Fonte: (STA, 2023)

O Módulo *Dimmer*, saída do microcontrolador, através do ajuste dos disparos em um transistor, permite controlar a corrente alternada de alimentação e, conseqüentemente, a potência e a intensidade luminosa da luminária (DUARTE, 2021).

Nogueira (2018) apresentou um protótipo baseado na plataforma Arduino para controle da luminosidade de uma lâmpada através de uma conexão *bluetooth* na Universidade Federal de Ouro Preto. O modelo caracterizou a aplicabilidade da tecnologia, a eficiência e a possibilidade da utilização de componentes de baixo custo.

Na Universidade Federal de Santa Catarina, em outro estudo, foi demonstrada a automação para o controle da luminosidade de uma lâmpada LED dimerizável para o aproveitamento da luz natural. Utilizando-se de um fotoresistor, foi obtida uma significativa redução no consumo de energia para a iluminação nas atividades diurnas (DUARTE, 2021). Assim, neste trabalho será desenvolvida uma análise do aproveitamento da luz natural em ambientes internos do prédio da FAEN/UFGD, bem como os benefícios associados à redução de consumo da energia a partir do controle da iluminação artificial.

3 METODOLOGIA

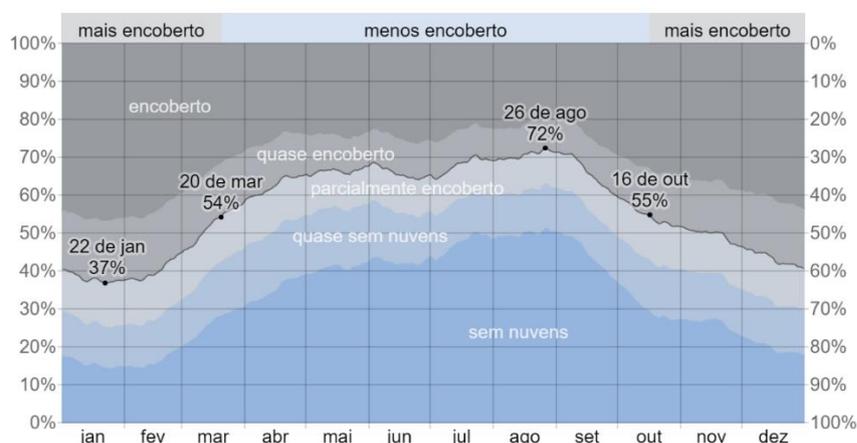
Este trabalho tem como objetivo propor o aumento da eficiência energética na iluminação do prédio da FAEN/UFMG utilizando a automação das luminárias para o aproveitamento da luz natural. O trabalho está estruturado considerando: a caracterização da disponibilidade da luz nos ambientes por medição e simulação; o cálculo da porcentagem de aproveitamento da luz natural; a determinação da energia economizada; a proposição e desenvolvimento do controle de iluminação setorial das salas a partir da dimerização das lâmpadas; e a avaliação da viabilidade técnica e econômica das possibilidades.

3.1 ANÁLISE DO ILUMINAMENTO NATURAL

Para a análise da disponibilidade de luz natural nos ambientes internos da edificação em estudo, primeiramente é necessário caracterizar os elementos de influência, ou seja, a localização, orientação, as condições climáticas e as características estruturais, tais como, posicionamento, tipo e áreas das aberturas, projeto interno dos ambientes, bem como a existência dos elementos de controle: brises, persianas etc.

A partir do aplicativo Google Maps, (2023) determina-se a latitude, a longitude e a orientação do prédio. A Carta Solar, por sua vez, obtida utilizando-se o aplicativo PD: Sunpath, (2023) permite a análise dos resultados, enquanto os dados disponíveis em © WEATHERSPARK.COM, (2023) permite a análise das condições de nebulosidade da região de estudo conforme ABNT – 15215 (2023) quanto a probabilidade de ocorrência de céu claro, parcial e encoberto, Figura 9.

Figura 9 – Probabilidade de nebulosidade em Dourados no ano de 2023.



Fonte: (© WEATHERSPARK.COM, 2023).

Por fim, os elementos estruturais e de controle de iluminação, que influenciam o estudo, podem ser obtidos nos projetos do prédio, assim como conferidos e analisados a partir de visitas técnicas, como posicionamento, dimensões, altura de parapeito, características dos elementos de controle luminosidade internos e externos existentes.

Com os elementos de influência definidos, deve-se obter a iluminância nos ambientes internos do bloco que, para este projeto, será desenvolvido a partir dos procedimentos definidos pela norma ABNT (2023), e utilizando o *software Dialux*, como detalhado no item 3.1.1.

3.1.1 Determinação do iluminamento natural em um ambiente interno

De acordo com ABNT NBR 15215-4, (2023), que define os procedimentos para verificação experimental das condições de iluminação natural interna, para um erro limitado em 10%, o método e os equipamentos utilizados devem:

- a) considerar a quantidade de luz no ponto e no plano onde a tarefa for executada, seja horizontal, vertical ou em qualquer outro ângulo;
- b) manter o sensor paralelo à superfície a ser avaliada ou deixá-lo sobre a superfície cujos níveis de iluminação estão sendo medidos;
- c) atentar para o nivelamento da fotocélula quando ela não for mantida sobre a superfície de trabalho e sim na mão da pessoa que faz as medições, pois pequenas diferenças na posição podem acarretar grandes diferenças na medição;
- d) evitar sombras sobre a fotocélula, acarretada pela posição de pessoas em relação a ela, a não ser que seja necessário para a caracterização de um posto de trabalho;
- e) verificar, sempre que possível, o nível de iluminação em uma superfície de trabalho, com e sem as pessoas que utilizam estes ambientes em suas posições, desta forma, é possível verificar eventuais falhas de layout;
- f) expor a fotocélula à luz aproximadamente cinco minutos antes da primeira leitura, evitando-se sua exposição a fontes luminosas muito intensas, como por exemplo, raios solares;
- g) realizar as medições num plano horizontal a 75 cm do piso quando a altura da superfície de trabalho não é especificada ou conhecida.

Em virtude da variação frequente das condições de céu ao longo do dia e do ano, para valores mais precisos de níveis de iluminação, deve-se verificá-lo em diferentes horas do dia (horário legal) e também em diferentes épocas do ano.

Para levantamentos nos quais não seja possível um monitoramento da iluminação natural ao longo do ano recomenda-se verificar a iluminância nas condições de céu mais representativas do local nos seguintes períodos:

- a) em um dia próximo ao solstício de verão (22 de dezembro);
- b) em um dia próximo ao solstício de inverno (22 de junho);
- c) de duas horas em duas horas a partir do início do expediente (horário legal)

Considerando-se, sobretudo, a indisponibilidade das medições nas datas definidas pela norma (22 de dezembro e 22 de junho), outra data pode ser utilizada para aferição dos resultados, outrossim, as simulações deste trabalho devem seguir ao definido em norma. Deve-se proceder, a cada 2 horas, a partir do início de funcionamento do bloco, a simulação para os dias 22 de dezembro e 22 junho, conforme proposto pela norma, acrescidos, para o aumento da precisão dos resultados, o dia 22 de março, ou seu correspondente anual, 22 de setembro, relativos aos Equinócios.

Mede-se, então, as iluminâncias nos ambientes em estudo com auxílio de um luxímetro, a 80 cm de altura, considerando o número mínimo de pontos dado pelo Quadro 1, a partir do Índice do local (K), obtido da Equação 1.

$$K = \frac{C * L}{H_m * (C + L)} \quad (1)$$

Onde:

K : Índice do local [];

L : largura do ambiente [m];

C : comprimento do ambiente [m];

H_m : é a distância vertical entre a superfície de trabalho e o topo da janela [m].

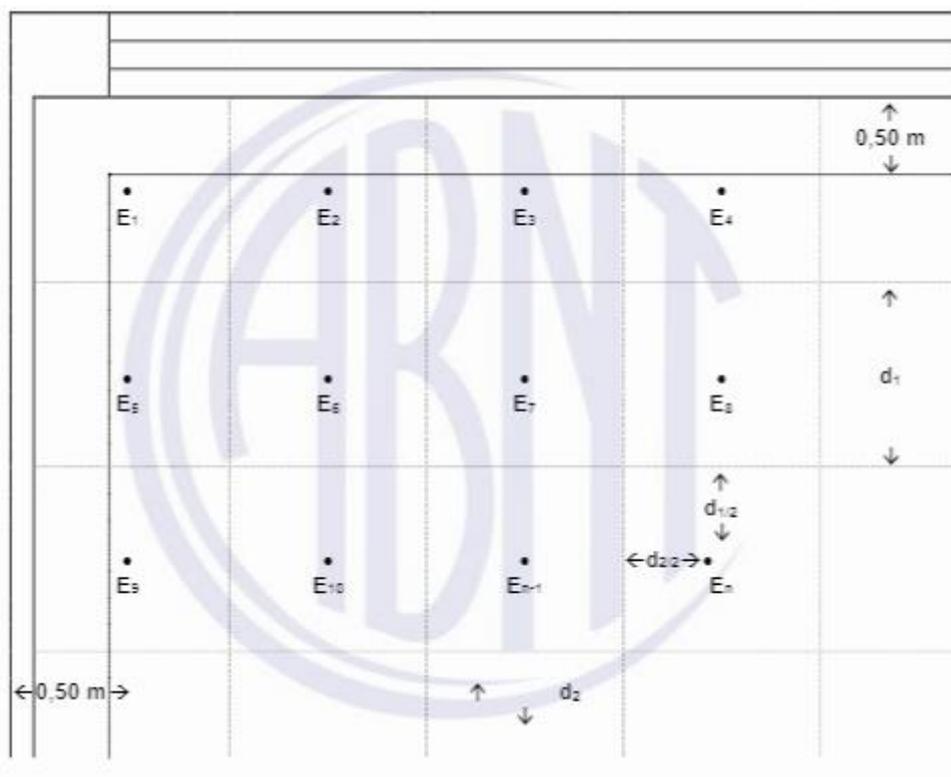
Quadro 1 – Quantidade mínima de pontos a serem medidos.

K	Nº de pontos
$K < 1$	9
$1 \leq K < 2$	16
$2 \leq K < 3$	25
$K \geq 3$	36

Fonte: ABNT NBR 15215-4.

Definido o número de pontos, o ambiente interno deve ser dividido em áreas iguais, com formato aproximado ou igual a um quadrado (Figura 10), sendo a iluminância medida no centro de cada área, com afastamento mínimo de 0,5 m das paredes e elementos divisórios. Registram-se, então, as iluminâncias em cada ponto e, a partir destas, verifica-se a mínima, a máxima e calcula-se a média para a análise dos resultados. Observa-se, ainda, que, os iluminamento inferiores a 50 lx sejam desconsiderados na avaliação (SOUZA, 2003).

Figura 10 – Malha de pontos de medição da iluminação natural no interior de um ambiente.



Fonte: (ABNT,2023).

3.1.2 Simulação do iluminamento em um ambiente interno

A simulação do iluminamento pode ser realizada utilizando-se o *software* Dialux – software que oferece recursos para modelar a distribuição da luz, em especial, considerando a iluminação natural. Utilizado por *designers* de iluminação, arquitetos e engenheiros para planejar, calcular, projetar e visualizar a iluminação em espaços internos e externos, este *software* permite, ainda, determinar a iluminação natural em um prédio considerando a hora, o dia e o mês a partir de sua localização e orientação.

Desconsiderados os efeitos relativos ao aquecimento do ambiente, deve-se ponderar, sobretudo, uma relevante limitação associada ao uso da iluminação natural: o ofuscamento. Este elemento de restrição, definido como Índice de Ofuscamento Unificado (*Unified Glare Rating* – *UGR*) e fornecido pelo Dialux, pode ser utilizado para o atendimento de ABNT (2023), uma vez, que considera o conforto ambiental dos usuários do prédio. Somado a isso, ainda pode ser conferido o *Maximum Daylight Autonomy* (*DAMax*), que indica a porcentagem de horas de trabalho em que o nível de iluminamento excede 10 vezes o nível necessário, neste trabalho, abordado apenas como limite de iluminamento (PEREIRA, 2017).

Enquanto ABNT NBR 8995-1 defini os valores máximos de UGR para cada ambiente, como controle de ofuscamento, Pereira, (2017), ainda limita a iluminância do ambiente a dez vezes o valor estabelecido pela norma. Observa-se, então, que o ofuscamento traz desconforto e pode tornar o ambiente inutilizável, sendo necessário o projeto de elementos internos e, ou, externos para o controle do excesso de luz natural no ambiente.

Destaca-se, sobretudo, que a preocupação com o ofuscamento deve fundamentar-se na simulação do projeto de iluminação, de forma a garantir a eficiência e eficácia dos elementos de controle de iluminamento, e permitir a adequada entrada de luz natural. Considerando este fato, foi necessária a ampliação da proposta inicial deste trabalho para contemplar a definição dos ângulos das aletas dos brises utilizados, conforme apresentado no item 3.2.1.

3.2 DETERMINAÇÃO DO CONSUMO ECONOMIZADO PELO USO DA LUZ NATURAL

Tendo como objetivo determinar a energia economizada pelo uso da luz natural, quando se utiliza as luminárias como fonte complementar, deve-se obter:

- a) O ângulo de ajuste do brise para o melhor aproveitamento da luz natural;
- b) A Potência Específica de Iluminação, dada em $W/(lx.m^2)$, para as zonas consideradas na análise;
- c) A disponibilidade da luz natural para as zonas consideradas separadamente para dias específicos, horas e condição de cobertura do céu;
- d) A iluminância por ambiente considerando a probabilidade de ocorrência da cobertura do céu;
- e) A Porcentagem de Aproveitamento da Luz Natural (PALN) e a demanda evitada para um subgrupo das zonas para cada mês do ano;
- f) Economia de energia pela utilização da iluminação natural.

3.2.1 Ajuste do ângulo das aletas dos brises

Uma potencialidade do *software* Dialux é a simulação da iluminância interna considerando as características dos elementos de controle de entrada da iluminação natural. É possível, então, se verificar a intensidade da luz natural no interior do ambiente a partir da variação do ângulo das aletas dos brises, considerando, ainda, dias do ano e horários pré-estabelecidos, assim como as condições de cobertura do céu.

Tal simulação permite, por fim, determinar o ângulo, e anteparos, para maior eficiência do aproveitamento da luz natural – condições de máximo aproveitamento da luz enquanto limita-se o ofuscamento definido pelo máximo UGR e DA_{max} permitidos.

3.2.2 A Potência Específica de Iluminação

Considerando que a Densidade de Potência de Iluminação (DPI), que relaciona a potência das luminárias, e seus equipamentos auxiliares, pela área do ambiente, não permite caracterizar os níveis de iluminamento dos espaços, haja vista suas características construtivas e geométricas, como cor, largura, comprimento, pé direito etc., foi necessário definir a Potência Específica de Iluminação (PEI), dada em W/(lx.m²), calculada a partir da Equação 2.

$$PEI = \frac{P}{E_m * (C * L)} \quad (2)$$

Onde:

PEI: Potência Específica de Iluminação [W/(lx.m²)];

P : Potência dos equipamentos de iluminação [W]

E_m: Iluminância média do ambiente [lx];

L: largura do ambiente [m];

C: comprimento do ambiente [m].

Assim, a partir da Equação 2, é possível se determinar, considerando um ambiente simulado, a relação direta entre a potência das luminárias, a área e a iluminância do local, que pode ser utilizada, juntamente com a Porcentagem de Aproveitamento da Luz Natural, para a obtenção da demanda evitada.

3.2.3 Determinação da disponibilidade da luz natural

Considerando-se a Figura 1, que apresenta a Carta Solar para a cidade de Dourados, e a explanação sobre iluminação natural apresentada, espera-se que este elemento de simulação tenha dependência do período do ano, da orientação das fachadas (norte ou sul), do ângulo de azimute, dos elementos de controle de iluminação e da hora do dia definidos no *software* escolhido.

Considerando o procedimento estabelecido em ABNT NBR 15215-4, (2023) para as medições, as simulações para a determinação do iluminamento das salas são realizadas para

cada 2 horas a partir do início de funcionamento do bloco, para 22 de dezembro, 22 de março, e 22 de junho. São assim, avaliadas as iluminâncias para o Solstício de verão, Equinócio e Solstício de inverno – tem-se assim, que para uma avaliação anual, os Solstício equivalem a três meses cada, enquanto o Equinócio, por representar duas vezes a mesma inclinação da terra em sua órbita, por seis meses.

Por fim, há que se considerar a condição de cobertura do céu que, conforme definido pela citada norma, deve caracterizar: claro, parcialmente encoberto e encoberto.

3.2.4 Iluminância por ambiente e probabilidade de ocorrência da cobertura do céu

Observa-se que é necessário a determinação de uma iluminância que caracteriza o comportamento da cobertura do céu mensal no período de um ano. Para isso, a Figura 9, que representa a probabilidade de ocorrência do céu claro, parcialmente encoberto e encoberto pode ser utilizada, de forma que a disponibilidade da luz natural (apresentada em 3.2.3) possa ser composta por valores mensais, conforme Equações 3 e 4.

Considerando, ainda, uma divisão do ambiente em três zonas (i, j e k), é possível se determinar a Iluminância média do ambiente “a” utilizando a Equação 5.

$$E_{mit} = E_{it1} * P_{bcc} + E_{it2} * P_{bcpe} + E_{it3} * P_{bce} \quad (3)$$

$$E_{mi} = \frac{E_{mi1} + E_{mi2} + E_{mi3} + E_{mi4}}{4} \quad (4)$$

$$E_{ma} = \frac{E_{mi} + E_{mj} + E_{mk}}{3} \quad (5)$$

Onde:

E_{mit} : Iluminância média da zona i, na hora t [lx];

E_{it1} : Iluminância média da zona i, hora t, em condição de céu claro [lx];

P_{bcc} : Probabilidade de céu claro [];

E_{it2} : Iluminância média da zona i, hora t, em céu parcialmente encoberto [lx];

P_{bcpe} : Probabilidade de céu parcialmente encoberto [];

E_{it3} : Iluminância média da zona i, hora t, em condição de encoberto [lx];

P_{bce} : Probabilidade de céu encoberto [];

E_{mi} : Média das iluminâncias da zona i, nas horas 1 a 4, no ambiente a [lx];

$E_{mi}(t)$: Iluminância média da zona i, para t variando de 1 a 4 [lx];

E_{ma} : Média das iluminância do ambiente a, nas horas 1 a 4 [lx];

E_{mi} : Média das iluminâncias da zona j, nas horas 1 a 4 do ambiente a [lx];

E_{mk} : Média das iluminâncias da zona k, nas horas 1 a 4 do ambiente a [lx];

Tem-se, assim, a determinação das iluminâncias simuladas considerando a probabilidade de ocorrência da cobertura do céu, as quatro horas simuladas para os dias definidos dos Solstícios e Equinócio, para três zonas que compõe um ambiente de trabalho nas condições de orientação das fachadas e elementos de controle de luminosidade existentes.

3.2.5 Porcentagem de Aproveitamento da Luz Natural

A Porcentagem de Aproveitamento da Luz Natural (PALN) representa, em %, o iluminamento produzido por essa fonte, de forma que, 100% correspondem ao completo desligamento das luminárias do ambiente. O PALN, calculado para cada mês, é apresentado na Equação 6.

$$PALN(m) = \frac{E_{ma}}{E_{mp}} * 100 \quad (6)$$

Onde:

$PALM_{(m)}$: Porcentagem de aproveitamento da luz natural no mês, limitada em 100% [%];

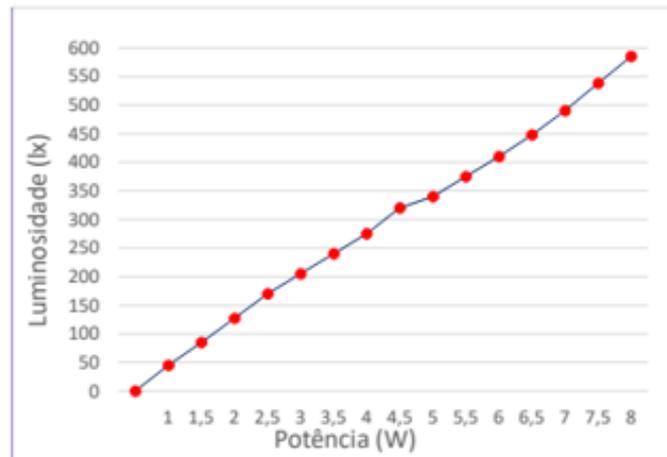
E_{ma} : Média das iluminância do ambiente a, nas horas 1 a 4 [lx];

E_{mp} : Iluminância média definida para o ambiente [lx];

3.2.6 Economia de energia pela utilização da iluminação natural

Medições realizadas por Oliveira; Moraes (2021), constataram a linearidade entre iluminância e potência das luminárias LED dimerizáveis, conforme apresentaram no Gráfico 2 – assim, este trabalho fundamenta-se na relação (proporcionalidade) entre a Porcentagem de Aproveitamento da Luz Natural e a potência elétrica absorvida pelos equipamentos de iluminação.

Gráfico 2 – Relação entre a luminosidade e a potência absorvida por lâmpadas LED dimerizáveis.



Fonte: (OLIVEIRA; MORAES, 2021)

É possível, assim, determinar a Energia consumida na iluminação para cada ambiente no mês ($E_{cia}(m)$) considerando a Potência de iluminação do ambiente (definida na Equação 2 (P_a) e o seu Tempo de utilização ($T_{uta}(m)$) (Equação 7). Este último é calculado multiplicando-se a Taxa de utilização (T_{auta}) definida para os ambientes conforme a atividade relacionada, a jornada diária (J_d) e os dias mensais de atividade ($Dat(m)$), conforme Equação 8.

Por fim, a Energia economizada em iluminação por ambiente por mês ($E_{eia}(m)$) é obtida considerando o $PALN(m)$, para o mês (m) (Equação 9). Assim, a somatória da energia para os doze meses do ano representa, então, o benefício obtido pela utilização da iluminação natural para cada ambiente analisado (Equação 10). Ainda é possível se determinar a Demanda evitada em iluminação por ambiente por mês, com a finalidade da análise dos resultados, Equação 11.

$$E_{cia}(m) = \frac{P_a}{1000} * T_{uta}(m) \quad (7)$$

$$T_{uta}(m) = T_{auta} * J_d * Dat(m) \quad (8)$$

$$E_{eia}(m) = E_{cia}(m) * \frac{PALN(m)}{100} \quad (9)$$

$$E_{eiaa} = \sum_1^{12} E_{eia}(m) \quad (10)$$

$$Deia(m) = Pa * \frac{PALN(m)}{100} \quad (11)$$

Onde:

$Ecia(m)$: Energia consumida em iluminação por ambiente, para o mês (m) [kWh];

Pa : Potência elétrica por ambiente definida na Equação 2 [W];

$Tuta(m)$: Tempo de utilização do ambiente no mês (m) [h];

$Tauta$: Taxa de utilização do ambiente por atividade [];

Jd : Jornada diária de trabalho e/ou estudo [h];

$Dat(m)$: Dias de atividades no mês (m) [];

$Eeia(m)$: Energia economizada em iluminação por ambiente, para o mês (m) [kWh];

$PALN(m)$: Porcentagem de aproveitamento da luz natural no mês (m) [%];

$Eeiaa$: Energia economizada em iluminação por ambiente anual [kWh];

$Deia(m)$: Demanda evitada em iluminação por ambiente, para o mês (m) [kWh];

3.3 DETERMINAÇÃO DO PREÇO MÉDIO DA ENERGIA

A análise da viabilidade do investimento no projeto perpassa pela determinação do benefício financeiro relativo à energia evitada – esse valor pode ser obtido a partir do Preço médio da energia (P_M), dado em R\$/kWh. Para uma unidade consumidora suprida por fonte única, como por exemplo, a concessionária de energia, o P_M é determinado pela relação entre a fatura de energia e o consumo (Equação 12), apresentado em (OLIVEIRA, 2017).

$$P_{MC} = \frac{Fat}{C_C} \quad (12)$$

Onde:

P_{MC} : Preço médio da energia da concessionária [R\$/kWh];

Fat : Valor total da fatura da unidade consumidora [R\$];

C_C : Consumo total de energia da concessionária [kWh];

Sobretudo, em casos em que haja geração própria, deve se considerar o P_M ponderado, que compõe os custos da energia de uma fonte, a concessionária, com os da usina existente. Deve-se, então, determinar o Custo Anual Equivalente do Capital (CAE_C) da usina geradora, que pode ser calculado considerando o Investimento no sistema (I), o Valor de Resgate ao final da análise (V_R) a Taxa média de atratividade (i) e o Tempo de análise do projeto (n), conforme Equação 13, apresentada em (MARIA et al., 2016).

$$CAE_C = \left(I - \frac{V_R}{(1+i)^n} \right) * \frac{i*(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (13)$$

Onde:

CAE_C : Custo Anual Equivalente do Capital [R\$];
 I : Investimento no sistema de geração própria [R\$];
 V_R : Valor de Resgate do projeto ao final da análise [R\$];
 i : Taxa média de atratividade definida para o projeto [%];
 n : Períodos de análise do projeto [anos];

Ao Custo Anual Equivalente do Capital da usina geradora própria pode, ainda, ser adicionado o custo operacional anual. Tem-se, assim, que o Preço médio da energia gerada é determinado pela Equação 12, reescrita em 14.

$$P_{MG} = \frac{CAE_C + Cop}{E_g} \quad (14)$$

Onde:

P_{MG} : Preço médio da energia gerada [R\$/kWh];
 CAE_C : Custo Anual Equivalente do Capital [R\$];
 Cop : Consumo operacional do sistema [R\$];
 E_g : Energia gerada [kWh];

Por fim, a média ponderada para a obtenção do Preço médio da energia de uma unidade consumidora com duas fontes de energia é determinado pela Equação 15.

$$P_M = \frac{P_{MC} * C_C + P_{MG} * E_G}{C_C + E_G} \quad (15)$$

Onde:

- P_M : Preço médio da energia [R\$/kWh];
- P_{MC} : Preço médio da energia da concessionária [R\$/kWh];
- C_C : Consumo total de energia da concessionária [kWh];
- P_{MG} : Preço médio da energia gerada [R\$/kWh];
- E_G : Energia gerada na unidade consumidora [kWh];

Assim, o Preço médio, necessário para o cálculo do benefício financeiro obtido com a economia na iluminação, pode ser determinado representativamente considerando as duas fontes de fornecimento de energia, uma vez que, a soma do Consumo da concessionária e a Energia gerada determinam a unidade de consumo utilizada pelo equipamento de iluminação.

3.4 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO PROJETO

O investimento em um projeto necessita, para sua decisão, da análise para verificação de sua viabilidade econômico. Tem-se, então, como métodos de análise o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o *Payback* Descontado.

O Valor Presente Líquido, a partir do investimento (I), do Fluxo de Caixa (FC_n) trazido para o Valor presente considerando o período (n), e a partir de uma Taxa média de atratividade (i), representa o benefício financeiro obtido pelo projeto (Equação 16). A Taxa Interna de Retorno, por sua vez, é o valor da Taxa (i) em que o VPL é igual a zero (Equação 16) e o *Payback* Descontado, por fim, determina o período que o Fluxo de Caixa acumulado se torna positivo.

$$VPL = -I + \sum_{n=1}^n \frac{FC_n}{(1+i)^n} \quad (1)$$

Onde:

- VPL : Valor Presente Líquido [R\$];
- FC_n : Fluxo de Caixa para cada período n [R\$];
- n : Período [anos];
- I : Taxa Mínima de Atratividade [].

Observa-se, ainda, que o Valor Futuro (VF) e o Valor Presente (VP) estão relacionados pela Equação 17, e permitem construir o Fluxo de Caixa a partir de custos orçados no presente utilizando-se de taxas como o Índice Geral de Preços - Mercado (IGP-M), assim como, a partir destes, se obter o Valor Presente considerando a Taxa média de Atratividade definida para o projeto.

$$VF = VP * (1 + i)^n \quad (17)$$

Onde:

VF: Valor Futuro [R\$];

VP: Valor Presente [R\$];

i: Taxa aplicada de correção ou de atratividade [].

4 DETERMINAÇÃO DA ECONOMIA DE ENERGIA COM O APROVEITAMENTO DA LUZ NATURAL

Este trabalho propõe o aumento da eficiência energética na iluminação do prédio da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal da Grande Dourados (FAEN/UFGD) a partir do aproveitamento da iluminação natural. Assim, inicialmente, serão apresentados os ambientes, sobretudo, caracterizando-os quanto aos elementos que influenciam no aproveitamento da luz natural e permitem reduzir a potência das luminárias, propiciando, desta forma, economia de energia para o mesmo nível de iluminação.

4.1 CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE DE ESTUDO

O Prédio da FAEN/UFGD, destinado ao atendimento às atividades práticas do curso de Engenharia de Produção (primeiro piso), a administração e aos gabinetes dos professores (segundo piso), é uma estrutura de dois pavimentos composta por 67 espaços funcionais, abrigando laboratórios, direção, secretarias, salas de técnicos e outros ambientes, conforme apresentado no Quadro 2.

O bloco FAEN/UFGD localiza-se no Campus da Unidade II na cidade de Dourados, latitude 22,19° Sul, e longitude 54,93° Oeste, com orientação de 12° Oeste. Considerando a Carta Solar gerada utilizando o aplicativo PD: Sunpath, (2023 (Figura 13) é possível verificar a posição do sol, e seu movimento relativo ao longo do ano, que auxiliarão na interpretação dos resultados das simulações realizadas.

Quadro 2 – Área dos ambientes de uso contínuo do prédio da Faculdade de Engenharia/UFGD em novembro de 2023.

Qde	Ambientes	Módulos	Agrupamento por atividade (m ²)			
			Laboratório	Gabinete de professor	Sala técnico administrativo	Reuniões e Apoio ao discente
Fachada norte pavimento térreo						
1	Qualidade e desenvolvimento do produto	3	79,65			
1	Engenharia de fábrica	3	59,8			
1	Ensino de engenharia de produção	3	66,15			
1	vídeo conferência	3	55,66			
1	Pesquisa operacional e simulação	3	59,8			
1	Gerenciamento de produção e confiabilidade	3	69,6			
	Total =	18	390,66			

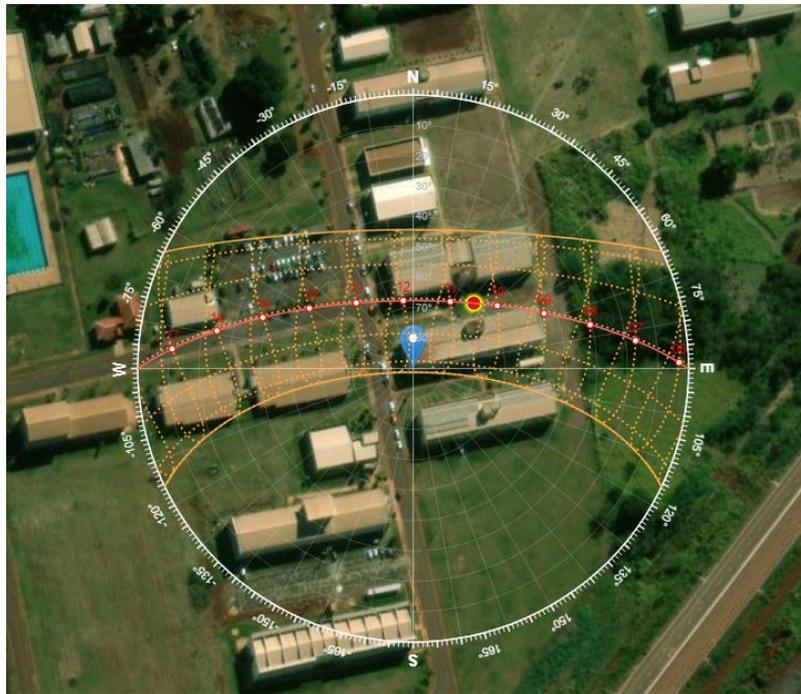
Continuação do Quadro 2

Qde	Ambientes	Módulos	Agrupamento por atividade (m²)			
			Laboratório	Gabinete de professor	Sala técnico administrativo	Reuniões e Apoio ao discente
Fachada sul pavimento térreo e superior						
1	Processamento de materiais	3	69,8			
1	PCP. e engenharia econômica	3	69,8			
1	Sala de apoio técnico	1			19,35	
1	Processos produtivos	3	56,42			
1	Ergonomia, logística e segurança do trabalho	3	59,8			
1	Processos agroindustriais e ambientais	3	69,95			
7	Gabinete de professor	1		19,65		
1	Centro Acadêmico	1				19,65
1	Sala de apoio ao docente	1			19,65	
1	Secretaria acadêmica	2			30,17	
1	Coordenação administrativa	1			19,8	
1	Sala de reuniões	3				60,54
1	Secretaria da Direção	1			19,79	
1	Direção	1			19,81	
1	Sala de reuniões 02	1				19,81
	Total =	34	325,77	137,55	128,57	100
Fachada norte pavimento superior						
8	Gabinete de professor	1		19,65		
1	Programa de Educação Tutorial (PET)	1				19,65
1	Coordenação da pós-graduação	1			19,64	
5	Coordenação de graduação	1			9,9	
	Total =	15		157,2	69,14	19,65

Fonte: (PREFEITURA UNIVERSITARIA, 2023)

A partir da Figura 13 espera-se, como resultado das simulações, desconsiderando-se os elementos de controle da luminosidade natural, maiores níveis de iluminância nos ambientes situados ao lado norte no outono, inverno e primavera (equinócio a solstício de inverno – 21 de março a 23 de setembro). Sobretudo, os ambientes ao lado sul, terão luz solar direta em parte da manhã no período compreendido entre o equinócio e o solstício de verão (23 de setembro a 21 de março). Outrossim, pode se obter resultados invertidos, onde o bloqueio da luz natural direta por elementos de controle reduza o nível de iluminação, enquanto a inexistência destes permitam o máximo aproveitamento da luz difusa nos ambientes.

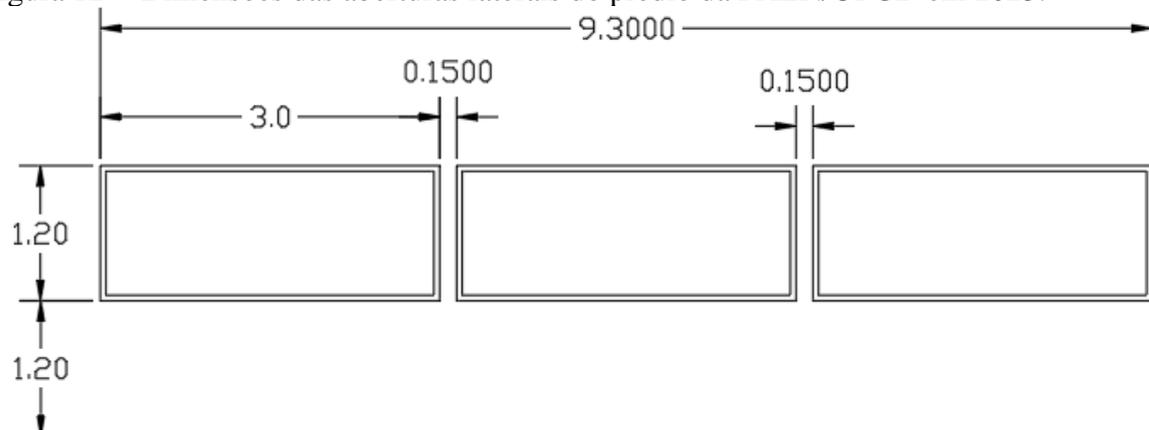
Figura 11 – Carta solar para o bloco FAEN/UFMG, em outubro de 2023.



Fonte: Elaborado pelo autor pelo (PD: Sun-Path, 2023).

As aberturas laterais do prédio são padronizadas em sua altura, largura e peitoril variando a quantidade conforme a área dos ambientes (Figura 14), excetuando-se uma janela, que apresenta largura igual a 3,85 m.

Figura 12 – Dimensões das aberturas laterais do prédio da FAEN/UFMG em 2023.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como elemento de controle de iluminação e ofuscamento, encontram-se instalados no prédio brises no piso térreo e sombreamento por módulos solares no pavimento superior, ambos na fachada Norte (Figuras 15 e 16).

Figura 13 – Fachada norte do prédio FAEN/UFGD, em 30 de agosto de 2023.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 14 – Fachada sul do Prédio FAEN/UFGD, em 30 de agosto de 2023.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A partir da Carta Solar apresentada na Figura 13, verifica-se que os elementos de controle de iluminação e ofuscamento externos foram instalados na fachada Norte considerando a predominância da luz direta do sol no período compreendido entre o equinócio e o solstício de inverno – 21 de março a 23 de setembro, não sendo, sobretudo, previstos elementos ao lado Sul do prédio.

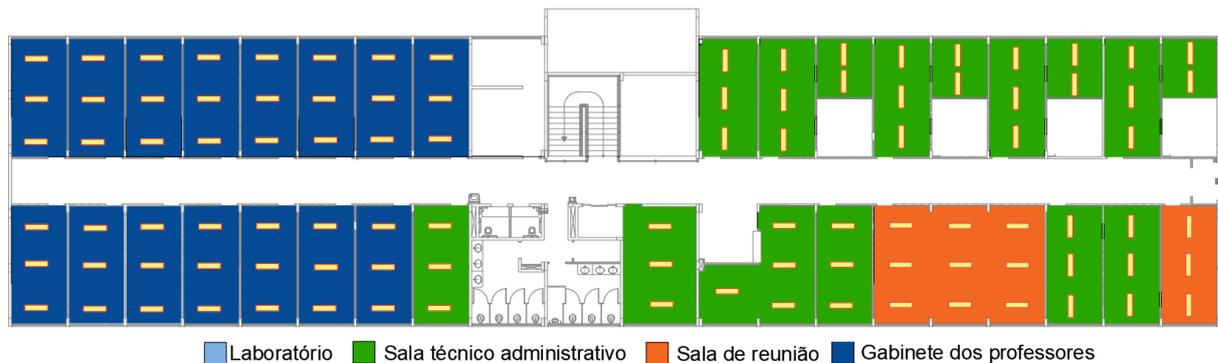
Neste estudo foram considerados os ambientes de uso permanente, de forma que o hall de entrada, corredores, escada, banheiros, copas e espaços sem abertura lateral não são computados nos cálculos, como podem ser observados nas Figuras 15 e 16.

Figura 15 – Ambientes considerados no estudo no pavimento térreo do Bloco FAEN/UFGD, em 2023.



Fonte: Elaborado pelo Autor

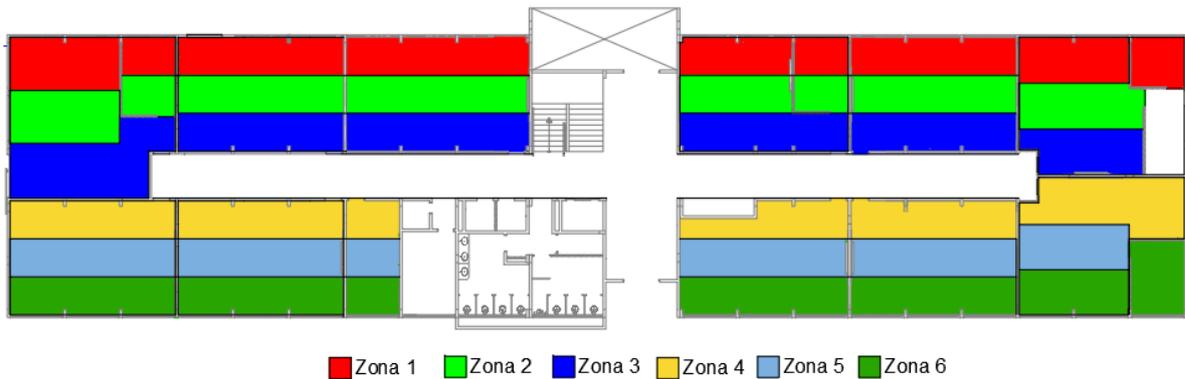
Figura 16 – Ambientes considerados no estudo no pavimento superior do Bloco da FAEN/UFGD, em 2023.



Fonte: Elaborado pelo autor.

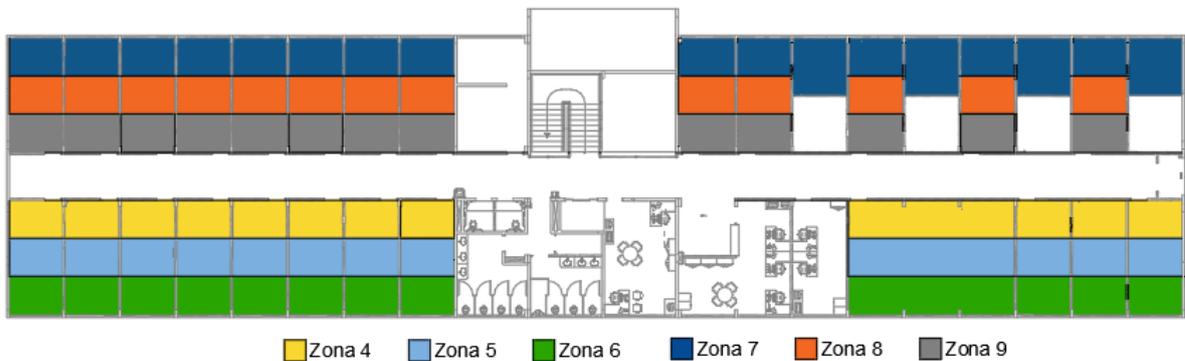
Outrossim, as simulações foram desenvolvidas considerando a similaridade no iluminamento a partir de nove zonas distintas – áreas definidas por faixas que consideram o afastamento das aberturas laterais, o sistema de controle de iluminamento e ofuscamento externo e a posição relativa ao Norte e ao Sul, conforme Figuras 17 e 18.

Figura 17 – Caracterização das zonas de iluminação do Pavimento Térreo do prédio FAEN/UFGD.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 18 – Caracterização das zonas de iluminação do Pavimento Superior do prédio FAEN/UFGD.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Caracterizada a estrutura física do prédio, levantou-se os equipamentos do projeto de iluminação: o sistema é composto por 204 luminárias tubular de LED, com duas lâmpadas de 18 W, conforme Quadro 3.

Quadro 3 – Características das luminárias do Bloco FAEN/UFGD em 2023.

Características	Valor
Potência (W)	2x18
Fluxo luminoso (lm)	3700
Tensão (V)	100-240
Dimensões (mm)	150 x 50 x 1250

Fonte: Claron Iluminação Ltda, 202.

4.2 PROCEDIMENTO DE CÁLCULO E AFERIÇÃO DOS RESULTADOS

Considerando-se que a avaliação da luminosidade natural e artificial proposta para este trabalho será desenvolvida utilizando-se o *software* DIALUX, buscou-se a aferição dos resultados medidos e simulados para dois laboratórios, uma para a fachada Norte e outro, para Sul. Os Laboratórios de Engenharia de Fábrica (norte – Figura 19) e Engenharia Econômica (Sul – Figura 20) possuem comprimento (C) de 9,3 m, largura (L) de 6,4 m e distância entre plano de trabalho e o topo da janela (Hm) de 1,6 m.

Utilizando-se a Equação 1, e as medidas apresentadas, é possível se obter o índice do local (K) igual a 2,37, de forma que, a partir do Quadro 1, é determinado o número de pontos de leitura igual a 25. A medição da iluminância dos dois ambientes ocorreu no dia 23/08/2023, das 9h45 às 10h15, utilizando-se do equipamento Termo-Higro-Anemômetro – Luxímetro digital THAL-300 apresentado na Figura 21, para o céu parcialmente nublado, de acordo (© WEATHERSPARK.COM, 2023).

Figura 19 – Laboratório de Engenharia de Fábrica do bloco FAEN/UFGD, em 23 de agosto de 2023.



Fonte: Acervo pessoal.

Figura 20 – Laboratório de Engenharia Econômica do bloco FAEN/UFGD, em 23 de agosto de 2023.



Fonte: Acervo pessoal.

Figura 21 – Termo-Higro-Anemômetro -Luxímetro digital THAL-300



Fonte: Acervo pessoal

Considerando a iluminância média, mínima, uniformidade e o Índice de Ofuscamento Unificado (*UGR*) definidos pela ABNT NBR 8995-1 (2013 e ABNT 15215-4 (2023, obteve-se os resultados apresentados na Tabela 1.

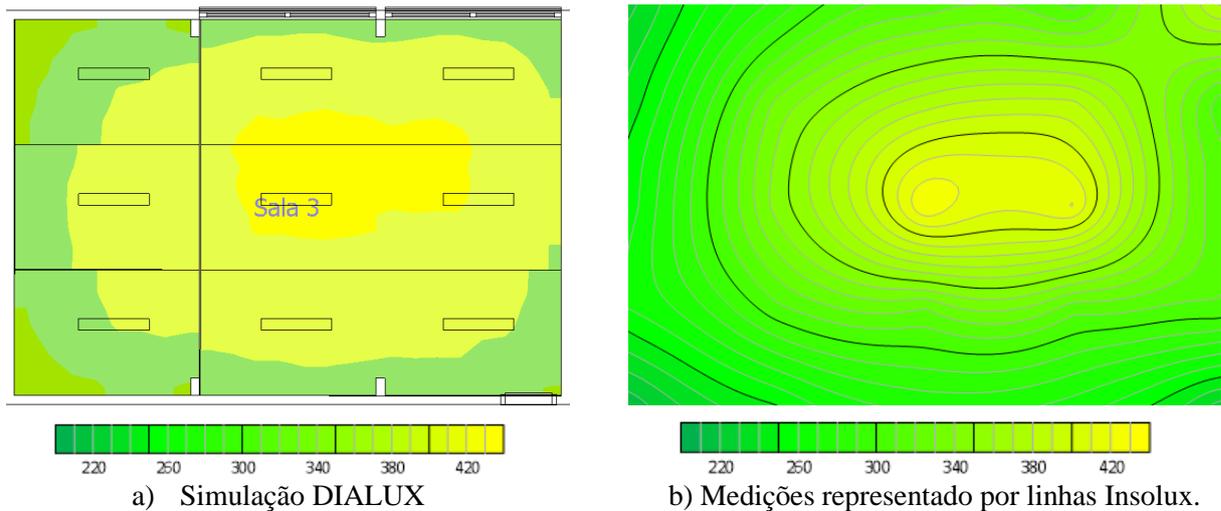
Tabela 1 – Avaliação da medição de iluminância dos laboratórios de Engenharia de Fábrica e Econômica realizada em 23/08/2023.

Parâmetros	Lab. Engenharia de Fábrica	Lab. Engenharia Econômica	ABNT 8995-1
Iluminância Média (lx)	296	822	500
Iluminância Mínima (lx)	220	520	-
Uniformidade da Sala ()	0,7	0,6	0,5
UGR ()	8	15	19

Fonte: Elaborado pelo autor.

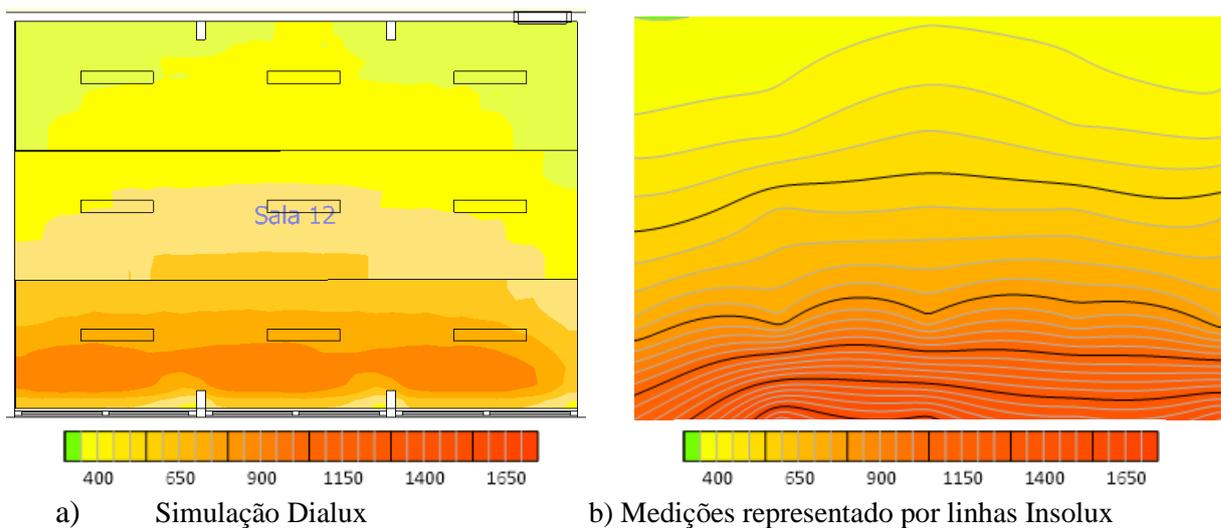
As Figuras 22 e 23 apresentam a comparação entre as medições realizadas e a simulação utilizando-se o Dialux considerando a iluminação total – natural e artificial nos Laboratórios de Engenharia de Fábrica e Engenharia Econômica. As medições realizadas foram convertidas em curvas isolux utilizando-se o *software* Surfer, (2023 para a análise visual dos resultados.

Figura 22 – Iluminância no Laboratório de Engenharia de Fábrica simulada e medida às 9h45 do dia 23 de agosto de 2023



Fonte: Elaborado pelo autor utilizando os softwares Dialux (a) e Surfer (b)

Figura 23 – Iluminância no Laboratório de Engenharia Econômica simulada e medida às 10h do dia 23 de agosto de 2023



Fonte: Elaborado pelo autor utilizando os softwares Dialux (a) e Surfer (b)

Com uniformidades iguais a 0,7 e 0,6 e UGRs de 8 e 15 para os laboratórios de Engenharia de Fábrica e Engenharia Econômica, respectivamente, foram obtidos valores superiores a 0,5 para os primeiros e inferiores a 15 para os segundos, conforme definido em

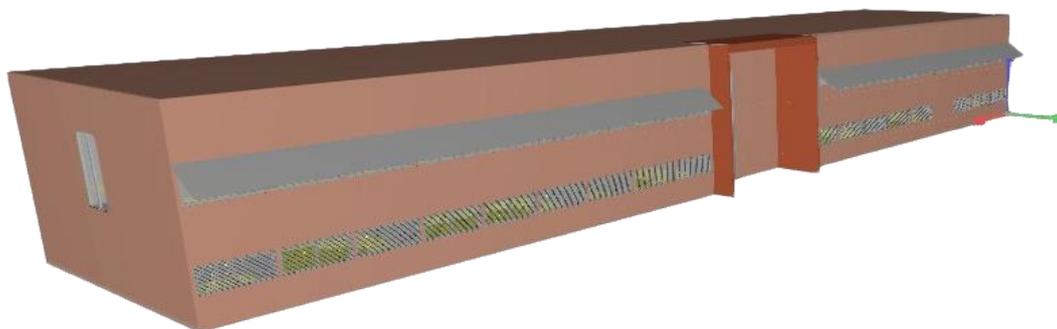
ABNT NBR 8995 (2013, caracterizando-os como satisfatórios. Outrossim, considerando que as medições foram realizadas das 9h45 às 10h15, com as persianas abertas, a composição das fontes de luz artificial e natural, resultou, para o laboratório de Engenharia de Fábrica, iluminância média igual a 296 lx, 59,2% do esperado, enquanto a iluminância no laboratório de Engenharia Econômica obtida foi de 822 lx, superior aos 500 lx definido pela norma.

Observa-se, sobretudo, que, embora se espere maior iluminância ao lado Norte, o uso dos brises como elemento de controle, para o horário e a data da medição, reduz, significativamente, a entrada da luz natural no laboratório de Engenharia de Fábrica. Por outro lado, a inexistência de elementos de controle de luminosidade na fachada Sul do prédio permite a entrada da luz difusa que, somada a luz artificial, supera os 500 lx esperados.

Observa-se, por fim, que o laboratório de Engenharia de Fábrica, tanto para os valores medidos quanto simulados obtiveram distribuições similares e variando entre 220 lx e 420 lx e, assim como o laboratório de Engenharia Econômica, que variou entre 400 lx e 1650 lx. Conclui-se que, comparando-se as curvas isolux medidas e simuladas dispostas nas Figuras 22 e 23, com efeito, o *software* Dialux é adequado para a avaliação da iluminação dos ambientes considerando a iluminação artificial e a natural.

Validado o método, deu-se início a simulação da iluminação dos ambientes do prédio da FAEN/UFGD utilizando-se o *software* DIALUX para o modelo apresentado na Figura 24. De acordo com ABNT NBR 15215-4 (2023, as simulações foram desenvolvidas para o solstício de verão (22/12/2023) e de inverno (22/06/2023), outrossim, foi considerado, ainda, o equinócio (22/03/2023 e 22/09/2023), para maior precisão nos resultados. A referida norma define, ainda, a obtenção dos valores de iluminância em intervalos de 2 horas a partir do início das atividades no prédio.

Figura 24 – Modelo 3D no Dialux do prédio da Faculdade de Engenharia/UFGD, em 2023.



Fonte: Elaborada pelo autor.

4.2.1 Variação dos elementos de controle no limite de ofuscamento

Para o melhor aproveitamento da luz natural, mantendo-se conforto visual dos espaços, ou seja, considerando o controle do ofuscamento, foi variado o ângulo das aletas dos brises dos ambientes da fachada Norte do pavimento térreo. Utilizando-se o *software* Dialux, conforme apresentado na Tabela 2, considerou-se o solstício de verão (22/12/2023), de inverno (22/06/2023) e equinócio (22/03/2023); para as 9h, 12h e 15h em condição de céu claro, enquanto varia-se os ângulos dos brises entre 0° e 75°.

Tabela 2 – Iluminância e UGR nos ambientes da fachada Norte variando-se o ângulo das aletas dos brises para o solstício inverno, verão e equinócio no prédio da FAEN/UFGD.

Ângulo	Horário	Solstício de inverno			Solstício de verão			Equinócio		
		Iluminância (lx)		UGR	Iluminância (lx)		UGR	Iluminância (lx)		UGR
		Média	Máxima		Média	Máxima		Média	Máxima	
0°	09:00	851	5700	23	198	362	8	258	518	8
0°	12:00	1409	4938	21	214	400	9	331	650	9
0°	15:00	2400	11500	27	230	441	9	418	880	9
15°	09:00	339	675	15	146	222	7	206	282	7
15°	12:00	602	939	16	154	236	6	214	296	7
15°	15:00	1286	5524	21	168	261	6	228	321	6
30°	09:00	180	270	8	86	112	4	146	172	4
30°	12:00	366	552	9	96	138	4	156	198	5
30°	15:00	540	1724	13	107	156	6	167	216	6
45°	09:00	120	270	8	39	58	3	99	118	4
45°	12:00	203	280	10	51	69	3	111	129	4
45°	15:00	235	300	11	49	67	3	109	127	4
60°	09:00	43	74	5	28	36	3	88	96	4
60°	12:00	77	99	6	39	48	3	99	108	3
60°	15:00	71	92	6	37	45	3	97	105	3
75°	09:00	14	26	3	14	19	2	74	79	3
75°	12:00	31	57	4	22	25	2	82	85	3
75°	15:00	27	44	4	19	22	2	79	82	3

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se, a partir da Tabela 2, que, limitando-se o UGR em 19 e DA_{MAX} em 5.000 lx, o ângulo da aleta para a maior eficiência no aproveitamento da iluminação natural é de 30° para o solstício de inverno e 0° para o solstício de verão e para o equinócio. Esta constatação pode ser validada a partir da Carta Solar, Figura 13, uma vez que a radiação direta pode ser observada nos meses próximos ao solstício de inverno.

4.2.1 Simulação da iluminação natural nos ambientes

Para a determinação do consumo de energia economizado pelo aproveitamento da iluminação natural é necessário, inicialmente, obter-se os níveis de iluminamento artificial e os proporcionados pela luz do sol nos ambientes. Considera-se, sobretudo, que a análise será desenvolvida utilizando-se dos zoneamentos definidos nas Figuras 18 e 19, ou seja, três zonas por ambiente, conforme afasta-se das aberturas laterais, com um total de nove espaços de controle. Ressalta-se que o piso térreo e superior do lado sul tem comportamento luminotécnico semelhante, de forma que as zonas 4, 5 e 6 se repetem.

Considerando-se, então, o Laboratório de Engenharia de Fábrica, utilizado para a aferição das iluminâncias, e um gabinete de professor, as potências das lâmpadas e luminárias apresentadas no Quadro 3 e a simulação no Dialux do iluminamento artificial das nove zonas estudadas, tem-se a Tabela 3. A Potência Específica de Iluminação é determinada a partir da Equação 2.

Tabela 3 – Simulação da iluminação artificial das zonas do prédio da FAEN/UFGD em 2013.

Zonas	Iluminância (lx)		Uniformidade []	UGR []	Potência [W]	Área [m ²]	DPI [W/m ²]	Potência Específica de Iluminação [IW/(lx.m ²)]
	Média	Máxima						
1	310	396			108	20,0		
2	358	419	0,69	8	108	20,0		
3	298	397			108	20,0		
Média	322	404			108	20,0	5,40	1,68E-02
4	238	327			108	20,0		
5	292	331	0,68	7	108	20,0		
6	268	304			108	20,0		
Média	266	321			108	20,0	5,40	2,03E-02
7	181	219			36	6,5		
8	213	238	0,75	6	36	6,5		
9	181	220			36	6,5		
Média	192	226			36	6,5	5,58	2,91E-02

Fonte: Elaborado pelo autor.

Destaca-se que, a partir da Tabela 3, a modularização dos ambientes tem influência no iluminamento obtido. Considerando que o Índice do Recinto (k), que define o Fator de Utilização (Fu) para o dimensionamento das luminárias, reduz a iluminância das zonas cujos ambientes possuem largura igual 3 m, como o caso dos gabinetes dos professores do piso

superior. Observa-se que, enquanto as zonas 1 a 3 tem iluminância média igual a 322 lx, as zonas 7 a 9, do piso superior, apresenta 192 lx.

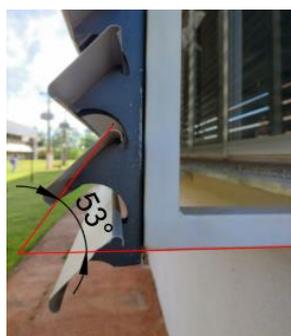
A partir do exposto, será considerado neste trabalho, que a iluminação natural produzirá a economia de energia equivalente a redução da potência tendo como referência o nível de iluminamento verificado na simulação. Assim, embora seja definido em ABNT NBR 8995-1 (2013 500 lx para salas de aplicação e laboratórios e 300 lx para sala de professores, foi obtido 322 lx e 266 lx para a primeira e 192 lx para a segunda.

De acordo com a Tabela 3, para o Laboratório de Engenharia de Fábrica definiu-se os valores das luminárias e áreas para a zona 1, 2 e 3 individualmente: três luminárias com duas lâmpadas de Led de 18 W (108 W) em uma área de 20 m². De igual forma, para a zona 7, 8 e 9, o gabinete, com 1 luminária de duas lâmpadas Led de 18 W (36 W) em uma área de 6,5 m².

Obtém-se, na Tabela 3, 5,40 W/m² e 5,58 W/m² para a Densidade de Potência de Iluminação (DPI) e 1,68E-02 W/(lx.m²), 2,03E-02 W/(lx.m²) e 2,91E-02 W/(lx.m²) para os Potência Específica de Iluminação a partir da média das zonas 1, 2 e 3; 4, 5 e 6 e 7, 8 e 9, respectivamente. Por fim, obtendo-se a contribuição da iluminação natural, em lx, pode ser determinada a redução da potência elétrica, considerando os índices apresentados, multiplicados pelas áreas em análise.

A Tabela 4 sistematiza as simulações realizadas. Tem-se, então, 108 simulações, que consideram o céu claro, parcial e encoberto para uma data relativa ao Equinócio, aos Solstícios de verão e de inverno, a partir do ângulo fixo dos brises existentes (53° conforme Figura 25) e do ângulo indicado para os brises para o lado norte, assim como para a fachada sul. Observa-se, ainda, que, o conjunto de simulação apresentado foi realizado para quatro horários distintos – 7h, 9h, 13h e 15h, onde, para cada um, são determinados três valores, um para cada zona do ambiente estudado, Gráficos 3 a 12.

Figura 25 – Ângulo do brise do prédio da Faculdade de Engenharia/UFGD, em 2023.



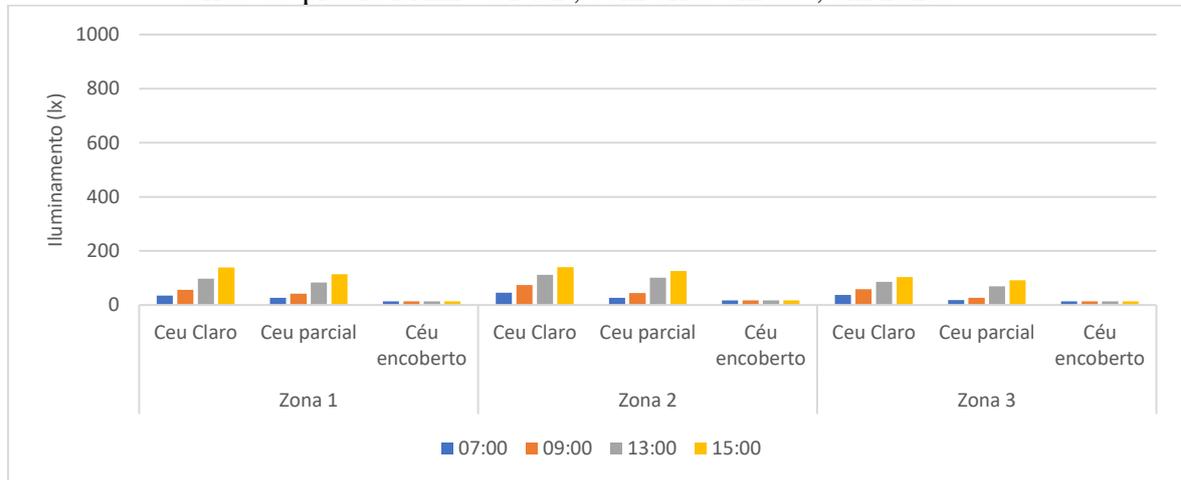
Fonte: Acervo pessoal

Tabela 4 – Sistematização das simulações de iluminação no Dialux para o prédio da FAEN/UFGD.

Meses	Equinócio			Solstício de verão			Solstício de inverno		
	Norte		Sul	Norte		Sul	Norte		Sul
	brise fixo (°)	brise regulado (°)		brise fixo (°)	brise regulado (°)		brise fixo (°)	brise regulado (°)	
fevereiro/agosto	53	0	-						
março/setembro	53	0	-						
abril/outubro	53	0	-						
maio							53	30	-
junho							53	30	-
julho							53	30	-
novembro				53	0	-			
dezembro				53	0	-			
janeiro				53	0	-			

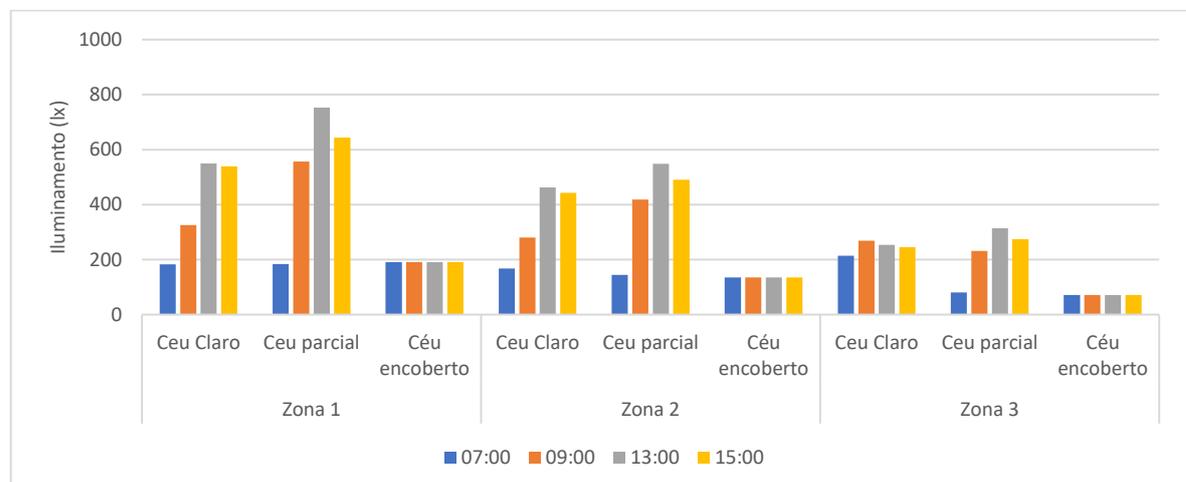
Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 3 – Disponibilidade de luz natural no equinócio para a fachada norte do pavimento térreo do prédio FAEN/UFGD, com brise em 53°, em 2023.



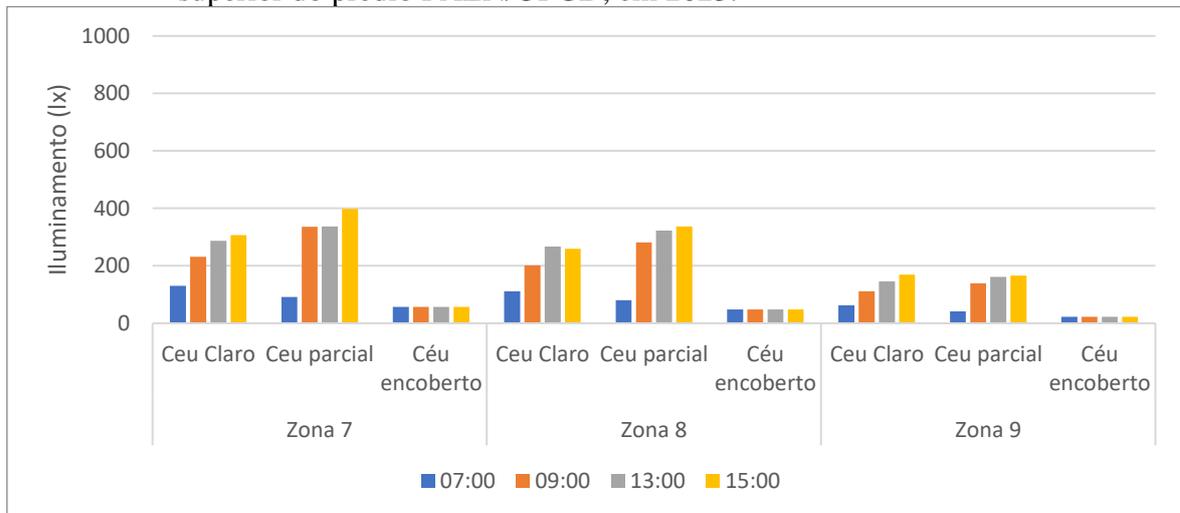
Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 4 – Disponibilidade de luz natural no equinócio para a fachada norte do pavimento térreo do prédio FAEN/UFGD, com brise em 0°, sugerido.



Fonte: Elaborado pelo autor.

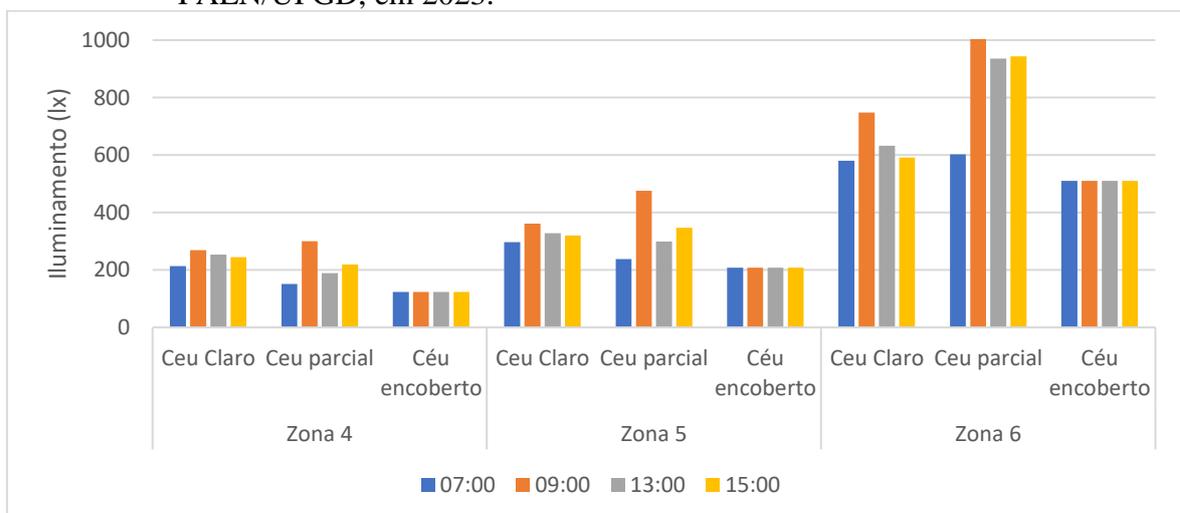
Gráfico 5 – Disponibilidade de luz natural no equinócio para a fachada norte pavimento superior do prédio FAEN/UFGD, em 2023.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se, como exemplo, na zona 1, que a disponibilidade da iluminação natural, aumentou de 83 lx para 753 lx às 13h para o céu parcialmente encoberto, no equinócio quando o ângulo do brise é alterado de 53° (condição atual) para a abertura completa (0°), conforme obtido na Tabela 2. Tem-se, ainda, iluminação natural para as zonas 7 e 8 (piso superior, fachada norte), obteve-se iluminação de 398 lx e 337 lx para céu parcialmente encoberto às 15h, respectivamente. É apresentada no Gráfico 6 a simulação para a fachada sul no equinócio.

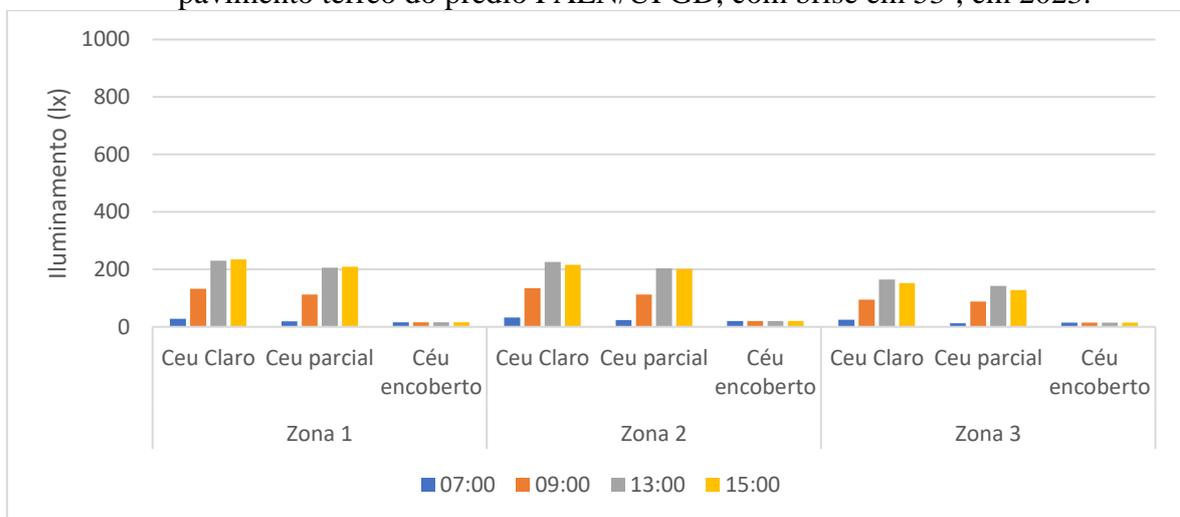
Gráfico 6 – Disponibilidade de luz natural no equinócio para a fachada sul do prédio FAEN/UFGD, em 2023.



Fonte: Elaborado pelo autor.

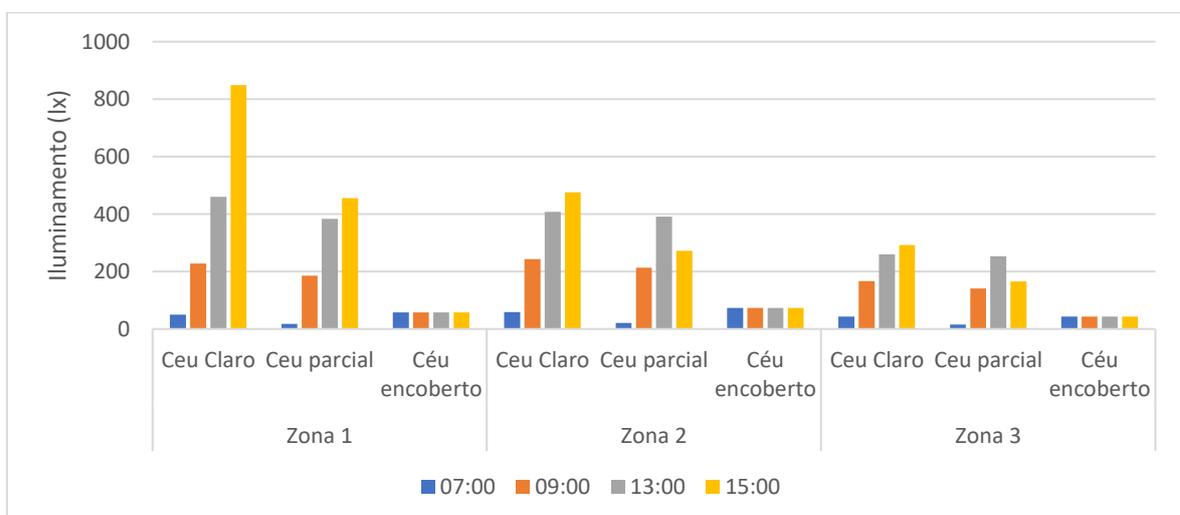
A partir do Gráfico 6, verifica-se que a iluminação natural para área próxima a janela, zona 6 (piso térreo e superior) é superior ao esperado para os ambientes (300 lx para gabinetes de professores e 500 lx para laboratórios), permitindo o desligamento completo da iluminação artificial dessa área para as três condições do céu (claro, parcial e encoberto). A zona 5, por sua vez, alcança a iluminação necessária para os gabinetes para o céu claro, sobretudo, necessita complementação artificial outras condições de cobertura do céu e para os laboratórios. Os Gráficos 7 a 9 referem-se ao Solstício de inverno.

Gráfico 7 – Disponibilidade de luz natural no Solstício de inverno para a fachada norte pavimento térreo do prédio FAEN/UFGD, com brise em 53°, em 2023.



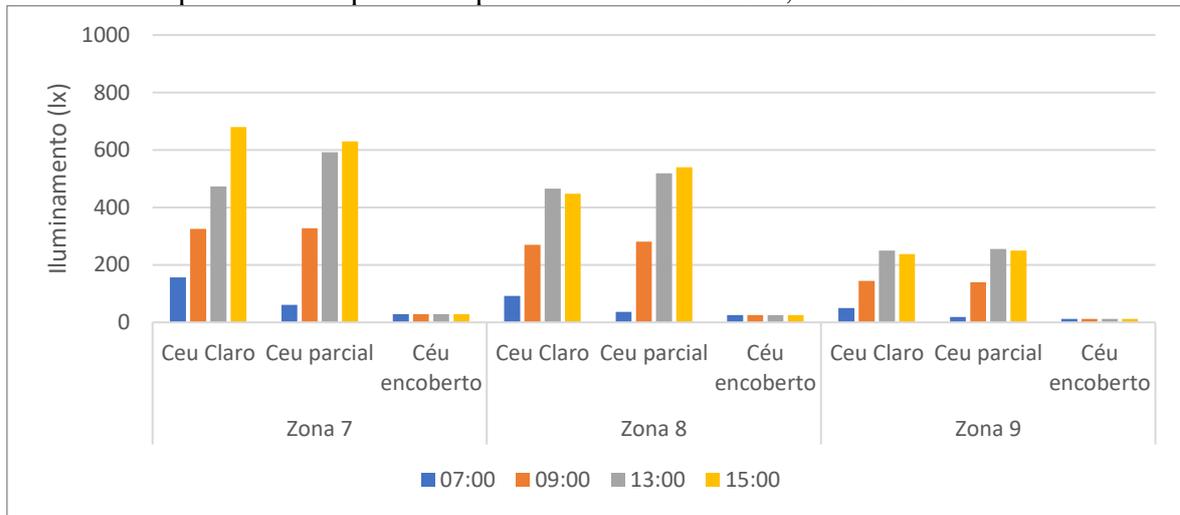
Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 8 – Disponibilidade de luz natural no Solstício de inverno para a fachada norte pavimento térreo do prédio da FAEN/UFGD, brise à 30°, sugerido.



Fonte: Elaborado pelo autor.

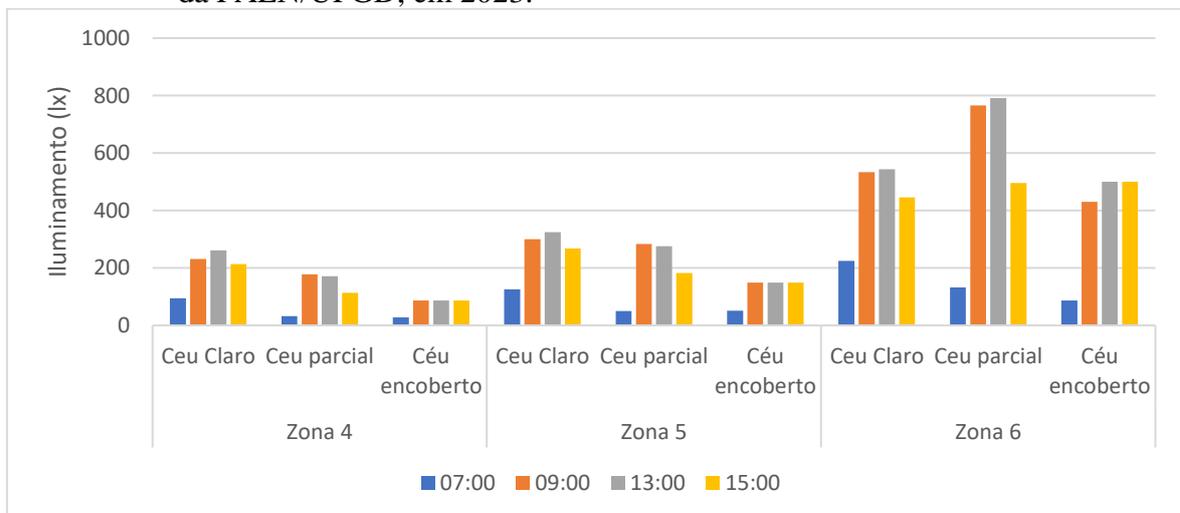
Gráfico 9 – Disponibilidade de luz natural no Solstício de inverno para a fachada norte pavimento superior do prédio da FAEN/UFGD, em 2023.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o Solstício de inverno, por sua vez, observa-se na zona 1, que a disponibilidade da iluminação natural, aumentou de 235 lx para 849 lx às 15h para o céu claro, quando o ângulo do brise é igual a 30°, conforme obtido na Tabela 2. Tem-se, ainda, iluminação natural para as zonas 7 a 8 (piso superior, fachada norte), uma iluminância de 680 lx e 448 lx para condições de céu claro às 15h, respectivamente. No Gráfico 10 é apresentada a simulação para a fachada sul no Solstício de inverno.

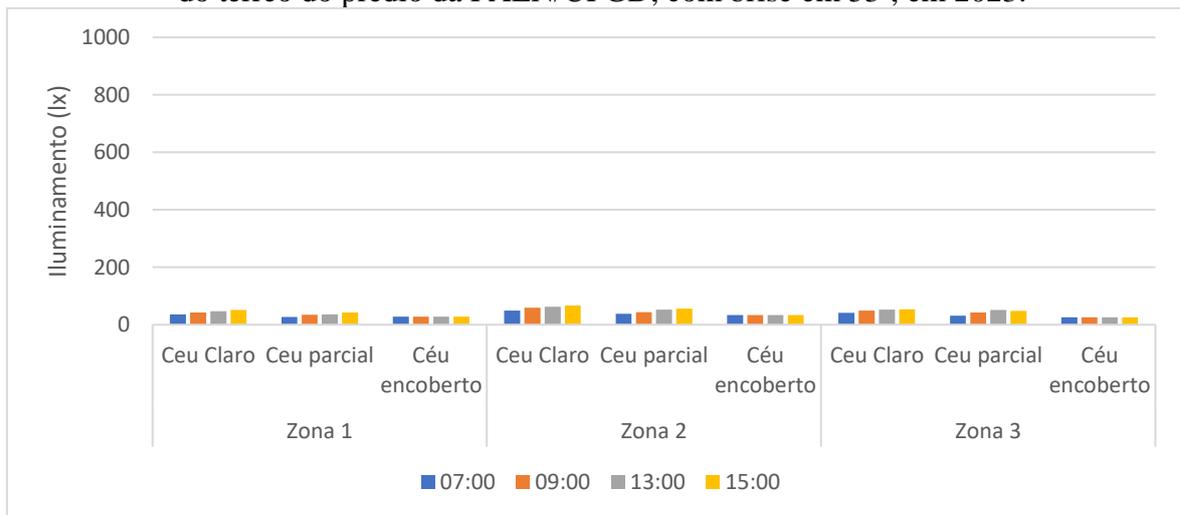
Gráfico 10 – Disponibilidade de luz natural no Solstício de inverno para a fachada sul do prédio da FAEN/UFGD, em 2023.



Fonte: Elaborado pelo autor.

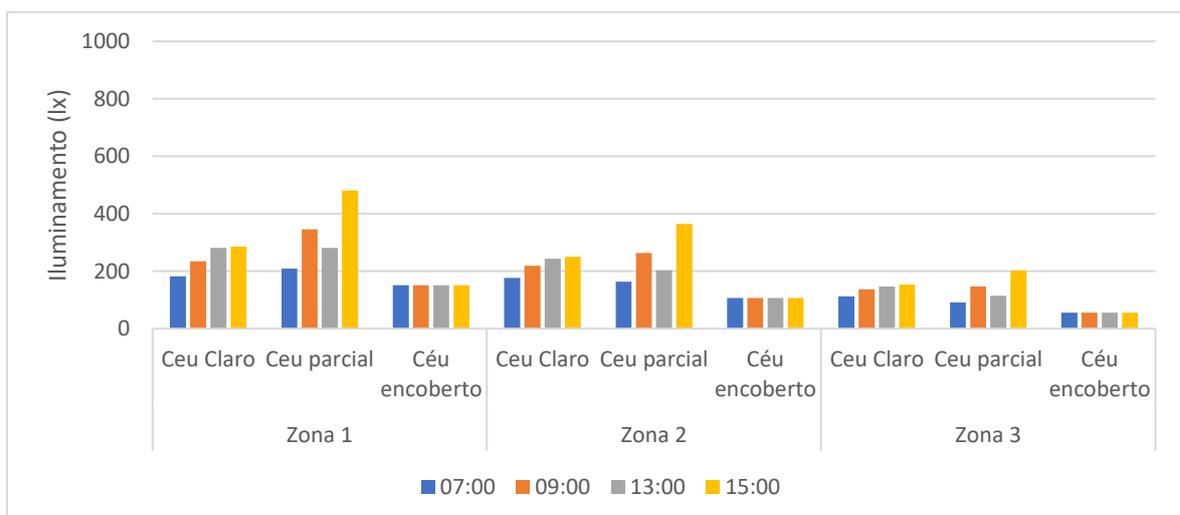
A partir do Gráfico 10, que apresentam os ambientes na fachada sul, verifica-se que a iluminação natural na zona 6 supera o estabelecido para os gabinetes do piso superior para os horários 9h, 13h e 15h simulados; outrossim necessita complementação artificial para os laboratórios, apresentando iluminância inferior a 225 lx para 7 h. Os Gráficos 11 a 13 referem-se ao Solstício de verão.

Gráfico 11 – Disponibilidade de luz natural no Solstício de verão na fachada norte pavimento do térreo do prédio da FAEN/UFGD, com brise em 53°, em 2023.



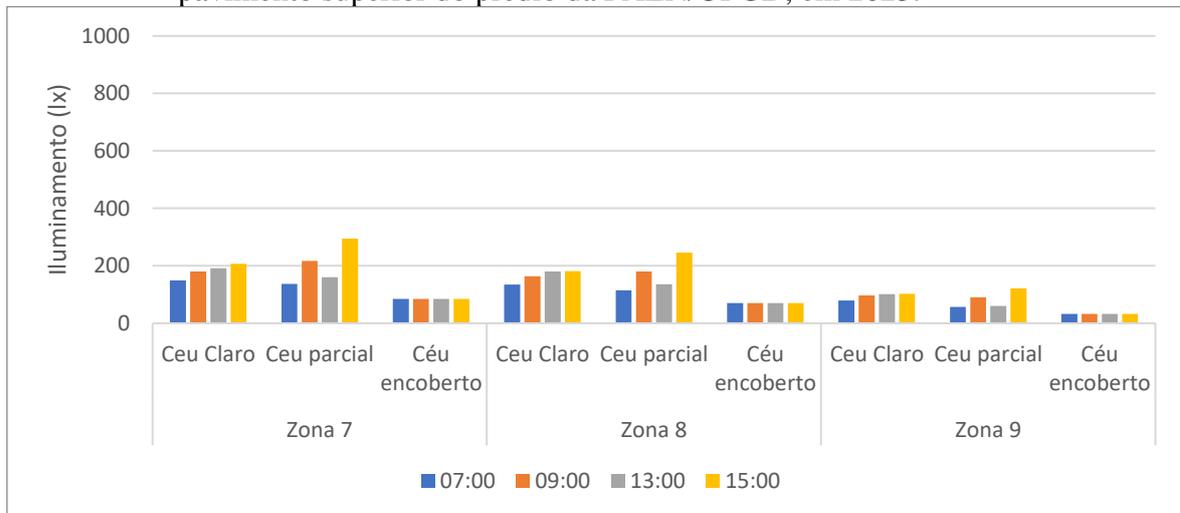
Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 12 – Disponibilidade de luz natural no Solstício de verão na fachada norte pavimento do térreo do prédio da FAEN/UFGD, brise à 0°, em 2023.



Fonte: Elaborado pelo autor.

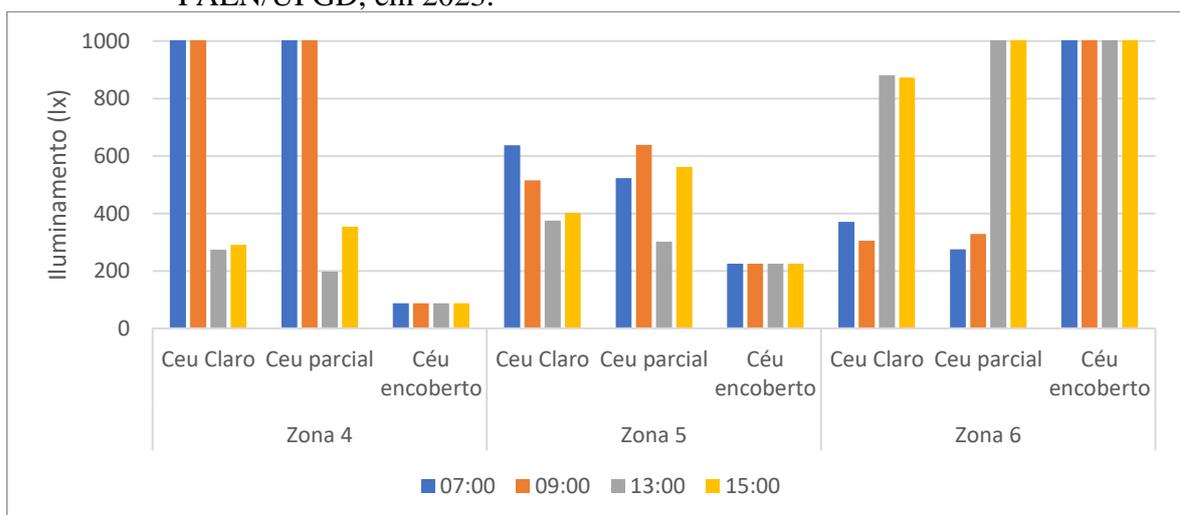
Gráfico 13 – Disponibilidade de luz natural no Solstício de verão na fachada norte do pavimento superior do prédio da FAEN/UFGD, em 2023.



Fonte: Elaborado pelo autor.

No Solstício de verão, por fim, enquanto os brises em 53° bloqueiam a luz natural limitando a iluminância em 67 lx, à 0° chega até 481 lx na zona 1, 15h e em sol parcialmente encoberto. No piso superior, por sua vez, obteve-se uma iluminância de 295 lx para as condições de céu parcialmente encoberto as 15h, para a zona 7. No gráfico 14 é apresentada a disponibilidade de luz natural para fachada sul no Solstício de verão.

Gráfico 14 – Disponibilidade de luz natural no Solstício de verão na fachada sul do prédio da FAEN/UFGD, em 2023.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Por fim, considerando a Carta Solar apresentada na Figura 13, a luz direta propicia na fachada sul iluminâncias de até 1.591 lx, que foram truncadas em 1.000 lx para a padronização das escalas dos gráficos. Embora não ultrapasse o limite de iluminamento para ofuscamento definido (DA_{MAX} igual 5.000 lx), a luz direta provoca desconforto aos usuários dos ambientes, sendo necessária a utilização de persianas considerando as primeiras horas na zona 4 em céu claro e parcialmente encoberto e para a zona 6 em sol encoberto, por exemplo. Deve-se destacar, ainda, que as iluminância apresentadas nos gráficos referem-se a valores médio, de forma que, o desconforto deve ser observado para os valores máximos, conforme Tabela 5.

Tabela 5 – Iluminâncias máximas e UGR no Solstício de verão na fachada sul no bloco da FAEN/UFGD, em 2023.

Horário	Condição de céu	Iluminância Máxima [lx]	UGR
07:00	claro	22.280	12
09:00	claro	50.433	17
07:00	parcialmente encoberto	11.743	11
09:00	parcialmente encoberto	27.192	13

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tem-se, então, pontos com iluminância que alcançam 50.433 lx no Solstício de verão na fachada sul às 9h de um dia claro, condição de extremo desconforto, caso não seja utilizado elementos de controle de luminosidade.

4.2.2 Determinação da iluminação natural média nos ambientes

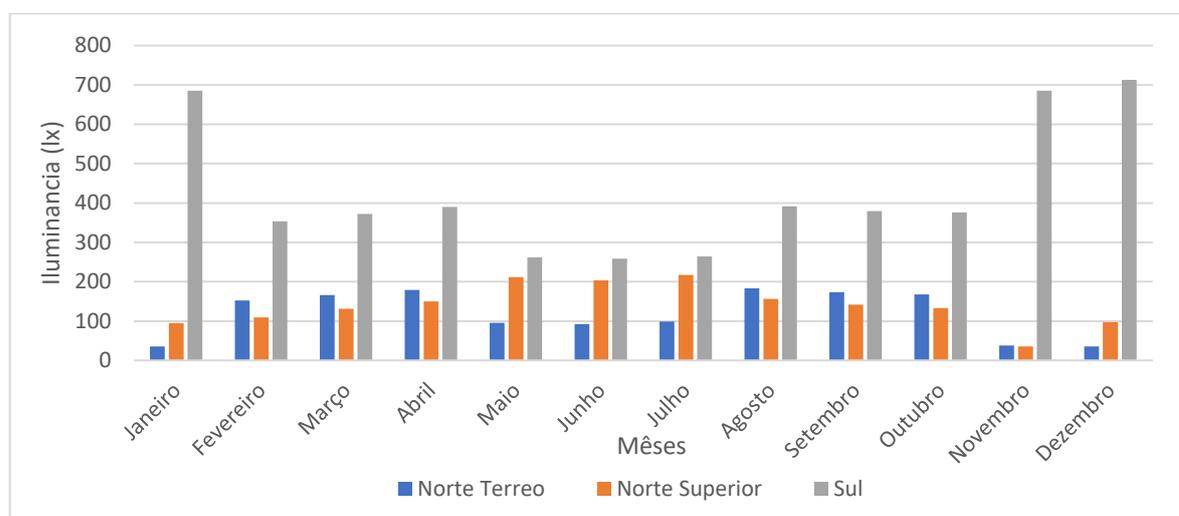
Determinadas as iluminâncias nas zonas 1 a 9 do prédio da FAEN/UFGD, para os Solstício de Inverno e Verão e Equinócio, é possível ponderar os dados considerando a probabilidade de ocorrência de céu ao longo do ano utilizando-se as Equações 3 a 5. A iluminância ao longo do ano é, então, associada ao Equinócio e os Solstícios conforme a Tabela 4 (data do efeito astronômico simulado e meses adjacentes) – tem-se, então, a Tabela 6 e o Gráfico 15.

Tabela 6 – Probabilidade de ocorrência de céu e iluminâncias natural média mensal nos ambientes do bloco da FAEN/UFGD, em 2023.

Meses	Probabilidade de ocorrência de céu ()			Iluminância por Fachada e Piso (lx)		
	claro	parcialmente encoberto	encoberto	Norte Térreo	Norte Superior	Sul
Janeiro	0,17	0,20	0,63	36	95	685
Fevereiro	0,17	0,23	0,60	152	110	353
Março	0,29	0,25	0,46	166	131	373
Abril	0,38	0,28	0,34	179	150	390
Maió	0,42	0,26	0,32	96	212	262
Junho	0,43	0,22	0,35	93	203	259
Julho	0,50	0,20	0,30	99	217	264
Agosto	0,50	0,22	0,28	183	157	392
Setembro	0,40	0,22	0,38	173	142	379
Outubro	0,28	0,27	0,45	168	133	376
Novembro	0,27	0,20	0,53	38	36	685
Dezembro	0,18	0,24	0,58	36	97	713

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (© WEATHERSPARK.COM, 2023).

Gráfico 15 – Disponibilidade de luz natural mensal média no prédio da FAEN/UFGD, em 2023.



Fonte: Elaborado pelo autor

Observa-se, a partir do Gráfico 15, que as maiores iluminâncias apresentam-se na fachada sul, alcançando 713 lx em dezembro. Ainda que se espere maiores níveis de iluminação para a fachada norte (piso térreo e superior), os elementos de controle de iluminação natural – brises e módulos solar fotovoltaico utilizados – reduzem o aproveitamento da luz do sol.

4.2.3 Determinação da energia economizada, consumida e total

Obtidas as iluminâncias médias nos ambientes dispostos ao Norte, separado em pavimento térreo e superior, e no Sul, agrupando os dois pisos, é necessária a determinação da energia economizada, a consumida e a total, que será utilizada na proposta de automatização das luminárias para o aumento da eficiência na iluminação do prédio da FAEN/UFGD.

Considerando os ambientes apresentados no Quadro 2, e agrupando-os por atividades, foram determinadas as Taxas de utilização, as áreas e as potências de iluminação conforme a Tabela 7. Foi definida a iluminância de referência como 300 lx, considerando-se as iluminâncias médias obtidas em simulação para os ambientes ao Norte, pavimento térreo (zonas 1, 2, 3) e pavimento superior (zonas 7, 8, 9), e ao Sul, térreo e superior (zonas 4, 5, 6), iguais a 322 lx, 266 lx e 192 lx, respectivamente.

Tabela 7 – Áreas, taxa de utilização e potência de iluminação dos ambientes agrupados por atividade no prédio da FAEN/UFGD, em 2023

Espaços por Atividades e Indicador	Taxa de utilização (%)	Fachadas e pavimentos (m ²)			Potência de Iluminação (W)		
		Norte pavimento térreo	Sul pavimento térreo e superior	Norte pavimento superior	Norte pavimento térreo	Sul pavimento térreo e superior	Norte pavimento superior
Potência Específica de Iluminação [W/(lx.m ²)]		1,68E-02	2,03E-02	2,91E-02			
	75	390,66	325,77		1.965,43	1.984,01	
professor	75		137,55	157,20		837,71	1.373,31
administrativo	100		128,57	69,14		783,02	604,01
Apoio ao discente	25		100,00	19,65		609,02	171,66
Total=		390,66	691,89	245,99	1.965,43	4.213,77	2.148,99

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir da Potência Específica de Iluminação, das áreas agrupadas por atividade e da iluminância de referência, foram obtidas a Potência de iluminação de 1,96 kW, 4,21 kW e 2,15 kW para as três áreas analisadas no Prédio FAEN/UFGD (norte térreo, sul térreo e superior e Norte superior) conforme Tabela 7. Em sequência, deve-se obter a Porcentagem de Aproveitamento da Luz Natural (PALN) - calculada relativamente a iluminância de referência de 300 lx, de forma a obter 100% para valores iguais ou superiores a referência e uma relação linear para os valores inferiores dada pela Equação 6, Tabela 8. A Tabela 8 apresenta, ainda, a Demanda evitada (obtida pela Equação 11), determinada considerando a linearidade entre a iluminância e a potência dos ambientes.

Tabela 8 – Porcentagem de aproveitamento da luz natural, e demanda evitada no prédio FAEN/UFGD, em 2023

Meses	Aproveitamento da luz natural (PALN) (%)			Demanda evitada (kW)							
	Norte Terreo	Norte Superior	Sul	Norte Terreo	Norte Superior			Sul Térreo e Superior			
				Laboratório	Gabinete de professor	Sala técnico administrativo	Reuniões e Apoio ao discente	Laboratório	Gabinete de professor	Sala técnico administrativo	Reuniões e Apoio ao discente
Janeiro	11,8	31,6	100,0	0,233	0,434	0,191	0,054	1,984	0,838	0,783	0,609
Fevereiro	50,7	36,5	100,0	0,996	0,502	0,221	0,063	1,984	0,838	0,783	0,609
Março	55,5	43,7	100,0	1,090	0,599	0,264	0,075	1,984	0,838	0,783	0,609
Abril	59,7	49,9	100,0	1,174	0,685	0,301	0,086	1,984	0,838	0,783	0,609
Mai	31,9	70,6	87,2	0,626	0,970	0,427	0,121	1,730	0,730	0,683	0,531
Junho	30,9	67,8	86,2	0,607	0,931	0,409	0,116	1,711	0,722	0,675	0,525
Julho	33,0	72,4	88,0	0,649	0,994	0,437	0,124	1,747	0,738	0,689	0,536
Agosto	60,9	52,2	100,0	1,198	0,717	0,315	0,090	1,984	0,838	0,783	0,609
Setembro	57,7	47,3	100,0	1,134	0,649	0,285	0,081	1,984	0,838	0,783	0,609
Outubro	56,0	44,4	100,0	1,102	0,609	0,268	0,076	1,984	0,838	0,783	0,609
Novembro	12,6	12,0	100,0	0,247	0,164	0,072	0,021	1,984	0,838	0,783	0,609
Dezembro	12,0	32,5	100,0	0,235	0,446	0,196	0,056	1,984	0,838	0,783	0,609

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se que, enquanto a fachada sul obtém o aproveitamento de 100% em nove meses, os ambientes localizados no térreo da fachada norte alcançam 60,9%, enquanto ao norte, para o piso superior, 72,4%. A demanda evitada, por sua vez, varia entre 21 W no ambiente caracterizado como Sala de Reuniões e Apoio ao discente, e 1,98 kW para os laboratórios.

Segue, para a determinação do consumo, a definição do número de horas de funcionamento dos ambientes. Para isso, foram utilizados o Calendário Acadêmicos da Graduação da UFGD (PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE GRADUAÇÃO, 2023, a Taxa de utilização estimada, Tabela 7, para um expediente de 10 horas considerado, 7h às 17h, Tabela 9, obtida pela Equação 8.

Tabela 9 – Tempo de utilização mensal dos ambientes por atividade do prédio FAEN/UFGD, em 2023

Meses	Dias letivos	Tempo de utilização (h)			
		Laboratório	Gabinete de professor	Sala técnico administrativo	Reuniões e Apoio ao discente
Janeiro	8	60,0	60,0	80,0	20,0
Fevereiro	21	157,5	157,5	210,0	52,5
Março	27	202,5	202,5	270,0	67,5
Abril	21	157,5	157,5	210,0	52,5
Mai	15	112,5	112,5	150,0	37,5
Junho	25	187,5	187,5	250,0	62,5
Julho	26	195,0	195,0	260,0	65,0
Agosto	27	202,5	202,5	270,0	67,5
Setembro	13	97,5	97,5	130,0	32,5
Outubro	23	172,5	172,5	230,0	57,5
Novembro	24	180,0	180,0	240,0	60,0
Dezembro	18	135,0	135,0	180,0	45,0

Fonte: Elaborado pelo autor.

Por fim, calcula-se a energia economizada, consumida e total para os ambientes, assim como, para o prédio, bem como a economia percentual obtida pelo projeto de aproveitamento da iluminação natural, utilizando-se as Equações 7 a 10, cujos valores são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Energia economizada, consumida e total em iluminação no prédio da FAEN/UFGD, em 2023.

Meses	Energia (kWh)								
	Laboratório			Gabinete de professor			Sala técnico administrativo		
	Economia	Consumida	Total	Economia	Consumida	Total	Economia	Consumida	Total
Janeiro	133,0	104,0	237,0	76,3	56,4	132,7	77,9	5,3	83,2
Fevereiro	469,4	152,6	622,0	80,4	267,9	348,2	80,3	138,2	218,5
Março	622,6	177,2	799,8	86,2	361,5	447,7	83,7	197,1	280,9
Abril	497,4	124,6	622,0	91,4	256,9	348,2	86,8	131,7	218,5
Mai	265,0	179,3	444,3	102,0	146,7	248,7	88,7	67,3	156,0
Junho	434,6	305,9	740,5	99,2	315,4	414,6	86,8	173,3	260,1
Julho	467,2	302,9	770,1	103,9	327,3	431,1	90,1	180,3	270,5
Agosto	644,3	155,4	799,8	93,3	354,5	447,7	87,9	193,0	280,9
Setembro	304,0	81,1	385,1	89,2	126,4	215,6	85,5	49,8	135,2
Outubro	532,3	149,0	681,3	86,8	294,6	381,4	84,1	155,2	239,3
Novembro	401,6	309,3	710,9	60,1	337,9	398,0	68,4	181,2	249,7
Dezembro	299,6	233,6	533,2	77,0	221,5	298,5	78,3	108,9	187,2
Total	5.071,0	2.275,0	7.346,0	1.045,8	3.066,7	4.112,5	998,5	1.581,4	2.579,9

Meses	Energia (kWh) (continuação)						Economia (%)
	Reuniões e Apoio ao discente			Prédio FAEN/UFGD			
	Economia	Consumida	Total	Economia	Consumida	Total	
Janeiro	13,3	33,6	46,8	300,5	199,2	499,7	60,1
Fevereiro	35,3	87,7	123,0	665,3	646,4	1.311,7	50,7
Março	46,2	111,9	158,1	838,7	847,8	1.686,5	49,7
Abril	36,5	86,5	123,0	712,0	599,7	1.311,7	54,3
Mai	24,5	63,4	87,8	480,3	456,7	936,9	51,3
Junho	40,1	106,3	146,4	660,6	900,9	1.561,5	42,3
Julho	42,9	109,3	152,2	704,2	919,8	1.624,0	43,4
Agosto	47,2	110,9	158,1	872,6	813,9	1.686,5	51,7
Setembro	22,4	53,7	76,1	501,1	310,9	812,0	61,7
Outubro	39,4	95,3	134,7	742,6	694,0	1.436,6	51,7
Novembro	37,8	102,7	140,5	567,9	931,2	1.499,1	37,9
Dezembro	29,9	75,5	105,4	484,9	639,4	1.124,3	43,1
Total	415,3	1.036,8	1.452,1	7.530,6	7.959,8	15.490,4	48,6

Fonte: Elaborado pelo autor.

A simulação do projeto obteve 48,6% de economia de energia na iluminação no prédio da FAEN/UFGD, com uma redução de 15.490,4 kWh para 7.959,8 kWh, ou seja, 7.530,6 kWh ano. Observa-se, ainda, que a maior economia de energia ocorre no mês de agosto, com 872,6 kWh e a menor, em janeiro, 300,5 kWh.

5 DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO DE CONTROLE DE ILUMINAÇÃO UTILIZANDO O ARDUINO

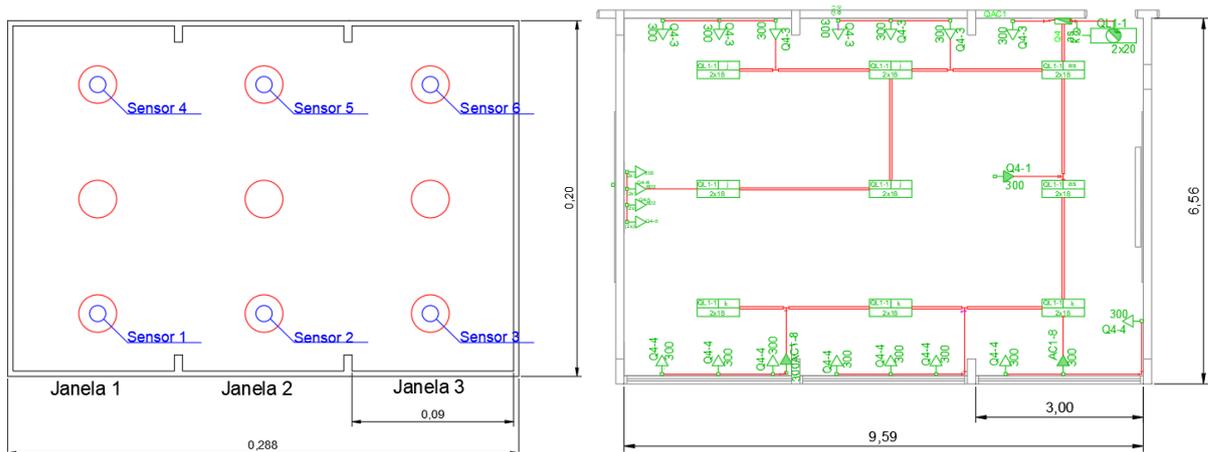
Neste Capítulo será apresentado o desenvolvimento de um equipamento utilizando o controlador Arduino, a construção, o ensaio do protótipo e a avaliação econômica para a aplicação proposta. O equipamento desenvolvido será, ainda, comparado com a viabilidade econômica da instalação de um sistema disponível comercialmente.

5.1 PROJETO DO PROTÓTIPO LUMINOTÉCNICO DO LABORATÓRIO

O protótipo proposto, para a obtenção da economia de energia em iluminação utilizando a luz natural, deverá detectar o iluminamento em regiões preestabelecidas no ambiente e controlar a potência das luminárias das áreas, de forma a complementar a iluminância ao nível especificado em projeto.

Foi escolhido o Laboratório de Engenharia Econômica do prédio da FAEN/UFGD para o desenvolvimento do protótipo – localizando nas zonas 4, 5 e 6, cuja distribuição luminotécnica foi apresentada na Figura 23, e cujas dimensões são apresentadas na Figura 26.

Figura 26 – Características do Protótipo do Laboratório de Engenharia Econômica do bloco FAEN/UFGD.



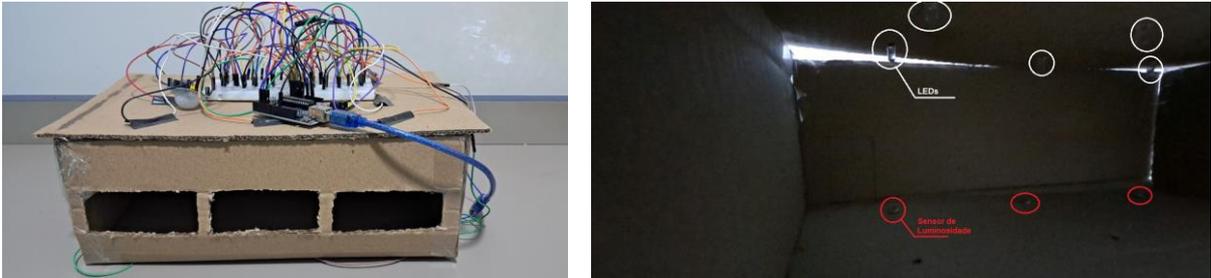
a) Dimensões do Protótipo
Fonte Elaborado pelo autor.

b) Dimensões Laboratório de Engenharia Econômica

De acordo com NBR 15215, que estabelece a escala máxima de 1:40, o protótipo construído tem escala 1:33, com suas características apresentadas na Figura 27, destacando, aqui, que Pereira; Pereira; Castro (2017) validam a utilização de modelos em escala reduzida

para a simulação e estudo de fenômenos físicos relativos a disponibilidade de luz natural em ambientes internos.

Figura 27 – Protótipo luminotécnico do laboratório de Engenharia Econômica da FAEN/UFGD.



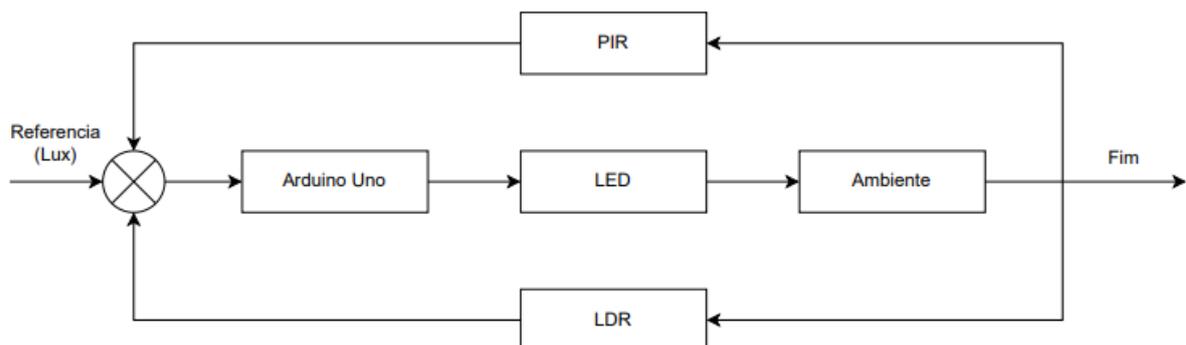
Fonte: Elaborado pelo autor.

Foram posicionados no protótipo um sensor Piroelétrico (PIR) para a detecção da presença de pessoas no ambiente e seis Resistores Dependente de Luz (LDR) para o fornecimento do iluminamento para o controlador.

5.2 PROJETO DO CONTROLADOR DE LUMINOSIDADE

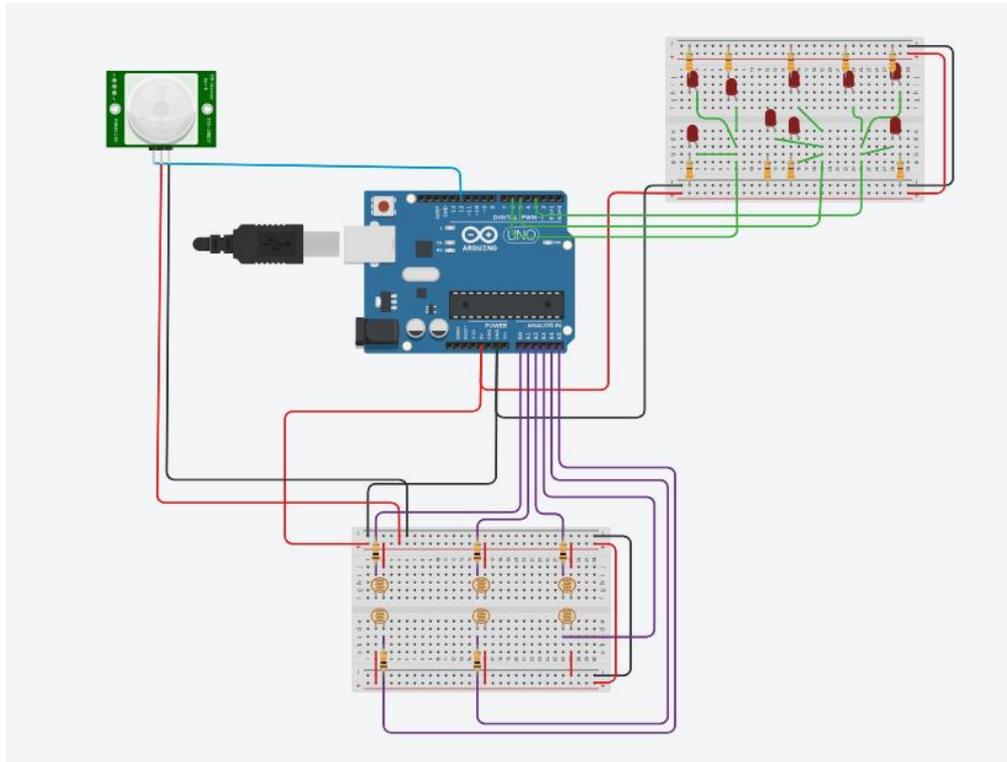
Definida uma iluminância para o laboratório igual a 300 lux, com a presença de pessoas no recinto, três áreas (zonas 4, 5 e 6) são controladas independentemente para a complementação da potência das luminárias para a obtenção da referência, considerando o erro verificado – trata-se, então, de um ajuste contínuo para a iluminância estabelecida. O diagrama de bloco do controle é apresentado na Figura 28, enquanto a simulação no TinckerCad está representada na Figura 29.

Figura 28 – Diagrama de blocos do controle da iluminação do laboratório da FAEN/UFGD.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 29 – Modelo simulado no Tinkercad do controlador de iluminância para o Laboratório de Engenharia Econômica da FAEN/UFGD



Fonte: Elaborado pelo autor.

O controlador Arduino UNO é composto por seis entradas analógicas (A0, A1, A2, A3, A4 e A5) para a conexão dos LDR propostos e 13 entradas digitais, das quais três (as saídas 3, 5 e 6) são utilizadas para o controle da intensidade das luminárias LED através da modulação da largura de pulso. Considerando as Figuras 27 e 29, os sensores LDR foram conectados às entradas A0 a A5 (fixados no piso do protótipo) e o PIR à entrada 12, enquanto três grupos de luminárias, considerando as zonas 4, 5 e 6 são controlados pelas saídas 3, 5 e 6. Os componentes são apresentados no Quadro 4.

Quadro 4 – Componentes da montagem do protótipo para o controle de iluminância do laboratório de Engenharia Econômica do prédio da FAEN/UGD.

Componente	Quantidade
Branco LED	9
330 Ω Resistor	9
10 k Ω Resistor	6
Foto resistor	6
Sensor PIR	1
Arduino Uno R3	1

Fonte: Elaborado pelo autor.

Considerando o diagrama de ligação apresentado no Apêndice A e a programação do Arduino Uno R3 disposta no Apêndice B, foi obtida a montagem e o funcionamento conforme apresentados na Figura 30.

Figura 30 – Montagem e funcionamento do protótipo de controle de iluminação do laboratório de Engenharia Econômica do prédio da FAEN/UFGD.

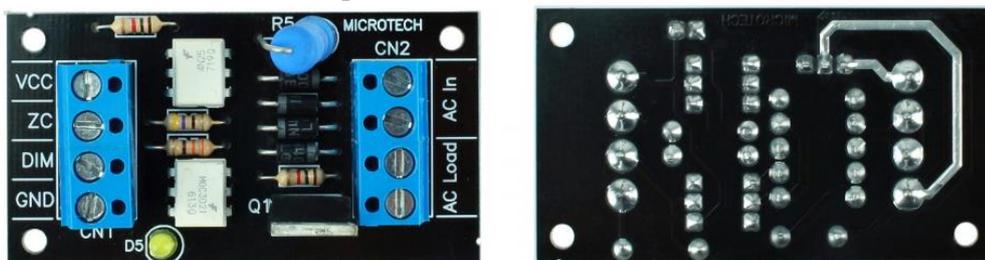


Fonte: Elaborado pelo autor.

Foi possível observar uma variação da luminosidade dos LED inseridos no protótipo a partir do fornecimento de outra fonte luminosa nas janelas do experimento, outrossim, suas características construtivas apresentaram limitações para a aferição dos valores e a obtenção da iluminância estabelecida, cujo vídeo está disponível em Sampaio (2024). Sobretudo, foi possível considerar que o sistema pode ser aprimorado e adaptado para a escala real dos laboratórios do prédio da Faculdade de Engenharia da FAEN/UFGD, considerando, para isso, a inserção do módulo de controle de potência.

Uma vez que o protótipo desenvolvido tem como objetivo o controle do fluxo luminoso de LED, obtido pela variação da tensão CC, as luminárias propostas para o laboratório são lâmpadas LED dimerizáveis acionadas em CA. Tem-se, então, a necessidade de que o Arduino UNO R3 controle o Módulo Dimmer Pic MC-8A, apresentado na Figura 31, para o acionamento das luminárias do laboratório.

Figura 31 – Módulo de controle de potência CA Dimmer Pic MC-8A.

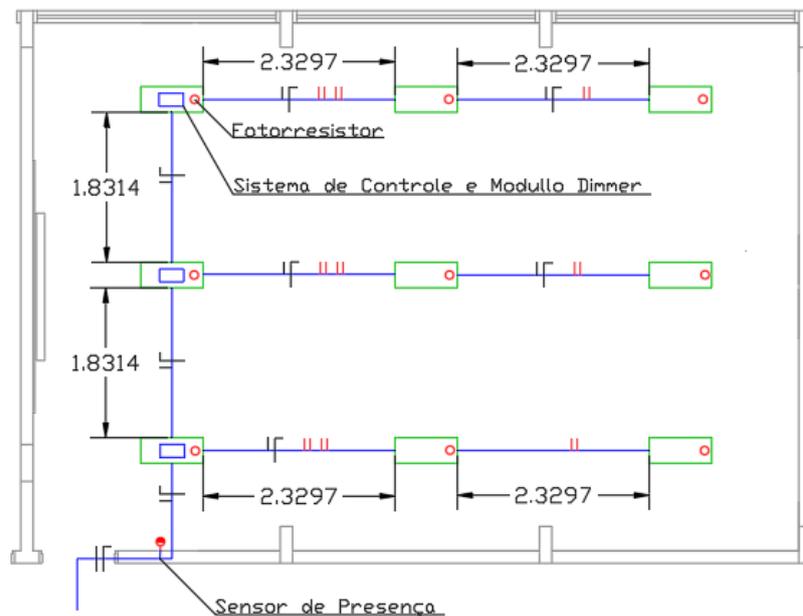


Fonte: (USINAINFO, 2020).

5.3 INSTALAÇÃO DO CONTROLADOR DE LUMINOSIDADE

Após o desenvolvimento do sistema de controle, para a análise de viabilidade econômica do projeto, faz-se necessário uma proposta de instalação no ambiente onde serão controladas as luminárias. A Figura 32 apresenta o projeto elétrico de instalação do sistema proposto.

Figura 32 – Esquema da ligação de luminárias para dimerização do modelo de sala 1, para bloco FAEN /UFGD.



Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com Kurata (2016), é possível escolher o ponto de instalação dos sensores de luminosidade, que pode ser, inclusive, na própria luminária. Considerando esta escolha para o sensor, o custo da implantação do projeto é apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 – Custo de implantação para sistema de controle de iluminância utilizando Arduino UNO R3.

Produto	Preço Un (R\$)	Un	Quantidade	Total (R\$)
Luminária dimerizável	116,00	un	9	1.044,00
Controlador Arduino UNO R3	44,00	un	3	132,00
Modulo Dimmer Pic MC-8A	51,80	un	3	155,30
Sensor de luminosidade	0,80	un	6	4,80
Sensor de presença	8,00	un	1	8,00
Cabo elétrico 1,5 mm ²	1,50	m	90	130,50
Eletroduto 1"	3,40	m	95	323,00
Mão de Obra	1.500,00	un	1	1.500,00
Total				3.297,60

Fonte: Elaborado pelo autor.

O projeto proposto em Bihalva (2016), comercializado pela empresa Lutron, por sua vez, inclui três dispositivos: um módulo *dimmer* controlador Lutron RMJS-8T-DV-B, um sensor de luminosidade Lutron LRFX-DCRB e um sensor de presença Lutron LRF2-OCR2B-P-WH. A Tabela 12 apresenta o projeto para o Laboratório de Engenharia econômica baseado em Bihalva (2016) com valores atualizados.

Tabela 12 – Custo de implantação sistema de controle de iluminação Lutron.

Produto	Preço Un (R\$)	Un	Quantidade	Total (R\$)
Luminária dimerizável	116,00	un	9,0	1.044,00
Modulo Dimmer Lutron	696,10	un	1,0	696,10
Sensor de luminosidade Lutron	486,00	un	1,0	486,00
Sensor de presença Lutron	436,90	un	1,0	436,90
Mão de Obra e Materiais	1.500,00	un	1,0	1.500,00
Total				4.163,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

É possível observar que a mão de obra, com o custo de R\$ 1.500,00, e as luminárias dimerizáveis, orçadas em R\$ 1.044,00, representam 67,14% do custo do projeto utilizando o controlador Arduíno e 61,10%, para os equipamentos Lutron. Tem-se, ainda, que, o projeto utilizando-se equipamentos disponíveis comercialmente, apresentam custo superior de R\$ 865,40, ou ainda, 26,24%, da proposta desenvolvida com o controlador Arduíno.

Considerando o maior aproveitamento da luz natural, conforme pode ser observado no Gráfico 15, a fachada sul foi escolhida para a avaliação do projeto. A partir do Quadro 2, que apresenta a modularização dos ambientes e suas áreas, observa-se que os laboratórios, com nove luminárias, devem, ainda, ser priorizados na análise. Assim, a proposta de controle de iluminação para o aproveitamento da luz natural será avaliada para os cinco laboratórios da fachada sul, localizados no térreo: Processamento de materiais, Engenharia econômica, Processos produtivos Ergonomia, Logística e segurança do trabalho e Processos agroindustriais e ambientais, de forma que a Tabela 10 é recalculada e apresentada na Tabela 13.

Tabela 13 – Energia economizada, consumida e total em iluminação dos laboratórios da fachada sul do prédio da FAEN/UFGD, em 2023.

Meses	Energia (kWh)			Economia (%)
	Laboratório Sul Térreo			
	Economia	Consumida	Total	
Janeiro	119,0		119,0	100,0
Fevereiro	312,5		312,5	100,0
Março	401,8		401,8	100,0
Abril	312,5		312,5	100,0
Maio	194,6	28,6	223,2	87,2
Junho	320,8	51,2	372,0	86,2
Julho	340,6	46,3	386,9	88,0
Agosto	401,8		401,8	100,0
Setembro	193,4		193,4	100,0
Outubro	342,2		342,2	100,0
Novembro	357,1		357,1	100,0
Dezembro	267,8		267,8	100,0
Total	3.564,2	126,1	3.690,3	96,6

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com uma economia de energia anual igual a 3.564,2 kWh, os cinco laboratórios podem propiciar a redução de 96% do consumo para iluminação. Para a continuidade da análise, é necessário a determinação do custo da energia associada a economia prevista.

5.4 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO PROJETO

A análise de viabilidade econômica, obtida a partir do Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), e Tempo de Retorno Descontado (TRD) são determinados a partir do custo da energia economizada e o investimento conforme desenvolvidos neste item.

5.4.1 Determinação do Preço médio da energia e análise de viabilidade

De acordo com as Equações 12 a 15, um consumidor com geração própria de energia deve ponderar os Preços médios da energia fornecida pela concessionária (Energisa) e o custo por unidade de geração dado pelo sistema fotovoltaico. Considerando Mairhofer (2023, a UFGD consumiu entre 2020 e 2022 a média anual igual a 1.017,1 MWh da Energisa e 1.499,7 MWh da geração própria, totalizando 2.516,9 MWh, conforme apresentado na Tabela 14.

Considerando o investimento de R\$ 4.525.939,84 do sistema de geração fotovoltaica (MAIRHOFER, 2023), a Taxa de Atratividade igual a Selic, 11,25, (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2024), um projeto com amortização em 10 anos (baseando-se no impacto do fim da garantia dos inversores) e uma despesa anual de R\$ 15,00 para limpeza de cada um dos 3.360 módulos fotovoltaicos (EVOBRASIL, 2023), obtém-se um custo anual de R\$ 789.603,51 a partir da Equação 13. Observa-se, que foi considerado zero o Valor de resgate (V_r) da Equação citada e, a partir das Equações 12 a 15, pode se obter os Preços médios apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – Energia, custo e Preço médio por fonte de fornecimento entre 2020 e 2022 na UFGD, Unidade II.

Fonte	Energia (kWh)	Custo R\$	Preço médio R\$/kWh
Energisa	1.017.125	1.563.706,06	1,537
Geração própria	1.499.733	789.603,51	0,526
Total	2.516.857	2.353.309,57	0,935

Fonte: Elaborado pelo autor.

Obtém-se, assim, o Preço médio igual a 1,537 R\$/kWh para a energia fornecida pela Energisa, 0,526 R\$/kWh associado às parcelas do investimento em energia solar, e sua operação, de forma a compor o Preço médio geral igual a 0,935 R\$/kWh. A partir do Preço médio geral e a energia economizada, o projeto possibilita a redução do custo com energia elétrica de R\$ 3.332,57 anuais.

A análise de viabilidade econômica dos projetos Lutron e Arduino para os cinco laboratórios da fachada sul do prédio da Faculdade de Engenharia (FAEN/UFGD) pode ser observada na Tabela 15. A partir das Equações 16 e 17 e, utilizando-se das equações disponíveis no *software* Excel®, foi desenvolvido o Fluxo de Caixa para a análise dos projetos.

Considerou-se como Taxa de atratividade a Selic de fevereiro de 2024 (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2024), o IPCA anual acumulado em janeiro de 2024 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2024) e a Taxa de Reajuste da energia acima da inflação apresentada em Mairhofer (2023) de 1,5% que, para o projeto, considerando-se proporcionalmente para a fonte a Energisa, calculado pela relação de energias por fonte, resultou em 0,61% ao ano.

Tabela 15 – Análise de viabilidade econômica dos projetos de controle de iluminação dos laboratórios da fachada sul, térreo do prédio da FAEN/UFGD.

Projeto	Investimento (R\$)	Benefício (R\$)	Taxa SELIC (%)	IPCA (%)	Reajuste Energia (%)	VPL (R\$)	TIR (%)	Payback Descontado
Lutron	20.815,00	3.332,57	11,25	4,51	5,12	11.903,04	19,48	8 anos
Arduino	16.488,00					16.230,04	24,73	6 anos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tem-se, como resultado, que ambos os projetos são viáveis economicamente, sobretudo, enquanto a proposta utilizando os equipamentos Lutron apresentam VPL de R\$ 11.903,04, TIR de 19,48% e *Payback* de 8 anos, o projeto utilizando o Arduino obteve VPL de R\$ 16.230,04, TIR de 24,73% e *Payback* de 6 anos. Ressalta-se, por outro lado, que o benefício utilizado dar-se-á pelo pleno uso da iluminação natural pelos usuários considerando a disponibilidade calculada, assim como, para um limite mínimo de 300 lx para os ambientes. A partir da observação do uso dos laboratórios, consta-se que as persianas bloqueiam a luz natural enquanto as luminárias permanecem acesas durante o dia.

Observa-se, ainda, que o estudo do aproveitamento da luz natural na fase do projeto da edificação pode conduzir a propostas arquitetônicas para a obtenção dos máximos benefícios dessa fonte de luz – maiores iluminamentos e uniformidades para menor desconforto com ofuscamento, de forma a reduzir, ainda, as despesas com a energia para climatização. Reforça-se, desta forma, que para este tempo, o custo necessário para a estrutura do melhor projeto de iluminação natural são menores do que para instalações prontas.

Destaca-se, por fim, que fatores comportamentais, relacionados a visão em amplitude, e de espaços verdes externos à edificação, com relação direta à sensação de bem estar e relaxamento do *stress* associado ao trabalho ou ao estudo universitário, devem também ser analisadas no contexto do aproveitamento da luz natural.

6 CONCLUSÃO

A gestão sustentável do setor energético é um desafio crucial na sociedade contemporânea e a contribuição da automação predial vem sendo considerada para a mitigação da crescente demanda de energia elétrica. Assim, este trabalho propôs o aumento da eficiência energética na iluminação do prédio da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal da Grande Dourados (FAEN/UFGD) a partir do aproveitamento da iluminação natural.

Inicialmente foi validada a metodologia de análise considerando os valores medidos e simulados para dois laboratórios do prédio: o de Engenharia de Fábrica e o de Engenharia Econômica. Medindo-se e simulando os iluminamentos para a mesma data e horário, as curvas isolux mostraram-se semelhantes e, desta forma, validou o método, sobretudo, a luz disponível no laboratório com fachada voltada para o lado norte mostrou-se menor devido ao sombreamento produzido pelos brises existentes.

Uma nova análise foi desenvolvida para se determinar o ângulo de instalação para os brises que permita iluminamento máximo, sem ultrapassar os limites de ofuscamento para o ambiente – foram, então, obtidos, 30° para o Solstício de inverno e 0° para o Solstício de verão e Equinócios, diferente do atual, identificado como 53° . Simulou-se o iluminamento para o prédio da FAEN-UFGD em 108 condições diferentes, obtidas pela combinação das três datas representativas – os Solstícios de inverno e verão e o Equinócio – para o ângulo atual dos brises e o determinado, para quatro horas ao longo da jornada diária, para os céus claro, parcialmente encoberto e encoberto, para os ambientes divididos em três zonas cada, conforme sua fachada e elementos de controle de iluminamento.

Teve-se, assim, a partir da integração e ponderação dos resultados dos iluminamentos simulados, a determinação de valores que representam a iluminância para a fachada norte piso térreo, fachada norte superior, assim como para a fachada sul, para os doze meses do ano variando entre 36 e 713 lx. Isso direcionou a análise para os ambientes com maior disponibilidade de luz natural e potência instalada em luminárias – os cinco laboratórios do piso térreo com fachada sul, que possibilitam uma economia de 3.564,2 kWh, ou ainda, 96% da energia consumida para iluminação desses ambientes.

A determinação do benefício econômico do aproveitamento da iluminação natural se deu pelo cálculo do Preço médio da energia consumida da concessionária, 1,537 R\$/kWh, da geração fotovoltaica própria, 0,526 R\$/kWh e do médio ponderado, 0,935 R\$/kWh, o que resultou em R\$ 3.332,57 anuais.

Foi, então, desenvolvido um protótipo em escala 1:33 para o laboratório de Engenharia Econômica e, para este, um sistema com o controlador Arduino Uno R3. Instalados sensores de presença e luminosidade, led e uma lógica de controle para a complementação da iluminação artificial à natural, o protótipo mostrou-se adequado para a finalidade, outrossim, não permitiu a validação das relações esperadas entre as fontes de luz. A partir de um projeto de instalação nos cinco laboratórios propostos, os sistemas apresentaram custos de R\$ 16.488,00 para o desenvolvido e R\$ 20.815,00 para componentes Lutron.

A avaliação econômica mostrou viabilidade para ambos os projetos, sobretudo, a proposta utilizando os equipamentos Lutron, com VPL de R\$ 11.903,04, TIR de 19,48% e *Payback* de 8 anos, caracterizou-se com menor atratividade do que o projeto baseado no controlador Arduino, que obteve VPL de R\$ 16.230,04, TIR de 24,73% e *Payback* de 6 anos.

Destaca-se, sobretudo, que os benefícios esperados dependem, também da conscientização dos usuários dos ambientes, uma vez que se observa a predominância das persianas bloqueando a luz natural nos ambientes, mesmo nas situações de ausência de desconforto por ofuscamento.

Para estudos futuros, é possível sugerir a alteração na localização dos sensores de luminosidade para verificar a melhoria na resposta do controle; assim como uma análise considerando o sistema on/off das luminárias paralelas as janelas.

Propõem-se, ainda, o melhoramento do protótipo de forma a permitir a medição do iluminamento interno, o ajuste das curvas de leitura dos LDR e a calibragem do controlador. Sugere-se, em adição, a instalação de um sistema de controle de luminosidade para o monitoramentos das grandezas envolvidas em um, ou mais, ambientes do prédio. E, por fim, a comparação do prédio da FAEN com outros da UFGD, em especial ao modelo arquitetônico do bloco “D” que possui particularidade nos elementos de controle da iluminação natural.

REFERÊNCIAS

© WEATHERSPARK.COM. **Climate and Average Weather Year Round in Dourados**, 2023.

ABNT NBR ISO/CIE 8995-1. [s.l: s.n.]. Disponível em: <www.abnt.org.br>.

ARDUINO. **About Arduino**. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/about>>. Acesso em: 2 mar. 2024.

ASCHEHOUG, Ø. **Daylight in Buildings**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/37410170_Daylight_in_Buildings_-_A_source_book_on_daylighting_systems_and_components>. Acesso em: 4 nov. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Iluminação natural – Parte 2 – Procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural e para a distribuição espacial da luz natural**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.gedweb.com.br/home/>>. Acesso em: 4 nov. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações–Parte 4: Método de medição. NBR 15215-4**. Rio de Janeiro, 2023.

AUTOCORE ROBOTICA. **Sensor de Presença PIR - HC-SR501**.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Taxas de juros básicas – Histórico. Banco Central do Brasil**. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/historicotaxasjuros>>. Acesso em: 2 mar. 2024.

BERNADES, D. M.; CELESTE, W. C.; DINIZ CHAVES, G. DE L. Eficiência energética na iluminação pública urbana: revisão bibliográfica dos equipamentos e tecnologias. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. e606973957, 30 maio 2020.

BIHALVA, E. E. J. **Eficiência Energética em Iluminação: Impacto Econômico do Uso de Lâmpadas LED e Painéis Zenitais**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/148760/001002180.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 4 nov. 2023.

CLARON ILUMINAÇÃO LTDA. **LUMINÁRIA COMERCIAL ALETADA ALTO RENDIMENTO DE EMBUTIR PARA LÂMPADA LED T8 2X18W 20W**. Disponível em: <<https://www.claron.com.br/>>. Acesso em: 10 fev. 2024.

COELHO, D. F. BORGES.; CRUZ, V. H. DO N. **Edifícios inteligentes : uma visão das tecnologias aplicadas**. [s.l: s.n.].

DIDONÉ, E. L. **A Influência da Luz Natural na Avaliação da Eficiência Energética de Edifícios Contemporâneos de Escritórios em Florianópolis/SC**. [s.l: s.n.].

DUARTE, P. J. **Sistema de Controle e Automação de Iluminação via Smartphone com Ênfase em Eficiência Energética**. [s.l: s.n.].

EPE [EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA]. **Balço Energético Nacional (BEN) 2023**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br>>. Acesso em: 4 nov. 2023.

EVOBRASIL. **EvoBrasil Energia Fotovoltaica**. Disponível em: <<https://evobrasilenergia.com.br/>>. Acesso em: 2 mar. 2024.

FAAUSP. **Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP**. Disponível em: <<https://www.fau.usp.br/>>. Acesso em: 2 mar. 2024.

FERMARC, R. **Sensor de luminosidade LDR 5mm**.

FRANÇA, J. G. F. A importância do uso da iluminação natural como diretriz nos projetos de arquitetura. 2012.

GOLDEN SOFTWARE. **Surfer**. Disponível em: <<https://www.goldensoftware.com/products/surfer/>>. Acesso em: 10 fev. 2024.

GOOGLE. **Google Maps**. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/>>. Acesso em: 10 fev. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/7060#resultado>>. Acesso em: 2 mar. 2024.

KREMER, A. **A Influência de Elementos de Obstrução Solar no Nível e na Distribuição Interna de Iluminação Natural: Estudo de Caso em Protótipo Escolar de Florianópolis**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/82270>>. Acesso em: 4 nov. 2023.

KURATA, M. N. **Automação da Iluminação e Eficiência Energética em Edificações O Sistema de Controle de Iluminação DALI: Um Estudo de Caso**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://repositorio.ifsp.edu.br/server/api/core/bitstreams/c255a227-e833-4430-9c64-cf6bf0a5a613/content>>. Acesso em: 4 nov. 2023.

LABEEE, L. DE E. E. EM E. **Uso da carta solar**. Disponível em: <<https://labeee.ufsc.br/pt-br/en-welcome>>. Acesso em: 16 dez. 2023.

LIMA, R. C.; OLIVEIRA BATISTA, J. **Iluminação Interna em uma Loja de Auto-Serviço: Estudo da Integração entre Sistemas Artificiais e a Luz Natural**. [s.l: s.n.].

MAIRHOFER, I. B. F. **Análise de Desempenho da Usina Solar Fotovoltaica Instalada na Universidade Federal da Grande Dourados**. [s.l: s.n.].

MANSILHA, R. B. **Análise da Disponibilidade de Iluminação Natural e Artificial em Salas de Aula de Instituição Pública de Ensino SUPERIOR**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7832/MANSILHA%2C%20RAQUEL%20BRANDAO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 4 nov. 2023.

MARIA, R. C. et al. Utilização do Custo Anual Uniforme Equivalente para o Cálculo da Vida Útil de Equipamentos: Uma Aplicação em Células de Flotação. **ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**, 2016.

MARSH, A. PD: SunPath. 2023.

MICROSOFT OFFICE. **Excel®** . , 2019.

MURATORI, J. R.; DAL BÓ, P. H. Automacao Residencial Conceitos e Aplicacoes. 2011.

NOGUEIRA, H. S. **Desenvolvimento de um Sistema de Controle de Iluminação por Meio de Arduino e Plataforma Android.** [s.l: s.n.].

OLIVEIRA, D. M.; MORAES, C. O. DE. **Eficiência Energética e Economia de Energia no Controle de Iluminação.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://repositorio.uninter.com/handle/1/1380>>. Acesso em: 5 ago. 2023.

OLIVEIRA, V. M. GESTÃO ENERGÉTICA EM UM CLUBE RECREATIVO. 2017.

PEREIRA, D. C. L. **Iluminação Natural em Edifícios de Escritório: Metodologia para a Avaliação do Desempenho Luminoso.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-22062017-155747/publico/DanielaCardosoLaudaresPereira_corrigida.pdf>. Acesso em: 10 set. 2023.

PEREIRA, F. O. R.; PEREIRA, R. C.; CASTNO, A. G. **Quão confiáveis podem ser os modelos físicos em escala reduzida para avaliar a iluminação natural em edifícios?** [s.l: s.n.].

PREFEITURA UNIVERSITARIA. **Portal UFGD.** Disponível em: <https://portal.ufgd.edu.br/setor/prefeitura_universitaria/index>. Acesso em: 26 fev. 2024.

PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE GRADUAÇÃO. **Calendário Acadêmico de Graduação.** Disponível em: <<https://portal.ufgd.edu.br/pro-reitoria/prograd/calendario-academico>>. Acesso em: 26 fev. 2024.

PRUDENTE, F. **Automação predial e residencial : uma introdução.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/books/978-85-216-2024-2>>. Acesso em: 1 ago. 2023.

RODRIGUES, E. S.; LARANJA, A. C. Desempenho Luminoso de Prateleiras de Luz Associadas a Brises. **XVI ENCAC/XII ELACAC**, 2021.

ROMERO, M. DE A.; REIS, L. B. DOS. **Eficiência energética em edifícios.** [s.l: s.n.].

SAMPAIO, F. **Sistema Arduino.** , 2024. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=6C792kikcc0&ab_channel=FelipePajeuSampaio>. Acesso em: 3 mar. 2024

SANTANA, C. S. N. et al. Simulação e avaliação dos parâmetros dinâmicos da luz natural para salas de aula da Universidade Federal da Paraíba – UFPB / João Pessoa. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 25184–25201, 2020.

SANTOS, J. W.; JUNIOR, R. C. Sistema de Automação Residencial de Baixo Custo Controlado pelo Microcontrolador ESP32 e Monitorado via Smartphone. **UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**, 2019.

SILVA, A. C. S. DA; LARANJA, A. C.; ALVAREZ, C. E. DE. Vista do Uso de Prateleiras de Luz para Melhoria do Desempenho Luminoso em Ambiente Escolar em Vitória (ES). 2021.

SILVA, M. V. DA; QUEIROZ, G. H. O. M. DE Q.; PEREIRA, J. V. V. P. Estimativa da Disponibilidade de Luz Natural e Padrão de Céu na Região Amazônica: Macapá-AP, Lat. 0°. 2019.

SOUZA, M. B. DE. **Potencialidade de Aproveitamento da Luz Natural Através da Utilização de Sistemas Automáticos de Controle para Economia de Energia Elétrica.** [s.l: s.n.].

STA, S. E TECNOLOGIA APLICADA. **Características principais do Arduino Uno.**

STEVAN, S. L.; FARINELLI, F. A. **Domótica : automação residencial e casas inteligentes com Arduino e ESP8266.** [s.l: s.n.].

USINAINFO. **PROJETO ESP32 DIMMER – AUTOMAÇÃO PARA CONTROLE DE LUZ.** Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/blog/projeto-esp32-dimmer-automacao-para-controle-de-luz/>>. Acesso em: 2 mar. 2024.

VASCONCELLOS, L. T. DE M. **Luz Natural e Latitude: A Influência da Localização Geográfica no Desempenho Luminoso de Projeto Padrão de Sala.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.repositorio.ufal.br/jspui/handle/riufal/6607>>. Acesso em: 4 nov. 2023.

WENDLING, M. **SENSORES.** [s.l: s.n.].

APÊNDICE B – PROGRAMAÇÃO DO PROTÓTIPO

```

// Primeiramente se declara as variaveis//
int smovimento = 11; // Porta ao qual esta conectada o sensor de movimento//
bool valormov;
int led1 = 3; //Porta ao qual estão conectados os LEDS//
int led2 = 5;
int led3 = 6;
int ldr1 = A0; //Porta ao qual estão conectados os Fotoresistores//
int ldr2 = A1;
int ldr3 = A2;
int ldr4 = A3;
int ldr5 = A4;
int ldr6 = A5;
int luminosidade1; //Variaveis de controle da luminosidade//
int luminosidade2;
int luminosidade3;
int valorldr1; //Variaveis de leitura da luminosidade//
int valorldr2;
int valorldr3;
int valorldr4;
int valorldr5;
int valorldr6;
int i;
int controle1;
int controle2;
int potencia1;
int potencia2;
int potencia3;
int lux1;
int lux2;
int lux3;
int lux4;
int lux5;
int lux6;
void setup() { // Configurações Iniciais de controle, definindo quais são as portas de
entrada e saída//
    Serial.begin(9600);
    pinMode(led1, OUTPUT);
    pinMode(led2, OUTPUT);
    pinMode(led3, OUTPUT);
    pinMode(smovimento, INPUT);
    pinMode(ldr1, INPUT);
    pinMode(ldr2, INPUT);
    pinMode(ldr3, INPUT);
    pinMode(ldr4, INPUT);
    pinMode(ldr5, INPUT);
    pinMode(ldr6, INPUT);
}

```

```

void loop() {
  valormov = digitalRead(smovimento);
  Serial.println("Desligado");
  while (valormov == HIGH) {
    for (i = 0; i < 50; i++) {
      valorldr1 = analogRead(ldr1);
      valorldr2 = analogRead(ldr2);
      valorldr3 = analogRead(ldr3);
      valorldr4 = analogRead(ldr4);
      valorldr5 = analogRead(ldr5);
      valorldr6 = analogRead(ldr6);
      if (valorldr1<=valorldr2 && valorldr1<=valorldr3){
        controle1=valorldr1;
      }
      if (valorldr2<valorldr3 && valorldr2<valorldr1){
        controle1=valorldr2;
      }
      if (valorldr3<valorldr2 && valorldr3<valorldr1){
        controle1=valorldr2;
      }
      if (valorldr4<=valorldr5 && valorldr4<=valorldr6){
        controle2=valorldr4;
      }
      if (valorldr5<valorldr6 && valorldr5<valorldr4){
        controle2=valorldr5;
      }
      if (valorldr6<valorldr5 && valorldr6<valorldr4){
        controle2=valorldr6;
      }
      luminosidade1 = map(controle1, 0, 400, 255, 0);
      luminosidade2 = map(controle1-20, 0, 400, 255, 0);
      luminosidade3 = map(controle2, 0, 400, 255, 0);
      potencia1=0.49*luminosidade1;
      potencia2=0.465*luminosidade2;
      potencia3=0.66667*luminosidade3;
      lux1=2.0023*valorldr1-17.606;
      lux2=2.0023*valorldr2-17.606;
      lux3=2.0023*valorldr3-17.606;
      lux4=2.0023*valorldr4-17.606;
      lux5=2.0023*valorldr5-17.606;
      lux6=2.0023*valorldr6-17.606;
      Serial.print("Potencia 1: ");
      Serial.print(potencia1);
      Serial.print(" , ");
      Serial.print(" Potencia 2: ");
      Serial.print(potencia2);
      Serial.print(" Potencia 3: ");
      Serial.println(potencia3);
      Serial.print(" Sensor 1: ");

```

```

Serial.print(lux1);
Serial.print(" Sensor 2: ");
Serial.print(lux2);
Serial.print(" Sensor 3: ");
Serial.print(lux3);
Serial.print(" Sensor 4: ");
Serial.print(lux4);
Serial.print(" Sensor 5: ");
Serial.print(lux5);
Serial.print(" Sensor 6: ");
Serial.println(lux6);
if (controle1 < 10) {
    digitalWrite(led1, HIGH);
}
if (controle2 < 10) {
    digitalWrite(led2, HIGH);
}
if ((controle1-20) < 10) {
    digitalWrite(led3, HIGH);
}
if (controle1 > 10 && controle1 < 400) {
    analogWrite(led1, luminosidade1);
}
if ((controle1-20) > 10 && (controle1-50)<400) {
    analogWrite(led2, luminosidade2);
}
if (controle2 > 10 && controle2 < 400) {
    analogWrite(led3, luminosidade3);
}
if (controle1 > 400) {
    digitalWrite(led1, 0);
}
if ((controle1-20) > 400) {
    digitalWrite(led2, 0);
}
if (controle2 > 400) {
    digitalWrite(led3, 0);
}
valormov = digitalRead(smovimento);
if (valormov == HIGH) {
    break;
}
delay(100);
}
if (i >= 5) {
    analogWrite(led1, 0);
    analogWrite(led2, 0);
    analogWrite(led3, 0);
    valormov = digitalRead(smovimento);
}

```