



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

PEDRO EUGÊNIO NOGUEIRA OLIVEIRA

**ANÁLISE E PROPOSTA DE MELHORIAS NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
DESTINADA À ILUMINAÇÃO: UM ESTUDO DE CASO DO BLOCO DE AULAS 2
DA UFERSA – CAMPUS ANGICOS/RN**

ANGICOS/RN
2020

PEDRO EUGÊNIO NOGUEIRA OLIVEIRA

**ANÁLISE E PROPOSTA DE MELHORIAS NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
DESTINADA À ILUMINAÇÃO: UM ESTUDO DE CASO DO BLOCO DE AULAS 2
DA UFRSA – CAMPUS ANGICOS/RN**

Trabalho Final de Graduação apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof. Dra. Valquiria Melo Souza
Correia

PEDRO EUGÊNIO NOGUEIRA OLIVEIRA

**ANÁLISE E PROPOSTA DE MELHORIAS NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
DESTINADA A ILUMINAÇÃO: UM ESTUDO DE CASO DO BLOCO DE AULAS 2
DA UFERSA – CAMPUS ANGICOS/RN**

Trabalho Final de Graduação
apresentado a Universidade Federal
Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Defendida em: 05 / 02 / 2020.

BANCA EXAMINADORA

Valquiria Melo Souza Correia
Prof. Dra. Valquiria Melo Souza Correia (UFERSA/Campus Angicos)
Presidente

Marcílio Luís Viana Correia
Profa. Me. Marcílio Luís Viana Correia (UFERSA/ Campus Angicos)
Membro Examinador

Adna Érica Melo de Sousa
Engenheira Civil – Adna Érica Melo de Sousa (UFERSA/ Campus Angicos)
Membro Examinador

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

O48a Oliveira, Pedro Eugênio Nogueira.
ANÁLISE E PROPOSTA DE MELHORIAS NA EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA DESTINADA À ILUMINAÇÃO: UM ESTUDO DE
CASO DO BLOCO DE AULAS 2 DA UFRS ? CAMPUS
ANGICOS/RN / Pedro Eugênio Nogueira Oliveira. -
2020.
65 f. : il.

Orientadora: Dra. Valquiria Melo Souza
Correia.

Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2020.

1. Eficiência energética. 2. Iluminação . 3.
LED. I. Correia, Dra. Valquiria Melo Souza ,
orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFRS), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à Deus por me proteger e guiar em todos os momentos, por me dar discernimento, sabedoria, força e humildade e por permitir que tudo isso acontecesse. Por estar comigo em todas as horas, boas ou ruins me mostrando sempre que tudo é passageiro e principalmente por me amparar nos dias difíceis dessa caminhada e em todos os momentos da minha vida.

Agradeço aos meus pais, Maria Luciene Nogueira Oliveira e Lourival Oliveira Filho, pelo amor incondicional, dedicação e ensinamentos para que eu me tornasse a pessoa que sou hoje.

A minha orientadora, Professora Valquiria Melo Souza Correia, pela orientação dada e por todas as sugestões, incentivos e empenho, que foram fatores essenciais para a realização desse trabalho.

Agradeço ao meu namorado, Leodécio Maia Ferreira que foi fundamental na conclusão dessa etapa, sempre aconselhando, apoiando e dando sugestões para que tudo saísse como planejado. Obrigada por ser meu alicerce e por acreditar mais em mim do que eu mesmo.

Agradeço aos meus amigos, Luana Dantas, Yasmin Dantas, Matheus Vinicius, Mirabeau Fernandes e Leticia Moraes por compartilharem comigo desse sonho, e por estarem presentes em todos os momentos, pelos conselhos e por não me deixarem desistir. O laço que tenho com cada um é inexplicável, agradeço de coração.

Agradeço a Yandra Dantas, Clarissa Souza, Leonardo Bruno, Pablo Niro, Lais Osterne, Julho Dantas, Davi Brito e Leonardo Henrique, por compartilharem comigo dos momentos bons e ruins da graduação e por me ajudarem a chegar até aqui.

Por fim, agradeço a todos aqueles que contribuíram de alguma forma, diretamente ou indiretamente, para a realização desse trabalho ou para formação da pessoa que sou hoje.

RESUMO

Tendo em vista a crescente utilização de energia elétrica, notou-se a necessidade da produção desse estudo. Esse estudo tem como objetivo analisar e propor medidas de eficiência energéticas que possam ser aplicadas ao sistema de iluminação das salas do bloco de aulas 2 da UFERSA campus Angicos/RN. Por meio do levantamento das características arquitetônicas do bloco de aulas, do embasamento teórico e das normas brasileiras cabíveis ao sistema de iluminações, características técnicas do sistema de iluminação e a apresentação dos cálculos e medições, foi possível comprovar o potencial de redução no consumo de energia elétrica do bloco de aulas 2 da UFERSA campus Angicos/RN. Com esse estudo, espera-se fazer incentivo do uso de sistemas eficientes de iluminação e produção de mais pesquisas a respeito do assunto.

Palavras-chave: Eficiência energética. Iluminação. LED.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxo luminoso	15
Figura 2 - Luminância.....	16
Figura 3 - Iluminância.....	16
Figura 4 - Locais de trabalho (A) e áreas do entorno (B) em um escritório.....	17
Figura 5 - Ofuscamento.....	18
Figura 6 - Processo de geração de luz visível nas lâmpadas fluorescentes.	20
Figura 7 - Classificação e curvas de distribuição da intensidade luminosa.....	21
Figura 8 - Eixos da curva fotométrica	22
Figura 9 - Brises verticais em fachadas	24
Figura 10 - Movimento da trajetória solar	24
Figura 11 - Prateleira de luz	25
Figura 12 - Os três tipos de céu: claro, parcialmente encoberto e encoberto	27
Figura 13 - Iluminação natural de acordo com geometria do edifício.....	28
Figura 14 - Planta baixa do bloco de aulas 2	33
Figura 15 - Leiaute das salas de aulas.....	34
Figura 16 – Sala A – Leiaute A.....	34
Figura 17 – Sala B - Leiaute B	35
Figura 18 – Sala C – Leiaute C	35
Figura 19 – Sala D – Leiaute D	36
Figura 20 - Imagem de geosatélite – Localização	37
Figura 21 - Método para determinar a refletância	37
Figura 22 - Interruptor da sala	39
Figura 23 - Luminária CAA02-E232	40
Figura 24 - Distribuição dos pontos na malha de medição – Layout A.....	43
Figura 25 - Distribuição dos pontos na malha de medição – Layout B.....	43
Figura 26 - Distribuição dos pontos na malha de medição – Layout C	43
Figura 27 - Distribuição dos pontos na malha de medição – Layout D	44
Figura 28 - Luxímetro utilizado nas medições.....	44
Figura 29 - Sensores de luminosidade.....	56
Figura 30 - Instalação dos sensores MicroLuxsense e LuxSense.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização das condições do céu.....	26
Tabela 2 - Dimensões das salas em estudo.....	36
Tabela 3 - Refletâncias aproximadas das superfícies	38
Tabela 4 - Quantidade de lâmpadas e tipos de instalação.....	39
Tabela 5 - Luminárias por área	40
Tabela 6 - Especificações técnicas Luminária CAA02-E232.....	41
Tabela 7 - Parâmetros de cálculo da malha de medição	42
Tabela 8 - Medições de lux da iluminação artificial	46
Tabela 9 - Medições de lux da iluminação natural	48
Tabela 10 - Uniformidade calculada dos ambientes.....	49
Tabela 11 - Uniformidade calculada dos ambientes.....	50
Tabela 12 - Índice do Local para as salas analisadas.....	52
Tabela 13 - Coeficiente de utilização das salas analisadas	52
Tabela 14 - Fluxo total por ambiente.....	53
Tabela 15 - Quantidade de luminárias por ambiente após redimensionamento.....	54
Tabela 16 - Resultado do redimensionamento da Iluminação.....	54
Tabela 17 - Potência instalada após substituição por LED	55

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
DPI _L	Densidade de Potência Instalada
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
LED	Light Emitting Diode
NBR	Norma Brasileira
NOAA	National Oceanic & Atmospheric Administration
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
RTQ	Regulamento Técnico da Qualidade
SLL	Society of Light and Lightining
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi Árido
UGR	Índice de Ofuscamento Unificado

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
2.	OBJETIVOS	14
2.1.	OBJETIVO GERAL.....	14
2.2.	OBJETIVO ESPECÍFICO	14
3.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
3.1.	TERMINOLOGIA.....	15
3.1.1.	Fluxo Luminoso	15
3.1.2.	Luminância	15
3.1.3.	Iluminância	16
3.1.4.	Temperatura de cor	17
3.1.5.	Plano de trabalho.....	17
3.1.6.	Entorno imediato	17
3.1.7.	Ofuscamento	18
3.2.	EQUIPAMENTOS E TECNOLOGIAS DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL	18
3.2.1.	Lâmpadas de LED (Diodo Emissor de Luz)	19
3.2.2.	Lâmpadas fluorescentes	19
3.2.3.	Luminárias.....	20
3.2.4.	Sensores para controle da Iluminação	22
3.3.	EQUIPAMENTOS E TECNOLOGIAS DA ILUMINAÇÃO NATURAL.....	23
3.3.1.	Brises e prateleiras de luz.....	23
3.3.2.	Distribuição e posicionamento das janelas.....	25
3.3.3.	Tipos de céu	26
3.3.4.	Geometria e orientação do prédio	27
3.4.	LEGISLAÇÕES CABÍVEIS.....	29
3.4.1.	NBR 8995-1 - Iluminação de ambientes de trabalho	29

3.4.2. PROCEL Edifica - Eficiência Energética em Edificações	31
4. CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO	33
4.1. DIMENSÕES E ORIENTAÇÃO	36
4.2. REFLETÂNCIAS	37
4.3. CONTROLE DE ILUMINAÇÃO	39
4.4. LÂMPADAS	39
4.5. LUMINÁRIAS	40
4.6. FATOR DE MANUTENÇÃO	41
4.7. ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL	42
4.8. ILUMINAÇÃO NATURAL	47
4.9. UNIFORMIDADE DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL	49
4.10. NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	49
5. MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	51
5.1. REDIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO	51
5.1.1. Método dos Lúmens	51
5.2. SUBSTITUIÇÃO DAS LÂMPADAS	54
5.3. UTILIZAÇÃO DE CONTROLES DA ILUMINAÇÃO	55
5.4. APROVEITAMENTO DA ILUMINAÇÃO NATURAL	55
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
REFERÊNCIAS	59
ANEXO 1	62
ANEXO 2	63
ANEXO 3	64
ANEXO 4	65

1. INTRODUÇÃO

Desde o início da humanidade uma das maiores preocupações do homem é buscar um meio de resolver a ausência da luz natural, e de vencer a barreira da escuridão noturna. Em 1882, Thomas Edison construiu a primeira usina geradora em corrente contínua, a partir daí a demanda mundial por energia elétrica permanece em constante expansão, sendo uma preocupação constante não só dos governos e das entidades oficiais como também de toda a sociedade com a utilização de energia.

Devido ao crescente consumo de energia elétrica, surge a necessidade de geração e criação de novas fontes de energia. Sendo assim, para a crescente necessidade de aumento da capacidade de abastecimento elétrico, é de fundamental importância considerar também um esforço na outra extremidade da cadeia energética, no sentido de redução do consumo.

No Brasil, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica foi Instituído pela ELETROBRÁS em 2003, a fim de conscientizar e incentivar a população em geral para o consumo moderado de energia elétrica e redução do desperdício, buscando amenizar os impactos ao meio ambiente. Portanto, para resultados realmente válidos é necessário desenvolver uma mudança cultural e comportamental diante as formas de utilização da energia elétrica. Visando reduzir o desperdício de energia elétrica apenas com medidas educativas, o governo brasileiro implantou um importante instrumento para adoção da eficiência energética: a Lei nº 10.295, também conhecida como Lei de Eficiência Energética. A lei foi criada com o objetivo de estimular o desenvolvimento tecnológico, a preservação ambiental e a introdução de produtos mais eficientes no mercado nacional. De acordo com PROCEL (2014), a Lei determina os níveis mínimos de eficiência de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no país.

A ampliação da tecnologia a cada ano proporciona ao consumidor ter acesso a novos modelos de máquinas e aparelhos com tipos e vantagens para que o mesmo possa escolher entre modernidade, conforto, praticidade e menor consumo. A conservação da energia elétrica reduz o consumo e desconsidera a necessidade de ampliação da capacidade instalada sem afetar a qualidade do serviço prestado aos usuários.

A iluminação tem papel representativo no consumo total das edificações, e por isso, merecem atenção para possibilidade de melhoria em sua eficiência energética e redução de custos. De acordo com Costa (2006, p. 1), a iluminação apresenta grande potencial de conservação de energia e tem capacidade para oferecer retornos mais rápidos às necessidades de redução de consumo com os menores investimentos

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Realizar estudo para analisar e propor medidas de eficiência energética que possibilite a redução de consumo de energia elétrica aplicada no sistema de iluminação das salas de aula do bloco 02 da UFERSA – Campus Angicos/RN.

2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

- Estudar os requisitos das normas brasileiras relacionadas à iluminação e à eficiência energética a fim de apontar a conformidade ou não do ambiente proposto;
- Mostrar os tipos de medidas de eficiência energética aplicadas aos sistemas de iluminação existentes;
- Diagnosticar a situação atual da iluminação das salas do bloco de aula 2;
- Definir as medidas de eficiência energética que melhor se aplicam ao caso estudado;
- Propor soluções para uma iluminação eficiente e econômica.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

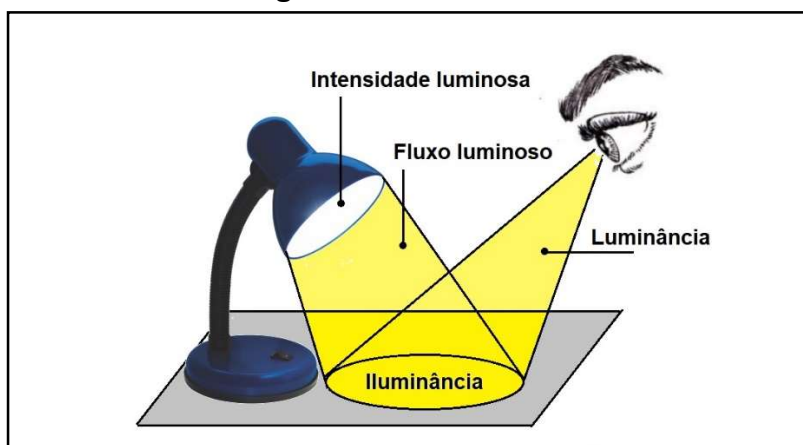
3.1. TERMINOLOGIA

A seguir são apresentadas algumas definições a fim de fornecer embasamento teórico suficiente para melhor compreensão deste trabalho. As definições foram embasadas na Norma Brasileira de Terminologia da Iluminação NBR-5461:1991 e na Norma Brasileira de Iluminação de Ambientes de Trabalho NBR-8995:2013.

3.1.1. Fluxo Luminoso

Define-se fluxo luminoso (Φ) como a quantidade total de luz emitida por uma fonte de luz ou fonte luminosa em todas as direções capaz de ser percebida pelo olho humano, conforme a figura 1. O fluxo luminoso é medido por meio de uma grandeza chamada de lúmen (lm) (NBR 8995-1, 2013).

Figura 1 - Fluxo luminoso



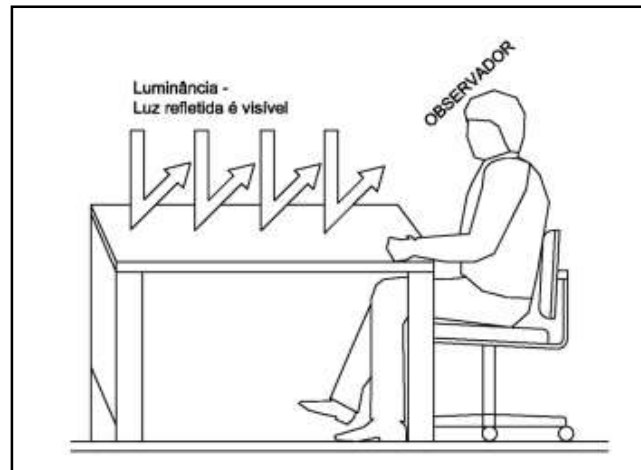
Fonte: Guia da Engenharia (2019)

3.1.2. Luminância

A luminância descreve a medição da quantidade de emissão de luz, que passa através ou é refletida a partir de uma superfície. Ela também indica o quanto de energia luminosa pode ser percebida pelo olho humano. Isto significa que a luminância indica o brilho da luz emitida ou refletida de uma superfície, conforme a figura 2. Sua

unidade padrão é expressa em candela por metro quadrado (cd/m^2) (NBR 8995-1,2013).

Figura 2 - Luminância

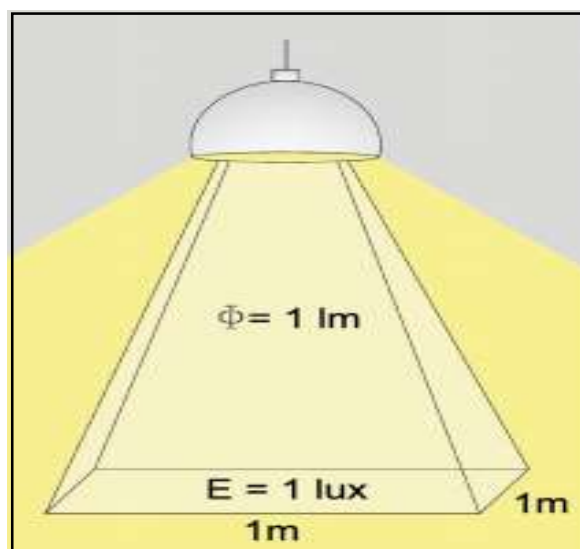


Fonte: Manual de iluminação PROCEL (2011)

3.1.3. Iluminância

A iluminância (E) é definida como sendo a relação entre o fluxo luminoso incidente numa superfície e a superfície sobre a qual este incide, portanto, é a densidade de fluxo luminoso atuante na superfície. A unidade de medida da iluminância é expressa em lux. Onde o Lux corresponde a uma unidade de iluminamento ou iluminância, ou seja, um lúmen para cada superfície de um metro quadrado, conforme a figura 3, onde A é a área da superfície. (NBR 8995-1,2013).

Figura 3 - Iluminância



Fonte: Manual de iluminação PROCEL (2011)

3.1.4. Temperatura de cor

De acordo com a NBR 5461 (1991), a temperatura de cor é a temperatura do corpo negro, em Kelvin (K), onde é emitida uma radiação com mesma cromaticidade do estímulo aplicado, tendo em vista que o corpo negro é um objeto hipotético capaz de absorver a radiação eletromagnética atuante no corpo. Quanto mais alta a temperatura de cor, mais clara é a tonalidade de cor da luz. Quando se fala em luz quente ou fria, não se retrata ao calor físico da lâmpada, e sim a tonalidade de cor que ela apresenta ao ambiente.

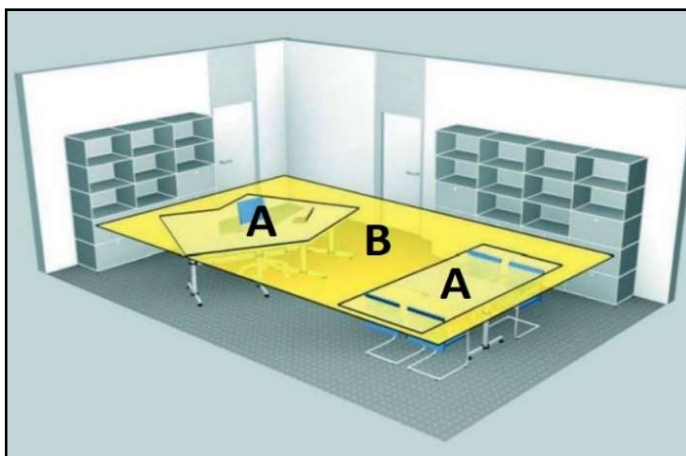
3.1.5. Plano de trabalho

O plano de trabalho, é definido como um plano horizontal, vertical ou inclinado, em que o trabalho é habitualmente realizado. Esta área é, portanto, o foco de iluminação e análise para garantir níveis de iluminância adequados (NBR 8995-1,2013).

3.1.6. Entorno imediato

O entorno imediato é definido como a área localizada ao redor da área da tarefa dentro do campo de visão do indivíduo. Recomenda-se que esta área seja no mínimo 0,5 m de largura e pode ser considerada como uma faixa que entorna a área da tarefa, conforme a figura 4 (NBR 8995-1,2013).

Figura 4 - Locais de trabalho (A) e áreas do entorno (B) em um escritório



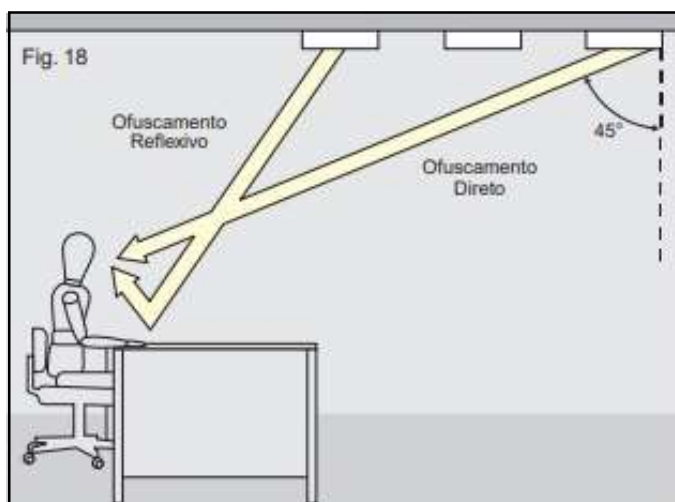
Fonte: ABNT (2013)

3.1.7. Ofuscamento

A norma brasileira NBR 8995-1(2013), define o ofuscamento como uma sensação visual produzida por áreas brilhantes dentro do campo de visão podendo ser experimentada tanto como ofuscamento desconfortável quanto como um ofuscamento inabilitado. O ofuscamento pode também ser causado por reflexões em superfícies especulares e é normalmente conhecido como reflexões veladoras ou ofuscamento refletido. É importante limitar o ofuscamento aos usuários para prevenir erros, fadiga e acidentes.

O ofuscamento pode ser apresentado de duas formas, direto e reflexivo. No ofuscamento direto, a fonte luminosa é direcionada diretamente ao campo visual do indivíduo, já no ofuscamento reflexivo acontece a reflexão da fonte luminosa no plano de trabalho, orientando-a para o campo de visual do indivíduo (OSRAM, 2010), conforme a figura 5.

Figura 5 - Ofuscamento



Fonte: Manual luminotécnico prático

3.2. EQUIPAMENTOS E TECNOLOGIAS DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

A seguir são mostradas as características e definições dos principais equipamentos de um sistema de iluminação.

3.2.1. Lâmpadas de LED (Diodo Emissor de Luz)

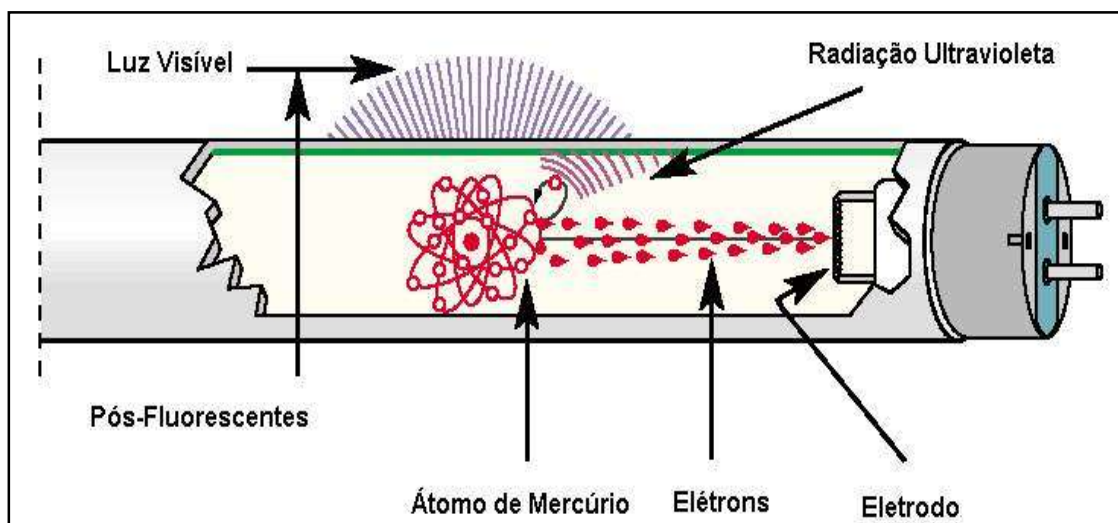
Por muito tempo as lâmpadas incandescentes foram as mais usadas em residências brasileiras. Mas devido a sua baixa eficiência energética foram removidas do mercado. Para substituí-las, as lâmpadas de LED (*Lighting Emitting Diode*) chegaram ao mercado com diferenciais energéticos. Sua alta eficiência energética e a alta durabilidade são as vantagens mais consagradas do LED. Sua variedade de tamanhos, formatos, cores, potências e aplicações oferece ao comprador uma gama de escolhas na hora da utilização dessa luz.

Os diodos emissores de luz (LED) são elementos semicondutores que convertem a corrente elétrica em luz visível, sua vida útil é de 20.000 a 50.000 horas. A lâmpada LED pode durar, dependendo do modelo, pelo menos vinte e cinco vezes mais do que as lâmpadas incandescentes e quatro vezes mais do que as fluorescentes compactas. Elas também possuem várias outras vantagens em relação às outras tecnologias, não emitem radiação ultravioleta e infravermelha (sendo mais confortável para os olhos), são mais resistentes e mais econômica, pois sua eficiência luminosa é maior do que outros modelos de lâmpadas. Ou seja, gasta menos energia para gerar a mesma iluminação (INMETRO, 2016)

3.2.2. Lâmpadas fluorescentes

As lâmpadas fluorescentes emitem luz pela passagem de corrente elétrica através do vapor de mercúrio de baixa pressão condicionados em um tubo selado. Quando a energia é acionada, os eletrodos passam a emitir elétrons que se movem, criando um fluxo de corrente. Esses elétrons se chocam com os átomos do vapor de mercúrio provocando uma descarga elétrica formada por radiação ultravioleta, que é invisível ao olho humano. Quando a radiação ultravioleta entra em contato com o fósforo ou pó fluorescente é convertida em luz, conforme a Figura 6. A cor visível da luz depende da composição química do fósforo de revestimento interno do bulbo.

Figura 6 - Processo de geração de luz visível nas lâmpadas fluorescentes.



Fonte: Catálogo Philips SILHOUETTE T5 (2013)

É significativa a presença de dois tipos de lâmpadas fluorescentes no mercado: as lâmpadas fluorescentes compactas e as lâmpadas fluorescentes tubulares. As lâmpadas fluorescentes compactas e a lâmpada na qual foi incorporada todas as características e tecnologias das lâmpadas fluorescentes tubulares, consideradas de nova geração, porém, em proporções reduzidas, apresentando um princípio de funcionamento similar as fluorescentes tubulares. Oferecem uma longa durabilidade, alta eficiência energética e excelente qualidade de luz, além de redução de 80% no consumo de energia elétrica, quando comparado com as incandescentes.

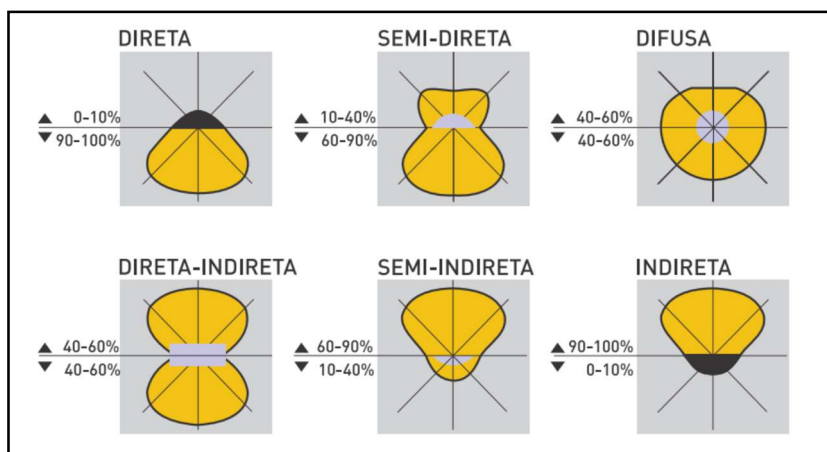
As lâmpadas fluorescentes tubulares apresentam uma alta eficiência energética e longa durabilidade, possibilitando sua aplicação em diversos locais. As lâmpadas tubulares possuem uma variedade de diâmetros, sendo os mais tradicionais, T12 (38mm) e T10 (33mm). As versões mais modernas, T8 (25mm) e T5 (16mm). Todas essas lâmpadas são encontradas em diversos comprimentos e potências elétricas de consumo, além de apresentar grande variedade de temperaturas de cor.

3.2.3. Luminárias

A variação dos tipos de luminárias existentes no mercado deixa o consumidor em dúvida qual é o melhor modelo a ser utilizado. As luminárias podem distribuir, filtrar ou modificar o fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas. Além do material utilizado na

sua composição, as luminárias devem ser selecionadas principalmente pela finalidade as quais devem desenvolver. De modo geral, estas podem ser classificadas conforme a Figura 7.

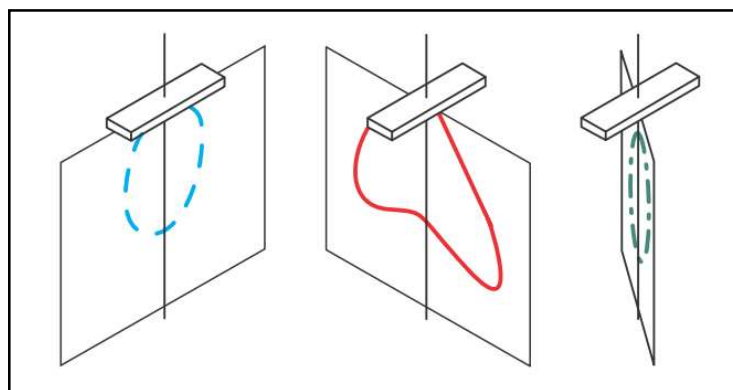
Figura 7 - Classificação e curvas de distribuição da intensidade luminosa.



Fonte: ITAIM Iluminação (2016)

Portanto, os componentes construtivos das luminárias garantem uma percepção final da iluminação. O refletor, reflete e distribui o fluxo luminoso lançado pelas lâmpadas do interior da luminária, já os refratores são usados para redirecionar por refração, a distribuição do fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas. O corpo das luminárias deve atender as características mecânicas, térmicas e elétricas, na qual proporcionem ao local de instalação uma maior segurança ao consumidor. Por sua vez, as aletas e difusores, possibilitam o controle e atenuação do ofuscamento. (ITAIM, 2016).

Por meio curva fotométrica de uma luminária é possível compreender como ocorrerá a distribuição da luz. A intensidade luminosa é representada por um diagrama polar, em candela por 1000 lúmens do fluxo nominal da lâmpada. Este diagrama mostra a distribuição do fluxo luminoso nos planos, no eixo longitudinal, eixo transversal e eixo diagonal (ITAIM, 2016), conforme Figura 8.

Figura 8 - Eixos da curva fotométrica

Fonte: ITAIM Iluminação (2016)

Com a razão entre a quantidade total de luz emitida pela luminária e a soma do fluxo luminoso produzido pelas lâmpadas, é possível definir o rendimento de uma luminária. No entanto, a quantidade de luz produzida pelas lâmpadas nem sempre alcança a superfície de trabalho, tendo em vista que há uma pequena perda por absorção de luz pela luminária. A comparação entre o fluxo luminoso que atinge uma superfície e a soma dos fluxos luminosos das lâmpadas fora da luminária, vai gerar o fator de utilização (U), na qual é apresentado na forma de tabela para cada tipo de luminária, dependendo da distribuição da luz, o rendimento da luminária, do ambiente e das dimensões do local (ITAIM,2016).

3.2.4. Sensores para controle da Iluminação

Atualmente, um dos sensores mais utilizados para o controle de iluminação são os sensores de presença e/ou de movimento. O sensor ao “sentir” a presença ou movimentação de um indivíduo aciona automaticamente as luzes, tendo em vista que, após um tempo pré-determinado as luzes ao não identificar a presença ou movimentação de um indivíduo irá se desligar também automaticamente. Com isso, evitam que ambientes vazios permaneçam com as lâmpadas acesas e ainda facilitam que elas sejam acionadas quando necessário, isto é, quando de fato existir algum indivíduo no ambiente a ser iluminado.

A iluminação artificial pode ser utilizada de forma a inteirar a iluminação natural, na qual ela será acionada quando não houver luz natural suficiente no ambiente. O acionamento é automático ou pode ser instantâneo, do tipo liga/desliga, ou gradual,

chamado de dimmer. O tipo liga/desliga tem o custo mais reduzido, entretanto, os dimmers mostram maior economia de energia e causam menos perturbações na percepção visual dos ocupantes, tendo em vista as variações repentinas no nível de iluminação (SLL, 2009)

O dimmer é um dispositivo que atua juntamente com o sensor fotoelétrico, na qual, o sensor indicará a quantidade de luz que está sendo recebido e o dimmer ajustará o fluxo luminoso das lâmpadas para complementarem o nível de lux pré-determinado.

Além disto, pode ser utilizado temporizadores, com capacidade de acionar ou desligar uma ou mais lâmpadas de acordo com o tempo determinado pelo usuário do sistema. Este meio permite o acionamento e desligamento automático, permitindo com que as luzes permaneçam acesas apenas naquele período útil do dia (SLL, 2009).

3.3. EQUIPAMENTOS E TECNOLOGIAS DA ILUMINAÇÃO NATURAL

3.3.1. Brises e prateleiras de luz

Os brises e as prateleiras de luz são alternativas que compõem a fachada arquitetônica de um edifício e impedem a incidência direta de radiação solar no interior do edifício, prevenindo o ofuscamento e o aumento excessivo de calor. Os brises podem ser compostos de materiais diversos, sendo os mais utilizados concreto, madeira e alumínio. Geralmente, são compostos por lâminas que podem ser fixas ou móveis, localizadas em frente às aberturas dos edifícios, conforme Figura 9.

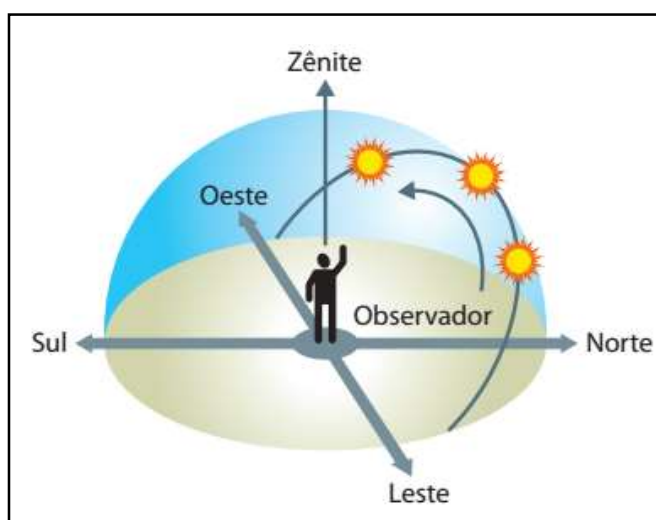
Figura 9 - Brises verticais em fachadas



Fonte: Autoria própria (2020)

Uma regrinha simples para a escolha da posição dos brises na maior parte do Brasil é a seguinte: para as fachadas leste e oeste, que recebem respectivamente o sol da manhã e o da tarde (que chega rasante), prefira os brises com aletas verticais. Para a fachada norte, que recebe sol durante todo o dia, mas numa posição mais a pino, prefira os brises horizontais. A fachada sul carece menos dos brises, visto que tem uma incidência de sol muito menor, conforme a figura 10. Sempre que possível, dê preferência aos modelos móveis, eles serão muito mais eficazes.

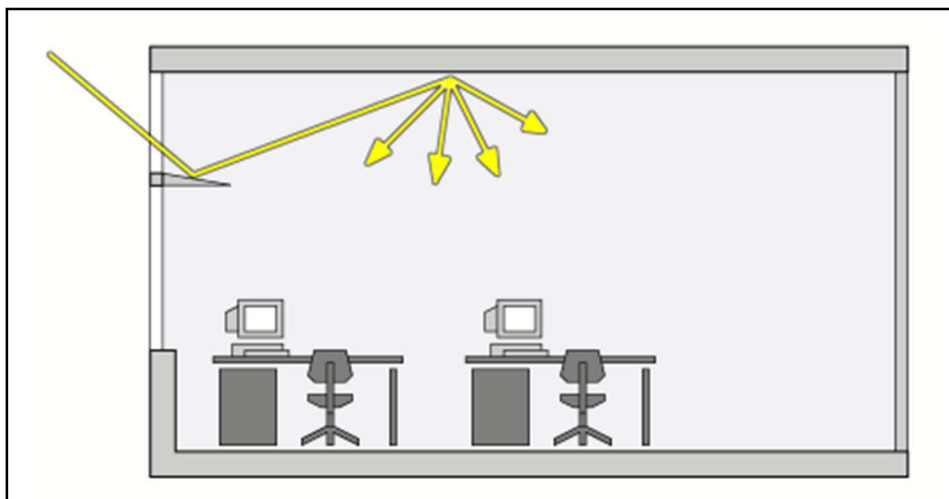
Figura 10 - Movimento da trajetória solar



Fonte: Eletricista consciente (2017)

As prateleiras de luz agem como um brise horizontal para as janelas, devendo ser posicionadas acima do nível dos olhos. Sua correta utilização melhora a qualidade da luz natural e permite a penetração mais profundamente de luz no ambiente, conforme a figura 11.

Figura 11 - Prateleira de luz



Fonte: Dica da arquiteta (2015)

Utilizado para redirecionar a luz natural para dentro do edifício a prateleira de luz, que age como um elemento no plano horizontal ou inclinado, devendo ser posicionada em uma abertura vertical posicionada acima do nível dos olhos. Esse elemento pode ser externo, interno ou ambos, e possui índice de reflexão considerável em sua superfície superior. Caracteriza-se por funcionar também como um dispositivo de sombreamento que bloqueia a luz solar direta e a redireciona para o teto e fundos do ambiente, melhorando a qualidade da luz natural e permite a penetração mais profundamente de luz no ambiente (Freewan, 2010).

3.3.2. Distribuição e posicionamento das janelas

É por meio de janelas que os diferentes cômodos de um edifício receberão mais ou menos penetração da luz solar em um ambiente. Logo, quanto maior a altura da janela, maior a quantidade de luz natural adentrada ao ambiente.

Conforme Dutra, Lamberts e Pereira (2012, p. 157), "a penetração útil da luz natural pela janela é limitada a uma distância de aproximadamente 1,5 vezes a altura da parte superior da janela". Portanto, ambientes com pé-direitos maiores, concedem

uma localização mais elevada das janelas e de modo consequente um maior aproveitamento de luz natural.

As janelas horizontais distribuem a luz de maneira mais uniforme que janelas verticais, bem como janelas maiores irão distribuir melhor a luz que janelas concentradas numa pequena área da parede. No entanto, a área percentual da janela em relação à área de piso deve ser de no máximo 20%, devido à absorção do calor no verão e às perdas de calor no inverno. Sugere-se que as janelas sejam posicionadas em mais de uma parede, colaborando com uma iluminação bem distribuída e mais uniforme.

3.3.3. Tipos de céu

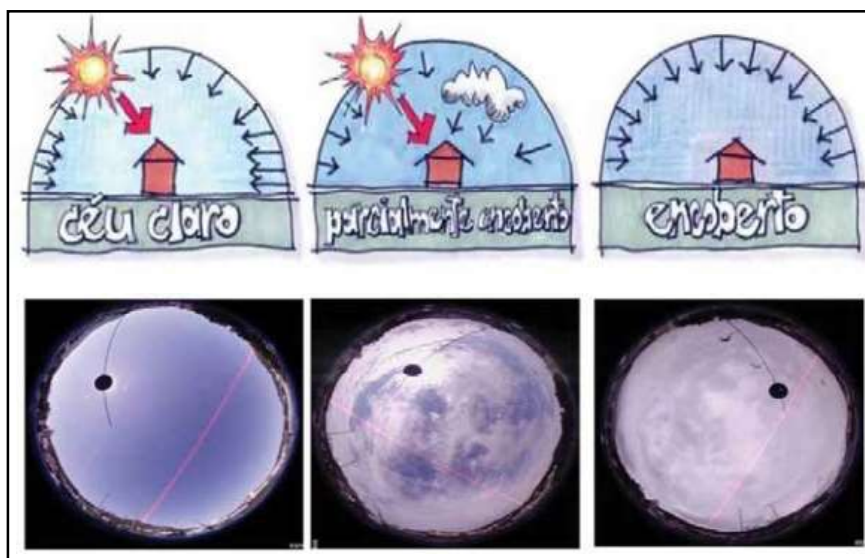
Para a caracterização das condições do céu, é utilizado o método da cobertura do céu prescrito pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA, 2000), na qual estabelece três tipos básicos de céu: claro, parcialmente encoberto e encoberto, conforme a figura 12. Tendo em vista que a cobertura é estimada visualmente pela observação do montante de cobertura de nuvens. Esta cobertura de nuvens é estimada em percentual e expressa numa escala de 0 a 100%. Por conseguinte, a ABNT adotou o método da cobertura do céu recomendado pela NOAA, para a caracterização das condições de céu. A cobertura de nuvens da abóbada é estimada visualmente segundo os parâmetros de acordo com a tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização das condições do céu

Tipo de céu	Cobertura de nuvens
Claro	0% a 35%
Parcialmente encoberto	35% a 75%
Encoberto	75% a 100%

Fonte: ABNT (2005)

Figura 12 - Os três tipos de céu: claro, parcialmente encoberto e encoberto



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2014)

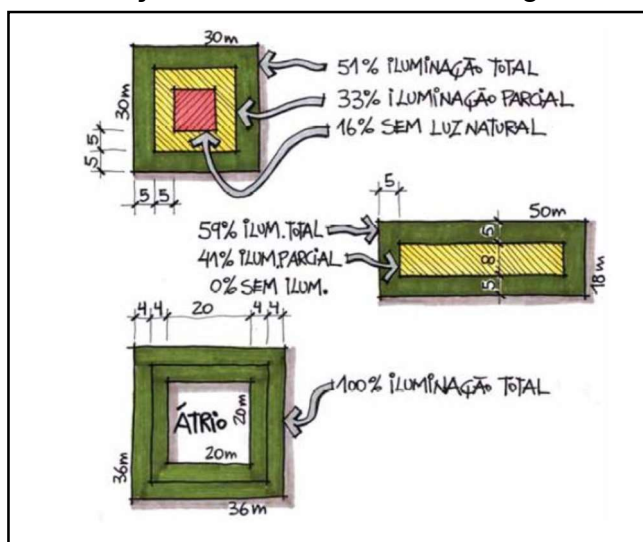
É importante o conhecimento destes tipos de céu para a avaliação da iluminação natural em um ambiente, pois eles refletem as possíveis variações da luz.

3.3.4. Geometria e orientação do prédio

A iluminação natural é mais bem aproveitada, quando sua utilização é pensada desde a fase de criação do projeto arquitetônica do edifício. A arquitetura indicará distribuição e posicionamento de janelas, orientação do prédio, aberturas zenitais, materiais utilizados e cores, dentre outros fatores influenciadores do sistema de iluminação natural.

Segundo Dutra, Lamberts e Pereira (2014, p. 155), "normalmente, em edifícios com vários pavimentos, uma distância de 5 metros pode ser totalmente iluminada com luz natural, enquanto os 5 metros além desse limite podem apenas ser parcialmente iluminados". Na figura 13, é apresentado três plantas com a mesma área construída, tendo em vista as diferentes possibilidades de iluminação natural.

Figura 13 - Iluminação natural de acordo com geometria do edifício.



Fonte: Dutra, Lamberts e Pereira (2014)

A orientação do prédio é um grande influenciador na iluminação natural. Visando a posição geográfica do Brasil, a melhor orientação para o aproveitamento da luz natural é a norte, pois a “trajetória” do sol está sempre inclinada para o Norte. Tendo em vista que, a incidência de luz direta gera o aumento da temperatura, logo, aberturas direcionadas a essa orientação deve sempre obter opções de sombreamento para reduzir o calor.

A orientação sul, considerada como a segunda melhor orientação para a luz natural, devido à constância da luz. Apesar da quantidade de luz, que pode ser baixa, a qualidade da luz é alta quando se emprega uma luz branca fria. O Sul é a orientação que menos recebe incidência direta de luz solar, prevenindo situações como o aumento de temperatura no ambiente e ofuscamento.

A orientação leste e oeste são consideradas as piores. Isso se deve a luz solar direta com maior intensidade no verão e com menor intensidade no inverno, apresentando uma maior dificuldade no projeto de proteções solares. Portanto, as soluções adotadas devem ter caráter dinâmico para adaptação de acordo com a época do ano (LAMBERTS et al., 2014, p.158).

3.4. LEGISLAÇÕES CABÍVEIS

Órgãos brasileiros e internacionais, a fim de promover ambientes com a iluminação dimensionada de forma correta, especificaram e publicaram normas e leis que definem requisitos mínimos para o desenvolvimento de um sistema de iluminação que ofereça conforto, eficiência e segurança.

3.4.1. NBR 8995-1 - Iluminação de ambientes de trabalho

Em busca de assegurar a eficiência da iluminância em projetos luminotécnicos, a comissão de Estudo de Aplicações Luminotécnicas e Medições Fotométricas (CE-03:034.04) elaborou no Comitê Brasileiro de Eletricidade (ABNT/CB-03) a Norma Brasileira: “Iluminação de ambientes de trabalho Parte 1: Interior” (ABNT – NBR ISO/CIE 8995-1). A norma está em vigor desde o dia 21 de abril de 2013, na qual cancelou e substituiu, a partir desta data, a ABNT NBR 5413:1992 e a ABNT NBR 5382:1985.

A NBR 8595-1 determina aspectos qualitativos e quantitativos da iluminação para locais de trabalho em ambientes internos e as condições para que o profissional realize tarefas visuais de forma segura, eficiente e confortável, mesmo durante longos períodos de trabalho em adversas circunstâncias.

Conforme a NBR 9595-1, para se obter eficiência, conforto e segurança visual, é necessário analisar todos os parâmetros que compõem o ambiente luminoso, onde os principais são: distribuição da luminância; iluminância; ofuscamento; direcionalidade; aspectos da cor da luz; cintilação; luz natural e manutenção.

A NBR 8995-1 indica valores tabelados para a iluminância (E_m), o valor limite de ofuscamento unificado (UGRL) e o valor mínimo de reprodução de cor (R_a) para determinado tipo de ambiente, atividade ou tarefa. Para garantir que a iluminância se altere de gradualmente, evitando contraste excessivo ou pontos escuros no ambiente, o plano de trabalho deve obedecer ao nível de iluminância mínimo na qual foi indicado e dispor a maior uniformidade possível, logo, a razão entre o valor mínimo e médio de iluminância deve ser maior ou igual a 0,7. Já no entorno imediato, a uniformidade deve ser superior ou igual a 0,5.

De acordo com a NBR 8995-1, para os níveis de iluminância tabelados é considerada as características da manutenção da lâmpada, da luminária, do ambiente e do sistema de manutenção, na qual, não é recomendado que o fator de manutenção obtido seja inferior a 0,7.

A NBR 8995-1, considera que “é importante limitar o ofuscamento aos usuários para prevenir erros, fadiga e acidentes”. Logo, a norma sugere proteção contra visão direta às lâmpadas e o escurecimento das janelas por anteparos, tipo brises, persianas, etc. Deste modo, o índice limite de ofuscamento unificado (UGRL) é o valor máximo permitido do índice de ofuscamento unificado, levando em consideração o ambiente e a tarefa, em que os valores adotados na escala 13-16-19-22-25-28, o 13 representa o ofuscamento desconfortável menos perceptível.

O Índice de Ofuscamento Unificado (UGR) tabelado é determinado por meio do método tubular, em que considera as características fotométricas da luminária no ambiente analisado, as características das refletâncias das superfícies no ambiente, as dimensões do ambiente analisado e o espaçamento entre as luminárias instaladas. O método tubular é baseado na Equação 1.

$$UGR = 8 \cdot \log \left(\frac{0,25}{L_b} \cdot \sum \frac{L^2 \cdot \omega}{p^2} \right) \quad (1)$$

Onde,

L_b é a luminância de fundo (cd/m^2)

L é a luminância da parte luminosa de cada luminária na direção do olho do observador (cd/m^2)

ω é o ângulo sólido da parte luminosa de cada luminária junto ao olho do observador (esferodiano)

p é o índice de posição Guth de cada luminária, individualmente relacionado ao seu deslocamento a partir da linha de visão

Concordante à NBR 8995-1, o valor do índice mínimo de reprodução de cor (R_a) determina o valor mínimo permitido de redução da qualidade de reprodução de cor de uma lâmpada. O valor pode variar de 0 a 100, tendo em vista que a NBR 8995-1 não recomenda a utilização de lâmpadas com R_a inferior a 80 em interiores onde as

peças trabalham ou permanecem por longos períodos. Isto se deve a importância do desempenho visual e para a sensação de conforto e bem-estar, de modo que façam com que as pessoas tenham uma aparência atrativa e saudável.

3.4.2. PROCEL Edifica - Eficiência Energética em Edificações

Instituído pela ELETROBRÁS em 2003, o PROCEL Edifica é um programa nacional de eficiência energética em edificações. O programa tem como objetivo incentivar o uso eficiente dos recursos naturais e sua conservação, visando reduzir os impactos ao meio ambiente.

Conforme o Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética (PROCEL, 2016), "o consumo de energia elétrica nas edificações corresponde a cerca de 45% do consumo faturado no país. Estima-se um potencial de redução deste consumo em 50% para novas edificações e de 30% para aquelas que promoverem reformas que contemplem os conceitos de eficiência energética em edificações." Logo, para a aplicação desses conceitos, o PROCEL Edifica atua em 6 áreas: Disseminação, Tecnologia, Capacitação, Planejamento, Habitação e Eficiência Energética e regulamentação.

No programa, vale ressaltar a criação do Selo Procel Edificações, criado em novembro de 2014. Conforme o Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética (PROCEL, 2016), o selo é uma ferramenta que tem como vertente identificar as edificações na qual apresentam as melhores classificações de eficiência energética, incentivando o consumidor a adquirir e utilizar imóveis mais eficientes.

A avaliação dos critérios, baseados na conformidade do selo, está descrito no Regulamento para Concessão do Selo Procel de Economia de Energia para Edificações, bem como nos Critérios Técnicos específicos e baseiam-se no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edificações Residenciais (RTQ-R) do Programa Brasileiro de Edificações – PBE Edifica.

Na classificação do sistema de iluminação é considerado quatro requisitos: divisão dos circuitos, contribuição da luz natural, desligamento automático dos sistemas de iluminação e limite de potência de iluminação.

Para ambientes internos maiores que 250 m², o Regulamento Técnico da Qualidade (2013), antevê a existência de um dispositivo de desligamento automático do sistema de iluminação. Dispositivo, que tem capacidade de realizar o desligamento em horários pré-definidos ou com a utilização de sensores de presença que desliguem a iluminação 30 minutos após a não detecção de ocupantes.

Existem duas formas para determinar os limites de potência da iluminação interna, pela área do edifício ou por atividade exercida no edifício. De acordo com o Regulamento Técnico da Qualidade (2013), a forma da área do edifício identifica no edifício qual a atividade principal avaliada e sua respectiva densidade de potência de iluminação limite (DPIL - W/m²) para cada nível de eficiência.

Posteriormente, determina-se a áreas iluminadas, e multiplica-se a área por sua respectiva iluminação limite (DPIL), obtendo-se o resultado da potência limite do edifício. A análise e avaliação do nível de eficiência do sistema de iluminação se dar pela comparação da potência limite calculada à potência real instalada do edifício.

No caso de uma edificação com uma diversidade maior de atividades por ambiente, deve-se optar pelo método das atividades do edifício. Este método avalia separadamente cada ambiente iluminado e sua respectiva atividade, atribuindo a cada área iluminada uma densidade de potência da iluminação limite (DPIL) específica para a atividade. De forma análoga, deve-se multiplicar as respectivas DPIL por suas áreas correspondentes, e somar todos os resultados encontrados para obter a potência limite do edifício. Comparando-se a potência calculada com a potência real instalada, é possível identificar o nível de eficiência da edificação.

Em um edifício com diversas atividades por ambiente, é adotado o método das atividades do edifício. Esse método avalia cada ambiente iluminado e sua respectiva atividade, onde vai ser atribuído uma densidade de potência de iluminação limite (DPIL) para cada ambiente iluminado. Deve-se multiplicar as DPIL por suas áreas correspondentes, e somar todos os resultados obtidos para encontrar a potência limite do edifício. Se comparar a potência calculada com a potência real instalada, é possível identificar o nível de eficiência da edificação.

4. CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

A cidade de Angicos se situa no estado do Rio Grande do Norte, conforme a Figura 14, possui uma densidade demográfica de 15,57 habitantes por quilômetro quadrado. Sua população estimada para o ano de 2019 é de 11.714 habitantes (IBGE,2020).

Figura 14 – Localização de Angicos no estado do Rio Grande do Norte



Fonte: Wikipédia

O estudo foi realizado na Universidade Federal Rural do Semiárido, campus Angicos/RN. A universidade é composta por diversos prédios, que são divididos em blocos para facilitar o mapeamento e o deslocamento pela unidade. As análises pertinentes à iluminação natural e artificial foi feita em todas as salas do bloco de aulas 2, conforme a figura 14.

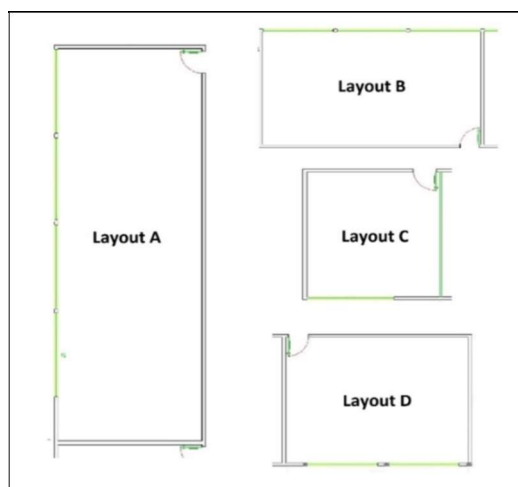
Figura 15 - Planta baixa do bloco de aulas 2



Fonte: UFERSA (2012)

O bloco de aulas 2 possui respectivamente uma área de 1062,75 m², possui um único pavimento, onde é composto por um corredor amplo central, e salas de aula adjacentes. As salas de aula possuem 4 leiautes característicos conforme a figura 15.

Figura 16 - Leiaute das salas de aulas



Fonte: Autoria própria (2020)

O “leiaute A” está localizado no final do corredor, este ambiente possui uma área construída de 94,8m² e apresenta duas janelas em apenas um lado da fachada lateral, conforme a figura 16. A análise desse Leiaute será representada pela Sala A.

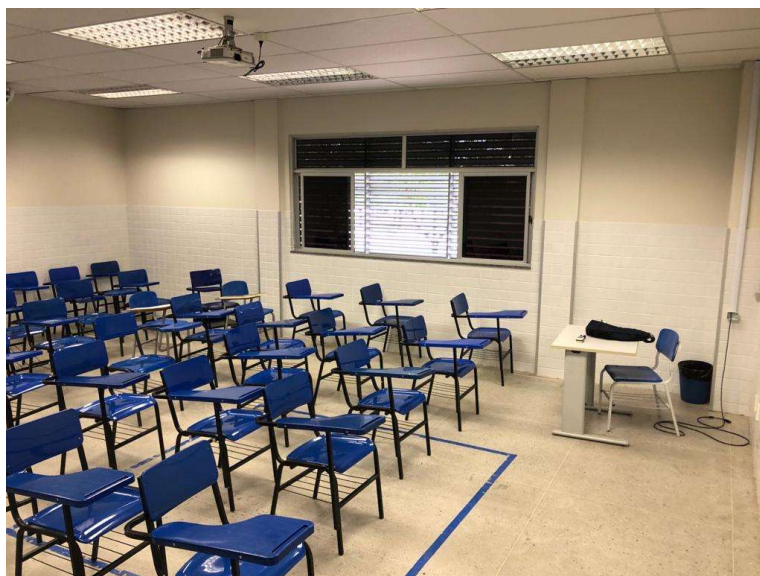
Figura 17 – Sala A – Leiaute A



Fonte: Autoria própria (2020)

O “leiaute B”, possui dimensão um pouco menor, na qual tem 63m² construídos e três janelas em um único lado da fachada lateral, conforme a figura 17. Este leiaute será representado pela Sala B.

Figura 18 – Sala B - Leiaute B



Fonte: Autoria própria (2020)

Dentre as salas do bloco de aulas, em sua maioria possuem o “leiaute C”, onde se tem uma sala menor, com uma área de 31,26m² e com apenas uma janela localizada no fundo, conforme a figura 18. Este leiaute será representado pela análise da sala da Sala C.

Figura 19 – Sala C – Leiaute C



Fonte: Autoria própria (2020)

Já algumas salas, possuem o “leiaute D”, tendo 47,04m² de área e duas janelas posicionadas ao fundo. Este leiaute será representado pela análise da Sala D, conforme a figura 19.

Figura 20 – Sala D – Leiaute D



Fonte: Autoria própria (2020)

4.1. DIMENSÕES E ORIENTAÇÃO

O levantamento de todas as dimensões pertinentes ao estudo da iluminação nos ambientes foi feito com o auxílio de uma trena milimétrica. Os dados obtidos podem ser vistos na tabela 2.

Tabela 2 - Dimensões das salas em estudo

Leiaute	Largura (m)	Comprimento (m)	Altura do chão a luminária (m)	Altura do plano de trabalho a luminária (m)
A	15,8	6	2,7	1,97
B	10,5	6	2,7	1,97
C	5,21	6	2,7	1,97
D	7,84	6	2,7	1,97

Fonte: Autoria própria (2020)

Através de imagens de geosatélite disponíveis online, tem-se que o prédio está localizado na latitude -5,65° e longitude -36,61°, elevação de 110 m, orientado 230° à sudoeste, conforme Figura 20.

Figura 21 - Imagem de geosatélite – Localização do bloco de aulas 2 UFERSA Angicos/RN.

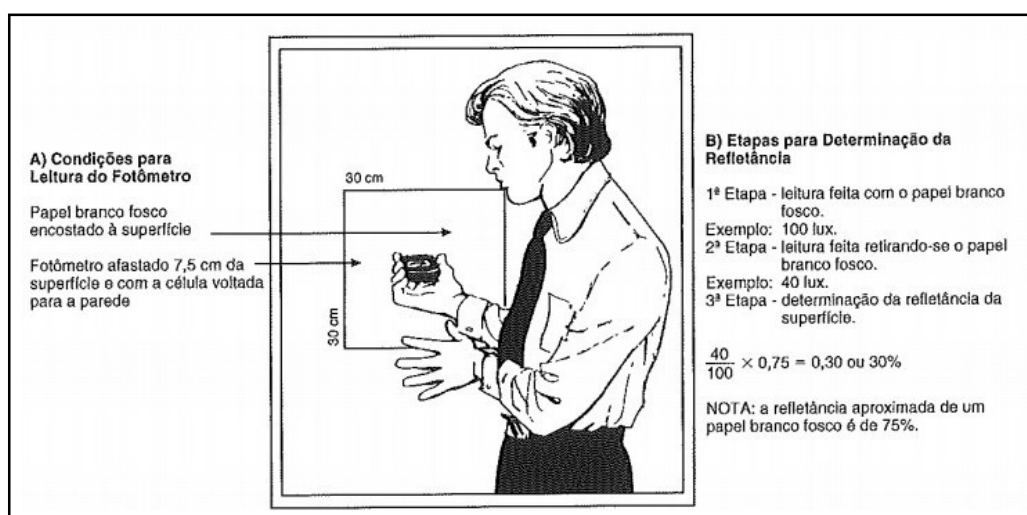


Fonte: Google Maps (2020)

4.2. REFLETÂNCIAS

A técnica utilizada para medir as refletâncias aproximadas das superfícies das salas em estudo, foi o método em que utiliza um papel branco fosco na leitura do luxímetro, conforme Creder (2007), posiciona-se uma folha de ofício branca, fosca, na superfície onde se deseja medir a refletância, e com o luxímetro posicionado a 7,5cm da superfície é necessário medir a iluminância com a folha e sem a folha, conforme a figura 21.

Figura 22 - Método para determinar a refletância



Fonte: CREDER (2007)

Logo, levando em consideração que a refletância aproximada de um papel branco fosco é de 75%, é feito o cálculo comparativo, conforme a equação 2.

$$\rho = \frac{E_{\text{sem papel}}}{E_{\text{com papel}}} \times 0,75 \quad (2)$$

Onde,

ρ é a refletância aproximada da superfície;

$E_{\text{sem papel}}$ é a iluminância medida da superfície sem o papel branco fosco;

$E_{\text{com papel}}$ é a iluminância medida da superfície com o papel branco fosco.

A NBR 8995-1, determina as mais importantes faixas de refletâncias para as superfícies interna do ambiente, estabelecendo que as faixas estejam entre:

- Plano de trabalho: 20 e 60%
- Parede: 30 e 80%
- Teto: 60 e 90%
- Piso: 10 e 50%

Assim, foram medidas as refletâncias do plano de trabalho, do piso, da parede e do teto. Os valores obtidos serão considerados para as demais salas de aula, já que elas possuem os mesmos materiais de revestimento das superfícies. As refletâncias medidas são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Refletâncias aproximadas das superfícies

Superfície	Iluminância sem o papel (lux)	Iluminância com o papel (lux)	Refletância aproximada
Teto	151	286	39%
Parede	360	423	63%
Planos de trabalho	111	102	81%
Piso	74	470	11%

Fonte: Autoria própria (2020)

4.3. CONTROLE DE ILUMINAÇÃO

Em todo o bloco de salas, o controle da iluminação artificial é controlado por interruptores manuais simples ou paralelos de duas e três teclas, onde o acionamento ocorre em apenas em um retorno único, conforme a figura 22.

Figura 23 - Interruptor da sala



Fonte: Autoria própria (2020)

4.4. LÂMPADAS

No levantamento da iluminação artificial, foram coletadas as quantidades e as potências elétricas das lâmpadas usadas nas salas de aula. A coleta foi realizada no dia 15,16 e 17 de janeiro de 2020, na qual, pode sofrer alterações à medida que houver substituição de alguma lâmpada. Os dados obtidos das salas para estudo podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4 - Quantidade de lâmpadas e tipos de instalação

Sala	Quantidade de lâmpadas (32W)	Tipo de instalação	
		Lâmpada por luminária	Embutida no forro
A	72	2	Sim
B	48	2	Sim
C	24	2	Sim
D	36	2	Sim

Fonte: Autoria própria (2020)

Todas as lâmpadas registradas nas salas de aula são do modelo tubular fluorescente. Na maioria das salas a leitura do fabricante da lâmpada não foi possível

devido ao estado conservação da marca impressa no equipamento ou o mau posicionamento da lâmpada. Porém, nas lâmpadas coletadas, foi possível destacar o modelo OSRAM F032W/640. A ficha técnica das lâmpadas encontra-se no Anexo 1.

4.5. LUMINÁRIAS

A identificação das luminárias utilizadas nas salas de aula não foi possível, porém, é possível afirmar que as luminárias utilizadas em todas as salas são do tipo embutida, similar ao modelo CAA02-E232 da Lumicenter, conforme a figura 23.

Figura 24 - Luminária CAA02-E232



Fonte: Lumicenter (2020)

A lâmpada associada desta luminária apresentará um fluxo luminoso de 5400lm, conforme a tabela 5 fornecida pelo fabricante.

Tabela 5 - Luminárias por área

Fluxo	5.400 lm			
Iluminância	350 lx		500 lx	
Pé direito	2,5 m	3,0 m	2,5 m	3,0 m
Área	Número de luminárias			
10 m ²	1,3	1,5	2,2	2,6
20 m ²	2,3	2,5	3,8	4,2
30 m ²	3,2	3,5	5,3	5,8
40 m ²	4	4,4	6,7	7,3
50 m ²	4,9	5,3	8,1	8,8

Fonte: Lumicenter, adaptada pelo autor (2020)

De acordo com os dados do catálogo Lumicenter (2020), estas luminárias comportam 2 lâmpadas T8 de 32W com um rendimento aproximado de 74%, conforme a tabela 6.

Tabela 6 - Especificações técnicas Luminária CAA02-E232

Código	Acessório	Lâmpada	Rendimento	Ip	Garantia
CAA02-E232	R/VIG	2X32W-T8	74%	20	2 anos

Fonte: Lumicenter, adaptado pelo autor (2020)

4.6. FATOR DE MANUTENÇÃO

Os ambientes em análise são classificados como “Salas de aulas noturnas, classes e educação de adultos”, conforme o tópico 28 da tabela apresentada no Anexo 2. A tabela, que é pertencente a NBR 8995-1(2013), determina os níveis mínimos de iluminância (E_m) mantida, limite de ofuscamento (UGR_L) e o índice de reprodução de cor (R_a), de acordo com o ambiente, tarefa ou atividade realizada no local em análise. À vista disso, é possível afirmar que as salas de aula em estudo devem proporcionar uma iluminância mantida mínima de 500 lux, UGR_L de 19 e R_a de 80. Tendo em vista que a NBR 8995-1 conta com um valor de iluminância mantida, e não instantânea, deve ser considerado a manutenção do sistema de iluminação do ambiente. Portanto, de acordo com a NBR 8995-1 é possível determinar o Fator de Manutenção (MF) do ambiente, o fator de manutenção é um múltiplo de fatores, definido pela Equação 3.

$$MF = FMLF \times FSL \times FML \times FMSS \quad (3)$$

Onde,

FMFL considera a depreciação do fluxo luminoso da lâmpada;

FSL considera o efeito de falha por envelhecimento da lâmpada;

FML considera os efeitos de redução do fluxo luminoso devido ao acúmulo de sujeira nas luminárias;

FMSS considera a redução da refletância devido à deposição de sujeira nas superfícies da sala.

Atendendo as características das salas de aula, será escolhido o fator de manutenção referenciado para sistemas de iluminação de interiores com lâmpadas fluorescentes disponíveis na NBR 8995-1. Portanto, o fator de manutenção adotado é

de 0,67, que conforme a NBR 9895-1(2013) o ambiente apresenta uma carga de poluição normal, ciclo de manutenção de três anos, 2.000 h/ano de vida até a queima com substituição da lâmpada a cada 12.000h, substituição individual e com uma pequena tendência de coleta de poeira, FMFL = 0,91; FSL = 1,00; FML = 0,80; FMSS = 0,90.

4.7. ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

De acordo com a NBR 8995-1 (ABNT,2013), de modo geral designa que as medições e as análises devem ser feitas na área apropriada e repetidamente em pontos específicos. O tamanho da malha é dado pela Equação 4 a seguir:

$$p = 0,2 \times 5 \log 10^d \quad (4)$$

Onde,

p é o tamanho da malha, expresso em metros (m);

d é a maior dimensão da superfície de referência, expressa em metros (m).

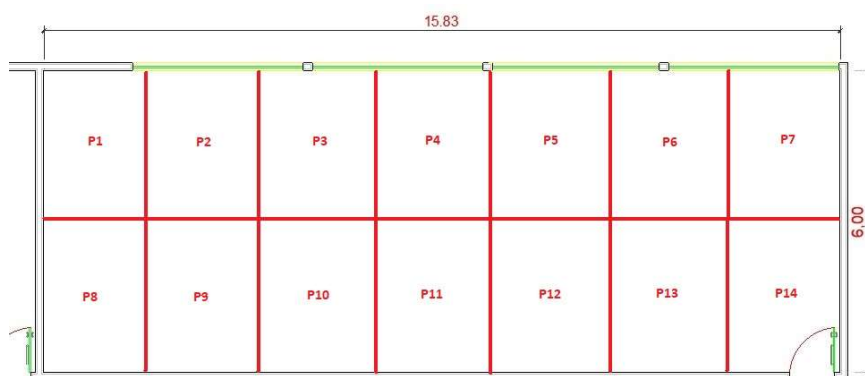
O número de pontos é estabelecido pelo número inteiro mais próximo da relação d para p . Portanto, a malha de cálculo é subdividida em pequenos retângulos para a superfície de referência retangular, com os pontos de cálculo em seu centro, conforme a tabela 7. Para ajustar a distribuição da malha à geometria da sala de aula, sugere-se alguns arredondamentos, onde o conjunto de pontos de medição foram distribuídos conforme as figuras 24, 25, 26 e 27.

Tabela 7 - Parâmetros de cálculo da malha de medição

Layout	d (m)	p	d/p	Número de pontos
A	15,8	1,19866	13,18141792	14
B	10,5	1,02119	10,2821289	12
C	6	0,77815	7,710583254	8
D	7,84	0,89432	8,766475665	9

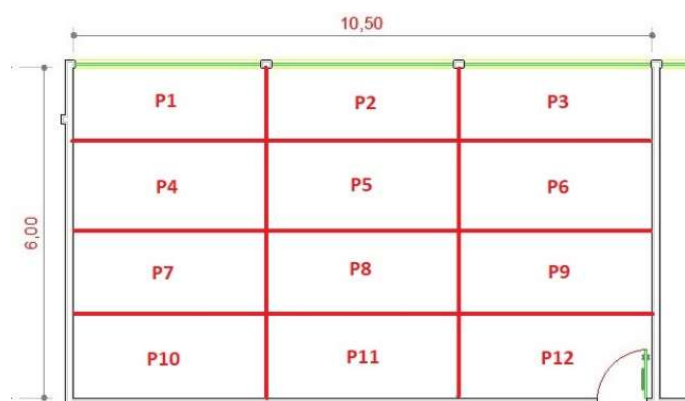
Fonte: Autoria própria (2020)

Figura 25 - Distribuição dos pontos na malha de medição – Layout A



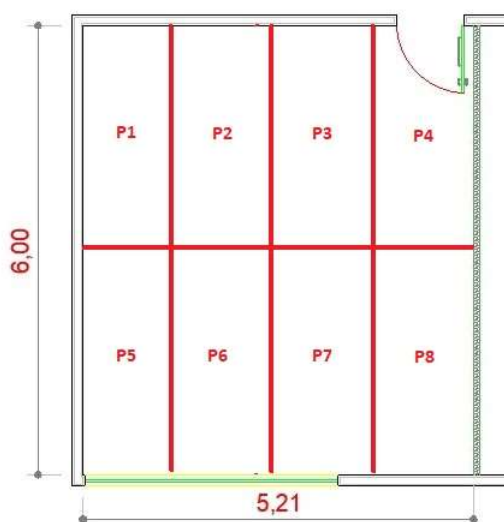
Fonte: Autoria própria (2020)

Figura 26 - Distribuição dos pontos na malha de medição – Layout B



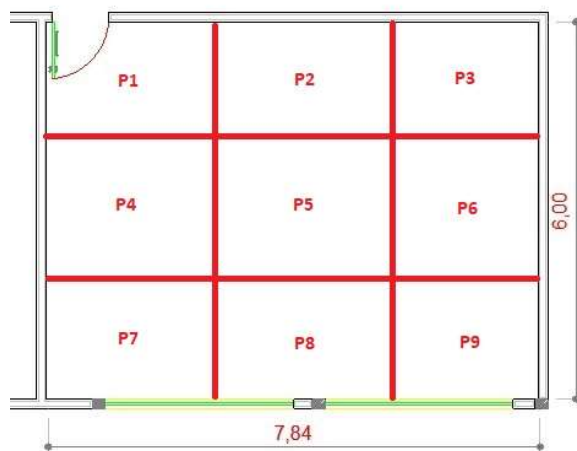
Fonte: Autoria própria (2020)

Figura 27 - Distribuição dos pontos na malha de medição – Layout C



Fonte: Autoria própria (2020)

Figura 28 - Distribuição dos pontos na malha de medição – Layout D



Fonte: Autoria própria (2020)

A medição da iluminância dos pontos definidos foi realizada no dia 15, 16 e 17 janeiro as 10h00, às 15h30 e às 19h00 com todas as luzes acesas e janelas vidro fumê fechadas. O equipamento utilizado na medição foi o Luxímetro Medidor de Luminosidade Digital Portátil CBRN08865 no qual possui uma faixa de medição de 0 a 200.000 lux, conforme a figura 28.

Figura 29 - Luxímetro utilizado nas medições



Fonte: Autoria própria (2020)

Conforme Breviglieri, Possebom e Spinelli (2009), O luxímetro mede a iluminância, ou seja, a luz distribuída em uma superfície ou área. O aparelho consiste em um ligado a uma célula fotoelétrica. Quando a luz atinge a fotocélula, é formada uma corrente que carrega positivamente o semicondutor da célula, enquanto a parte metálica do sensor fica carregada negativamente, produzindo uma diferença de

corrente. Essa corrente é lida pelo aparelho e convertida para o valor equivalente em lux nos luxímetros digitais, já nos analógicos, o mesmo é indicado através de uma escala graduada.

Para cada ponto de medição foi realizada três medições, tendo em vista que antes da medição o luxímetro foi exposto por 5 minutos ao ambiente, para que as fotocélulas se estabilizassem. A média aritmética dos valores obtidos para cada ponto de medição estão na tabela 8.

Tabela 8 - Medições de lux da iluminação artificial

Sala	Ponto	Lux		
		Manhã	Tarde	Noite
A	1	900	910	1150
	2	1090	1170	1320
	3	670	700	900
	4	1030	1120	1340
	5	1070	1060	1280
	6	860	570	1050
	7	1040	910	1150
	8	980	970	1100
	9	1090	1100	1200
	10	790	710	920
	11	1020	1120	1290
	12	1230	1120	1350
	13	990	760	1090
	14	1380	970	1490
B	1	610	600	820
	2	630	660	840
	3	560	540	670
	4	910	1530	1620
	5	890	890	1080
	6	860	820	980
	7	910	1690	1830
	8	960	990	1050
	9	870	850	940
	10	610	1350	1490
	11	680	720	860
	12	600	580	681
C	1	810	440	920
	2	900	530	970
	3	920	560	1010
	4	840	610	930
	5	820	820	890
	6	990	890	1110
	7	980	610	1090
	8	940	450	1060
D	1	570	540	670
	2	820	690	920
	3	950	790	1090
	4	960	910	1070
	5	1070	1010	1160
	6	1020	940	1110
	7	560	560	710
	8	780	700	960
	9	760	660	910

Fonte: Autoria própria (2020)

Diversos fatores afetaram a medição dos níveis de lux, em todas as salas analisadas foi observado várias lâmpadas queimadas, além do mau funcionamento de outras, ocasionando valores mais baixos do que o esperado, tendo em vista as especificações técnicas dos equipamentos instalados.

4.8. ILUMINAÇÃO NATURAL

Para as medições da iluminação natural, utilizou-se os mesmos parâmetros para a determinação dos pontos de medição da iluminação artificial, a medição da iluminação natural foi realizada nos dias 15, 16 e 17 de janeiro de 2020, no período de posicionamento mais elevado e mais baixo do sol, nas estações extremas do ano (verão e inverno), às 10 horas da manhã e às 15h30 da tarde, respectivamente. As medições no horário da manhã e tarde aconteceu com todas as luzes apagadas e as janelas vidro fumê ficaram abertas a fim de proporcionar a iluminância fornecida pela fonte de luz natural. A média aritmética dos valores obtidos para cada ponto de medição estão presente na tabela 9.

Tabela 9 - Medições de lux da iluminação natural

Sala	Ponto	Lux	
		Manhã	Tarde
A	1	84	39
	2	152	86
	3	90	37
	4	87	45
	5	170	74
	6	211	74
	7	23	44
	8	62	40
	9	46	43
	10	64	39
	11	65	46
	12	105	58
	13	186	81
	14	49	134
B	1	50	61
	2	144	63
	3	131	56
	4	58	91
	5	127	90
	6	125	88
	7	58	91
	8	86	96
	9	94	87
	10	47	62
	11	70	68
	12	81	60
C	1	127	87
	2	121	97
	3	93	95
	4	54	77
	5	68	70
	6	78	88
	7	72	88
	8	61	76
D	1	79	22
	2	172	79
	3	54	50
	4	127	93
	5	209	116
	6	27	99
	7	174	67
	8	202	137
	9	179	135

Fonte: Autoria própria (2020)

4.9. UNIFORMIDADE DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

Conforme a NBR 8995-1 (ABNT, 2013), a uniformidade da iluminância é a razão entre o valor mínimo e o valor médio. De acordo com os dados apresentados na seção 4.7.1, a uniformidade da iluminação das salas pode ser calculada por meio da equação 5.

$$U = \frac{E_{min}}{E_{med}} \quad (5)$$

Onde,

U é a uniformidade calculada;

E_{min} é o valor mínimo de iluminância;

E_{med} é o valor médio da iluminância, obtido por meio da média aritmética de todos os pontos medidos.

À vista disso, foi obtido as uniformidades calculadas conforme a tabela 10.

Tabela 10 - Uniformidade calculada dos ambientes

Sala	E min	E med	U
A	900	1187,85	0,75
B	670	1071,75	0,62
C	890	997,5	0,89
D	670	955,55	0,70

Fonte: Autoria própria (2020)

4.10. NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Para o cálculo do nível de eficiência energética do sistema de iluminação foi utilizado o método da área do edifício caracterizado no Manual RTQ-C do PROCEL Edifica, na qual a potência total instalada foi dividida pela área do ambiente iluminado, de acordo com a tabela 11. Tendo em vista que, conforme a tabela de densidade de potência de iluminação limite presente no anexo 3, a atividade do edifício pode ser classificada como “Escola/Universidade”, em que a DPIL para a categoria A de eficiência é de 10,7 W/m², para a categoria B é de 12,3 W/m², a categoria C é 13,9 W/m² e para a categoria D é de 15,5 W/m². Logo, é possível notar que nenhuma das

salas alcançaram algum tipo de categoria de eficiência, portanto, são consideradas ineficientes.

Tabela 11 - Uniformidade calculada dos ambientes

Ambiente	Potência instalada (w)	Área (m ²)	DPL Calculada (W/m ²)
A	2304	94,8	24,30379747
B	1536	63	24,38095238
C	768	31,26	24,5681382
D	1152	47,04	24,48979592

Fonte: Autoria própria (2020)

5. MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

5.1. REDIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

As salas do bloco de aulas 2 da UFERSA – Campus Angicos, apresentam sistemas de iluminação suscetível a uma modernização que venha a proporcionar economia no consumo de energia. Considerando que as características principais relevantes ao estudo da iluminação, como equipamentos, superfícies de refletância, posicionamento das janelas, dentre outros, são semelhantes entre as salas com o mesmo leiaute, para tornar o estudo mais simples, foi analisada uma sala de cada leiaute, e os resultados obtido serão adotados para os demais. O “*leiaute A*” está representado pela sala A, o “*leiaute B*” pela sala B, o “*leiaute C*” pela sala C, e o “*leiaute D*” pela sala D.

5.1.1. Método dos Lúmens

Levando em consideração a alta densidade de potência e baixa uniformidade da iluminância, propõe-se o redimensionamento do sistema de iluminação baseado no método dos Lúmens. Conforme Creder (2012), o método dos lúmens quantifica as luminárias necessárias em um determinado ambiente por meio da relação do nível de iluminância pretendido, dimensões e refletâncias do ambiente e a depreciação do equipamento.

As dimensões das salas de aula são consideradas na Determinação do Índice do Local. De acordo com Creder (2012), o índice relaciona as dimensões do local, comprimento, largura e altura da luminária em relação ao plano de trabalho. Para garantir um iluminamento mais abrangente e uniforme, no estudo será considerado a altura da luminária ao chão. O índice é dado pela equação 6.

$$K = \frac{C \times l}{hm (C+l)} \quad (6)$$

Onde,

C - Comprimento do local;

l - Largura do local;

hm - Altura de montagem da luminária.

Logo, para as dimensões listadas na seção 4.1, os índices do local obtidos estão listados na tabela 12.

Tabela 12 - Índice do Local para as salas analisadas

Sala	K
A	1,61
B	1,43
C	1,03
D	1,25

Fonte: Autoria Própria (2020)

Posteriormente, é preciso calcular o coeficiente de utilização (U). Conforme Creder (2012), "o coeficiente relaciona o fluxo luminoso inicial emitido pela luminária e o fluxo recebido no plano de trabalho; por isso, depende das dimensões do local, da cor do teto, das paredes e do acabamento das luminárias". O coeficiente de utilização pode ser fornecido pelo fabricante da luminária ou pela Equação 7.

$$U = K \times \eta \quad (7)$$

Onde,

U - Coeficiente de utilização;

K - Índice do local;

η – eficiência da luminária.

Assim, para os dados das luminárias apresentados na sessão 4.5, com rendimento de 74% temos os coeficientes de utilização listados na Tabela 13.

Tabela 13 - Coeficiente de utilização das salas analisadas

Sala	U
A	1,1914
B	1,0582
C	0,7622
D	0,925

Fonte: Autoria Própria (2020)

De acordo com NBR 8995-1 (2013), a iluminância mínima especificada para salas de aula é de 500 lux. O fator de manutenção foi calculado de acordo com sessão 4.6. O fluxo luminoso total desejado para as salas é dado pela Equação 8.

$$\Phi = \frac{A \times E}{U \times MF} \quad (8)$$

Onde,

Φ – Fluxo luminoso total (lm);

A – Área do ambiente (m²);

E – Iluminância (lux);

U – Coeficiente de utilização;

MF – Fator de manutenção.

Logo, obteve-se o fluxo luminoso total por ambiente, conforme a tabela 14.

Tabela 14 - Fluxo total por ambiente

Sala	Área (m ²)	E (lux)	U	MF	Φ (lm)
A	94,8	500	1,1914	0,67	59.450
B	63	500	1,0582	0,67	44.429
C	31,26	500	0,7622	0,67	30.606
D	47,04	500	0,925	0,67	37.950

Fonte: Autoria Própria (2020)

Assim, o número de luminárias é obtido por meio da razão do fluxo luminoso total pelo fluxo unitário de cada luminária, de acordo com a equação 9.

$$N = \frac{\Phi}{\varphi} \quad (9)$$

Onde,

N – Número de luminárias;

Φ – Fluxo luminoso total (lm);

φ - Fluxo por luminária (lm).

Logo, conforme a seção 4.5, a luminária considerada para as salas do bloco de aulas 2 apresenta um fluxo luminoso unitário de aproximadamente 5.400lm, obtendo-se, portanto, o resultado de 11 luminárias para a sala A, 8 para a sala B, 5 para a sala C e 7 para a sala D, conforme a tabela 15.

Tabela 15 - Quantidade de luminárias por ambiente após redimensionamento

Sala	ϕ (lm)	Φ (lm)	N
A	5.400	59.450	11
B	5.400	44.429	8
C	5.400	30.606	5
D	5.400	37.950	7

Fonte: Autoria Própria (2020)

Para proporcionar uma distribuição mais uniforme, considerando a geometria das salas, sugere-se o arredondamento da quantidade de luminárias, portanto, sugere-se 12 Luminárias para a sala A, 8 luminárias para a sala B, 6 luminárias para a sala C e 9 luminárias para a sala D. Portanto, é obtido o nível de iluminação solicitada para a realização das atividades com a redução de potência instalada, conforme a tabela 16.

Tabela 16 - Resultado do redimensionamento da Iluminação

Sala	Potência instalada (W)		Número de Luminárias	
	Atual	Proposta	Atual	Proposta
A	2304	1408	36	12
B	1536	1024	24	8
C	768	640	12	6
D	1152	896	18	9

Fonte: Autoria Própria (2020)

5.2. SUBSTITUIÇÃO DAS LÂMPADAS

Visando a alta densidade de potência nas salas analisadas, é sugerível a troca das lâmpadas atuais por lâmpadas de tecnologia LED com fluxo luminoso similar, tendo como objetivo suprir o mesmo resultado de iluminação. Para manter o fluxo luminoso similar, foi selecionada a lâmpada ST8AU-EM 16 W/840 1200 mm com fluxo de iluminação de 2400ml, conforme a ficha técnica da lâmpada LED no Anexo 4.

Logo, é possível a substituição das lâmpadas fluorescentes OSRAM T8 F032W/640 por uma lâmpada LED semelhante de 16W, mantendo-se o nível de iluminação desejado, garantindo a redução da potência instalada, conforme a tabela 17.

Tabela 17 - Potência instalada após substituição por LED

Sala	Potência instalada (W)			
	Atual	Troca por LED	Redimensionada	Redimensionanda + LED
A	2304	1152	1408	384
B	1536	768	1024	256
C	768	384	640	192
D	1152	576	846	288

Fonte: Autoria Própria (2020)

5.3. UTILIZAÇÃO DE CONTROLES DA ILUMINAÇÃO

Para assegurar que as lâmpadas acionem apenas quando necessário, sugere-se a utilização de sensores de presença para controlar a iluminação. Conforme o fabricante OSRAM (2020) é possível obter-se até 45% de economia de energia com instalação do sistema de controle, comparada ao controle de iluminação manual.

No horário de funcionamento das salas do bloco de aula, das 7h55 da manhã até as 23h00 da noite, existe intervalos de 15 a 20 minutos que representam períodos de não ocupação das salas. Como não há um controle de rastreabilidade dos desperdícios provocados pela não presença de ocupantes nas salas, assumiu-se um potencial de economia de 45% sobre esses horários de desocupação nos intervalos de funcionamento do bloco de aulas.

5.4. APROVEITAMENTO DA ILUMINAÇÃO NATURAL

Conforme os dados obtidos mostrados nas seções anteriores, afirma-se que os ambiente analisados apresentam enorme potencial de aproveitamento da iluminação natural. Portanto, é sugerido a utilização de sistemas de dimerização das lâmpadas instaladas próximas a locais com maior incidência solar.

De acordo com LUMICENTER (2020), a dimerização e sensores de luminosidade permite automaticamente, o controle da intensidade da iluminação artificial, compensando a luz natural em determinadas horas do dia. Logo, em

momentos que há mais luz natural, automaticamente a iluminação artificial diminui e, nos momentos em que há menos luz natural, a iluminação artificial aumenta. Na figura 29 é possível observar o modelo LuxSense e MicroLuxSense.

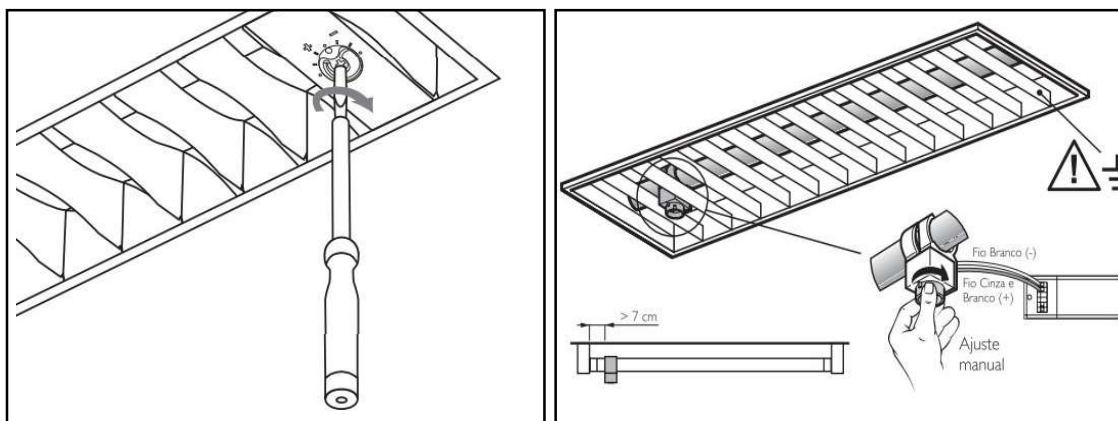
Figura 30 - Sensores de luminosidade



Fonte: Philips (2020)

O sensor LuxSense é acoplado diretamente na lâmpada, já o MicroLuxSense é fixado na luminária, onde o ajuste do nível de iluminação desejado é realizado no próprio aparelho, conforme a figura 30.

Figura 31 - Instalação dos sensores MicroLuxsense e LuxSense



Fonte: Philips (2010)

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo identifica os benefícios do uso de medidas de eficiência energética aplicáveis ao sistema de iluminação das salas do bloco de aulas 2 da UFERSA campus Angicos/RN, e conseqüentemente, visando amenizar o consumo de energia elétrica. A suposição feita por meio do problema foi de que executando o levantamento das características das salas e com a análise do sistema de iluminação atual era possível diagnosticar melhorias e adequações, visando a melhoria do desempenho energético do sistema de iluminação instalada atualmente.

De forma geral, o sistema de iluminação das salas se mostrou suficiente para os requisitos mínimos de iluminância exigidos pela NBR 8995-1, porém se mostra com alta densidade de potência, o que sugere o uso de equipamentos pouco eficientes. Mesmo possuindo grandes janelas, na qual permitem a entrada da iluminação natural em grande proporção, o recurso é mau utilizado, devido a falta do controle de luminosidade e equipamentos adequados no controle de ofuscamento gerado. Além de que, o acionamento não oferece flexibilidade aos ocupantes, fazendo com que as luzes se mantenham acesas desnecessariamente.

Conforme as medições, ficaram evidentes o potencial de aproveitamento da luz natural, e conseqüentemente, a redução do consumo de energia elétrica por meio da utilização de luminárias e lâmpadas mais eficientes, equipamentos de acionamento automático, dimensionamento mais adequado para iluminação e controle de ofuscamento.

De acordo com as medições realizadas, observa-se que mesmo possuindo um grande potencial para o aproveitamento da iluminação natural no período da manhã e da tarde, não é possível atingir os níveis mínimos da Norma Brasileira 8995-1 sem o complemento da iluminação artificial. Apesar disso, em trabalhos futuros relacionados ao tema, deve ser analisado a utilização de controle de ofuscamento mais adequado que os brises e janelas com vidro fumê. Esses dispositivos fazem a luz natural de complemento diante a iluminação do plano de trabalho, sem causar desconforto ao ocupante. Portanto, o consumo de energia pode ser reduzido com a substituição artificial por iluminação natural.

A Norma Brasileira 8995-1 (p.20, 2013) estima que para salas de aula para educação de adultos e aulas noturnas devem possuir no mínimo 500lx de iluminância em todo o seu interior. Logo, a iluminação artificial atualmente instalada nas salas analisadas é suficiente para atender os níveis mínimos de iluminância da norma, entretanto, apresenta alta densidade de potência, ocasionando o alto consumo de energia elétrica e baixa eficiência energética. Propõe-se, o uso de equipamentos de iluminação mais eficientes, como as luminárias dimerizáveis juntamente com as lâmpadas LED. Assim, as lâmpadas usariam a potência suficiente para gerar apenas o fluxo luminoso necessário ao complemento da iluminação natural.

Além disto, a Norma Brasileira 8995-1 (2013) sugere que a uniformidade planejada (U1) seja maior ou igual a 0,6, vale ressaltar que esse valor garante que uma uniformidade mínima de 0,7 seja atendida nas áreas de tarefas individuais. Observa-se a partir das medições realizadas que a uniformidade de todas as salas em análise está adequada, levando em consideração o nível de iluminação, portanto, sugere-se o uso de lâmpadas e luminárias iguais em toda a sala, evitando desconforto visual devido a diversidade de fluxo luminoso e temperatura de cor.

Para potencializar a eficiência do sistema de iluminação, recomenda-se a utilização dos sistemas automáticos de acionamento e desligamento, como o sensor de presença ou sensor de movimento. Esses aparelhos garantem as salas menos desperdícios, pois serão utilizados apenas quando solicitados.

Devido a importância do tema, é necessário a amplificação de análises mais profundas sobre os ambientes e do sistema de iluminação com a finalidade de adequar e tornar o sistema mais eficiente. Propõe-se o desenvolvimento do estudo para os demais blocos do campus, tal como, desenvolver propostas para melhorar a eficiência energética aplicadas a iluminação.

Por fim, foi possível listar medidas de eficiência energética aplicável à iluminação de algumas salas do bloco de aulas 2 da UFERSA campus Angicos/RN, por meio da análise das características geométricas, geolocalização, equipamentos de acionamento e iluminação, disposição dos ocupantes nos ambientes e perfil de utilização da iluminação, resultando em um grande potencial de melhoria na eficiência energética.

REFERÊNCIAS

BOGONI, Bruna Mariá Morosini. Dicas e boas práticas para estratégias projetuais de iluminação artificial: Iluminação artificial. Disponível em:

<<http://maisengenharia.altoqi.com.br/eletrico/iluminacao-artificial-dicas-e-boas-praticas-projetuais/>>. Acesso em: 11 out. 2019.

BOREAL LED. Luminância vs Iluminância: Definindo Iluminância e Luminância.

2018. Disponível em: <<https://blog.borealled.com.br/luminancia-vs-iluminancia/>>.

Acesso em: 09 out. 2019.

COSTA, G.J.C. “Iluminação econômica: cálculo e avaliação.” p.576. EDIPUCRS, Porto Alegre, 2006.

COSTA, G.J.C. Iluminação Econômica: Cálculo e Avaliação. 4ª edição. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2006.

DUTRA, L.; LAMBERTS, R.; PEREIRA, R.O.F. Eficiência Energética na Arquitetura. 3ª edição. 2014.

ENERGIA, Ministério de Minas e. ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL. 2013. Disponível em:

<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/CARACT%20DE%20SIST%20DE%20ILUM%20ARTIF-%20CEPEL_CATE%20-%202013.pdf>. Acesso em: 8 out. 2019

Freewan, A. A. (2010). Maximizing the lightshelf performance by interaction between lightshelf geometries and a curved ceiling. Energy Conversion and Management (51), 1.600-1.604.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia e Meio Ambiente no Brasil. Estudos Avançados 21 (59) 2007.

GRUPO LUMICENTER (Paraná). Especificações técnicas Luminária CAA02-E232. 2020. Disponível em:

<<https://www.lumicenteriluminacao.com.br/catalogo/caa02-e-p2285/>>. Acesso em: 19 jan. 2020.

INMETRO (Brasil). Lâmpada Fluorescente Compacta. 1998. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/fluorescentes.asp>. Acesso em: 12.10.2019

SÃO PAULO. INMETRO. **Lâmpada LED**. 2016. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/cartilhas/lampada-led/lampadaled.pdf>. Acesso em: 09 jan. 2020.

National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA). **National Weather Service**. 2000.

NBR 15215-2: Iluminação natural - Parte 2: Procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural. Rio de Janeiro, 2005 a.

Norma Brasileira Iluminação de Ambientes de Trabalho – Parte 1: Interior. ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013 .

Norma Brasileira Iluminação Natural. ABNT NBR 15215: 2005.

Norma Brasileira Terminologia - Iluminação. ABNT NBR ISO/CIE 5461 :1991.

OSRAM, Curso de Iluminação: Conceitos e Projetos. 2010.

OSRAM. Manual luminotécnico prático: Limitação de ofuscamento. Disponível em: <https://hosting.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Livros/ManualOsram.pdf>. Acesso em: 10 out. 2019.

PROCEL. MANUAL DE ILUMINAÇÃO: Lâmpadas Fluorescentes tubular e compacta. 2011. Disponível em: http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/MANUAL+DE+ILUMINACAO+-+PROCEL_EPP+-AGOSTO+2011.pdf/d42d2f36-0b90-4fe0-805f-54b862c9692c;jsessionid=A7AE9AD7FFE410D97E371853D50763B0.srv154. Acesso em: 14 out. 2019

Referência: G-LIGHT. Diferença entre as lâmpadas de LED, as incandescentes e as fluorescentes: Lâmpadas Fluorescentes e Lâmpadas de LED. 2019. Disponível em: <http://www.glight.com.br/blog/diferenca-entre-as-lampadas-de-led-e-as-incandescentes/>. Acesso em: 13 out. 2019

RIO GRANDE DO SUL. PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL FACULDADE DE ENGENHARIA. (Comp.). Lâmpada de descarga de baixa pressão. Disponível em: <<http://principio.org/pontificia-universidade-catlica-do-rio-grande-do-sul-departamen.html?page=4>>. Acesso em: 14 out. 2019.

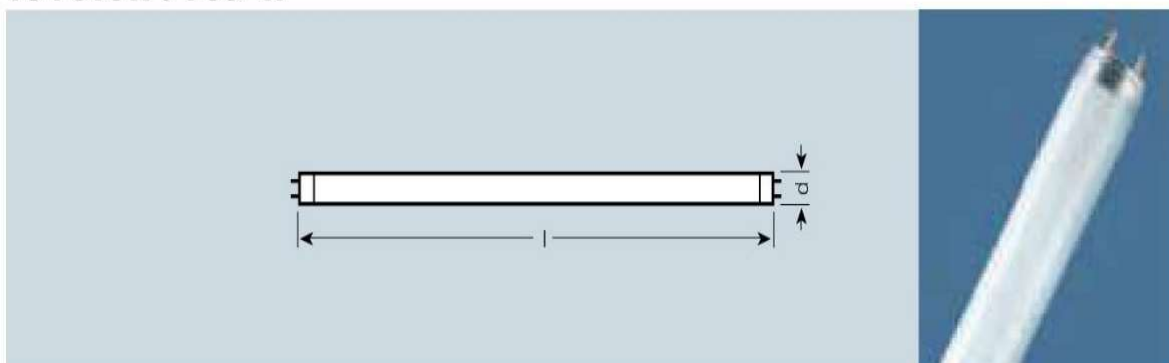
SPINELLI, R.; BREVIGLIERO, E.; POSSEBON, J. Higiene Ocupacional: agentes biológicos, físicos e químicos. 4ª edição. São Paulo: Ed. Senac São Paulo, 2009. 448p.

The Society of Light and Lighting. The SLL Lighting Handbook. CIBSE 2009.

ANEXO 1

Ficha técnica da lâmpada **OSRAM F032W/640**
 Fonte: Catálogo de lâmpadas OSRAM (2013)

Fluorescente Tubular
T8 F016W / F032W



Potência



Fluxo Luminoso



Temp. de Cor



Índice de reprod.



Diâmetro



Comprimento



Base

FLUORESCENTE TUBULAR T8 15W/30W

F016W/640	16	1050	4000	60-69	26	590	G13
F016W/830	16	1200	3000	80-89	26	590	G13
F016W/840	16	1200	4000	80-89	26	590	G13
F016W/850	16	1150	5000	80-89	26	590	G13
F032W/640	32	2350	4000	60-69	26	1200	G13
F032W/830	32	2700	3000	80-89	26	1200	G13
F032W/840	32	2700	4000	80-89	26	1200	G13
F032W/850	32	2600	5000	80-89	26	1200	G13

As lâmpadas tubulares T8 F016W e F032W são consideradas as lâmpadas economizadoras de energia da nova geração. Disponíveis em versões em pó fluorescente comum e trifósforo LUMILUX® (com maior eficiência e melhor reprodução de cor).

Apresentam diferentes opções de temperatura de cor, posição de funcionamento universal e podem ter a performance otimizada com a instalação dos modernos reatores OSRAM EZ-TRONIC®, que por meio da operação em alta frequência, substituem os reatores magnéticos convencionais com starters, possibilitando maior economia de energia, maior conforto e maior durabilidade.

Com reatores eletrônicos específicos, estas lâmpadas ainda podem ser dimerizadas.

ANEXO 2

Condições mínimas de iluminação

Fonte: NBR 8995-1 (2013)

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	$\overline{E}_m$ lux	UGR_L	R_a	Observações
Corredores	100	25	80	Durante o período da noite são aceitáveis baixos níveis de iluminação.
25. Locais de entretenimento				
Teatros e salas de concerto	200	22	80	
Salas com multiuso	300	22	80	
Salas de ensaio, camarins	300	22	80	É necessário que a iluminação do espelho seja isenta de ofuscamento para a maquiagem.
Museus (em geral)	300	19	80	Iluminação adequada para atender aos requisitos de exibição, proteção contra os efeitos de radiação.
26. Bibliotecas				
Estantes	200	19	80	
Área de leitura	500	19	80	
Bibliotecárias	500	19	80	
27. Estacionamentos públicos (internos)				
Rampas de entrada e saída (durante o dia)	300	25	40	As cores para segurança devem ser reconhecíveis.
Rampas de entrada e saída (durante a noite)	75	25	40	As cores para segurança devem ser reconhecíveis.
Pistas de tráfego	75	25	40	As cores para segurança devem ser reconhecíveis.
Estacionamento	75	28	40	Uma iluminância vertical elevada aumenta o reconhecimento das faces das pessoas e, por esta razão, a sensação de segurança.
Guichê	300	19	80	1) Evitar reflexões nas janelas. 2) Prevenir ofuscamento oriundo do lado externo.
28. Construções educacionais				
Brinquedoteca	300	19	80	
Berçário	300	19	80	
Sala dos profissionais do berçário	300	19	80	
Salas de aula, salas de aulas particulares	300	19	80	Recomenda-se que a iluminação seja controlável.
Salas de aulas noturnas, classes e educação de adultos	500	19	80	

ANEXO 3

Tabela PROCEL de Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPIL) para o nível de eficiência pretendido

Fonte: Manual RTQ-C Comercial, de Serviço e Público. Versão 3.

Função da edificação	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m ² (Nível A)	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m ² (Nível B)	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m ² (Nível C)	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m ² (Nível D)
Academia	9,5	10,9	12,4	13,8
Armazém	7,1	8,2	9,2	10,3
Biblioteca	12,7	14,6	16,5	18,4
Bombeiros	7,6	8,7	9,9	11,0
Centro de Convenções	11,6	13,3	15,1	16,8
Cinema	8,9	10,2	11,6	12,9
Comércio	15,1	17,4	19,6	21,9
Correios	9,4	10,8	12,2	13,6
Venda e Locação de Veículos	8,8	10,1	11,4	12,8
Escola/Universidade	10,7	12,3	13,9	15,5
Escritório	9,7	11,2	12,6	14,1
Estádio de esportes	8,4	9,7	10,9	12,2
Garagem – Ed. Garagem	2,7	3,1	3,5	3,9
Ginásio	10,8	12,4	14,0	15,7
Hospedagem, Dormitório	6,6	7,6	8,6	9,6
Hospital	13,0	15,0	16,9	18,9
Hotel	10,8	12,4	14,0	15,7
Igreja/Templo	11,3	13,0	14,7	16,4
Restaurante	9,6	11,0	12,5	13,9
Restaurante: Bar/Lazer	10,7	12,3	13,9	15,5
Restaurante: Fast-food	9,7	11,2	12,6	14,1
Museu	11,4	13,1	14,8	16,5
Oficina	12,9	14,8	16,8	18,7
Penitenciária	10,4	12,0	13,5	15,1
Posto de Saúde/Clinica	9,4	10,8	12,2	13,6
Posto Policial	10,3	11,8	13,4	14,9
Prefeitura – Inst. Gov.	9,9	11,4	12,9	14,4
Teatro	15,0	17,3	19,5	21,8
Transportes	8,3	9,5	10,8	12,0
Tribunal	11,3	13,0	14,7	16,4

ANEXO 4

Ficha técnica da lâmpada ST8AU-EM 16 W/840 1200 mm

Fonte: Catálogo de lâmpadas OSRAM (2020)

Reference: ST8AU-EM 16 W/840 1200 mm

Code: 4052899956438

LED tubes OSRAM SubstiTUBE®
Advanced T8 EM-R'UO, High luminous
flux, ST8AU-1.2 m-16W-840-EM-Rot

Buy it at Electric Automation Network



ST8AU-EM 16 W/840 1200 mm

Electrical data

Nominal wattage	16.00 W
Rated wattage	16.00 W
Rated lamp efficacy (standard condition)	150 lm/W
Nominal voltage	220 240 V
Operating frequency	50 60 Hz
Nominal current	0.074 To
Type of current	AC
Max. lamp no. on circuit break. 10 (B)	85 / 20 / 90
Max. lamp no. on circuit break. 16 (B)	135 / 30 / 140
Power factor λ	> 0.90

Photometrical data

Light color (designation)	Cool White
Rated color temperature	4000 K
Nominal luminous flux	2400 lm
Rated luminous flux	2400 lm
Color rendering index Ra	>80