

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA DA UFSM
UNIVERSIDADE ABERTA DO BRASIL
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
APLICADA AOS PROCESOS PRODUTIVOS

Henrique Borges da Rosa

**ESTUDO DE EFICIÊNCIA E VIABILIDADE DE SISTEMAS DE
ILUMINAÇÃO COM TECNOLOGIAS DISTINTAS PARA UM
AMBIENTE INDUSTRIAL**

Novo Hamburgo, RS
2017

Henrique Borges da Rosa

**ESTUDO DE EFICIÊNCIA E VIABILIDADE DE SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO
COM TECNOLOGIAS DISTINTAS PARA UM AMBIENTE INDUSTRIAL**

Monografia apresentada ao curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos processos Produtivos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Especialista em Eficiência Energética Aplicada aos processos Produtivos.**

Orientador: Professor Natanael Rodrigues Gomes

Novo Hamburgo, RS
2017

Henrique Borges da Rosa

**ESTUDOS DE EFICIÊNCIA E VIABILIDADE DE SISTEMAS DE
ILUMINAÇÃO COM TECNOLOGIAS DISTINTAS PARA UM AMBIENTE
INDUSTRIAL**

Monografia apresentada ao curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos processos Produtivos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Especialista em Eficiência Energética Aplicada aos processos Produtivos**.

Aprovado em 22 de julho de 2017

Prof. Dr. Natanael Rodrigues Gomes (UFSM)

Prof. Dr. Claudio Roberto Losekann (UFSM)

Prof. Dr. Geomar Machado Martins (UFSM)

Novo Hamburgo, RS
2017

Tudo posso naquele que me fortalece.

(Filipenses 4:13)

RESUMO

Monografia de Pós-Graduação
Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos
Processos Produtivos
Universidade Federal de Santa Maria

ESTUDO DE EFICIÊNCIA E VIABILIDADE DE SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO COM TECNOLOGIAS DISTINTAS PARA UM AMBIENTE INDUSTRIAL

Autor: Henrique Borges da Rosa

Orientador: Natanael Rodrigues Gomes

Novo Hamburgo, 22 de julho de 2017.

Este trabalho consiste em uma análise das condições luminotécnicas, e na apresentação de propostas para a efficientização do sistema de iluminação em uma sala de engenharia e projetos de uma empresa metalúrgica situada na cidade de Criciúma – SC. Serão sugeridos projetos de iluminação com tecnologias distintas, onde deverão ser analisados os benefícios de eficiência luminosa, consumo, qualidade do sistema e retorno financeiro de cada projeto. Para esta análise foram consideradas variáveis do ambiente, com observações e medições in loco das condições de trabalho. Foi realizada a contextualização com as normas regulamentadoras e com os conceitos envolvidos nos cálculos luminotécnicos deste trabalho. São efetuadas análises do sistema atual, com apresentação dos modelos e fabricantes das luminárias, verificação das condições do ambiente de trabalho, observação do nível mínimo regulamentado de iluminamento para a realização da tarefa e por fim aferição dos níveis de iluminância no ambiente. Como forma de padronizar as medições e análises desenvolveu-se uma maquete eletrônica via Software Dialux, e nela foram realizadas as simulações com o projeto atual e das demais propostas. Como forma de comparação dos custos e dos métodos propostos foram expostos os investimentos de cada projeto, tempo de retorno (Payback simples e descontado), o valor presente líquido (VPL) assim como as taxas de retorno de investimento e da taxa interna de retorno (TRI e TIR). Desta forma pode-se avaliar o projeto mais viável para implantação no ambiente deste estudo.

Palavras-chave: Eficiência luminosa, efficientização do sistema de iluminação, custos e viabilidade.

ABSTRACT

STUDIES OF THE EFFICIENCY AND FEASIBILITY OF LIGHTING SYSTEMS WITH DIFFERENT TECHNOLOGIES FOR AN INDUSTRIAL ENVIRONMENT

This work consists in an analysis of the lighting conditions and the presentation of proposals for the efficiency of the lighting system in a projects and engineering room of a metallurgical company located in the city of Criciúma-SC. It will be suggested lighting projects with different technologies, where the benefits of luminous efficiency, consumption, quality system and financial return of each project should be analyzed. For this analysis were considered environmental variables, with observations and measurements in loco of working conditions. It was made a contextualization of the regulatory standard and the concepts involved in the lighting calculations with this work. It was made analyzes of the present system, with presentation of the models and luminaires manufacturers, checking the conditions of the working environment, observing the minimum regulated level of illumination for the accomplishment of the task and finally measuring the levels of illuminance in the environment. As a way to standardize the measurements and analyzes, an electronic model was developed by Software Dialux, and it was carried out the simulations with the current project and the other proposals. As a way of comparing the proposed costs and methods, it was exposed the investments of each project, time of return (simple and discounted Payback), net present value (NPV) as well as investment return rates and a internal rate (TRI and TIR). By this way, we can evaluate the most feasible project for implantation in the environment of this study.

Keywords: Light efficiency, lighting system efficiency, costs and feasibility.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1.	OBJETIVOS.....	12
1.1.1.	Objetivo geral.....	12
1.1.2.	Objetivos específicos.....	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1.	ILUMINAÇÃO.....	13
2.1.1.	Iluminância.....	13
2.1.2.	Luminância.....	14
2.1.3.	Fluxo luminoso.....	16
2.1.4.	Intensidade luminosa.....	16
2.1.5.	Eficiência luminosa.....	17
2.2.	SAÚDE E ILUMINAÇÃO NO AMBIENTE DE TRABALHO.....	18
2.3.	NORMAS TÉCNICAS.....	19
2.3.1.	ABNT NBR 8995-1.....	19
2.3.1.1.	Iluminância mantida.....	19
2.3.1.2.	Plano de trabalho.....	20
2.3.1.3.	Uniformidade.....	20
2.3.1.4.	Malha de cálculo para projetos do sistema de iluminação.....	20
2.3.1.5.	Considerações para área da tarefa e área do entorno.....	22
2.3.2.	ABNT NBR 15215-4/2004.....	23
2.4.	Iluminação artificial.....	24
2.4.1.	Lâmpadas incandescentes.....	24
2.4.2.	Fluorescentes.....	25
2.4.3.	Lâmpadas de vapor.....	26
2.4.4.	LED.....	26
2.5.	SISTEMA DE ILUMINAÇÃO NATURAL.....	28
2.5.1.	Sistema de iluminação tubular.....	28
2.5.1.1.	Sistema de Captação – Domo.....	31
2.5.1.2.	Sistema de condução – Duto reflexivo.....	33
2.5.1.3.	Sistema de difusão – Lente Difusora.....	35
2.5.1.4.	Dados técnicos dos sistemas de iluminação natural.....	35
2.6.	SISTEMA DE ILUMINAÇÃO HÍBRIDO.....	36
3	METODOLOGIA.....	44
3.1.	APRESENTAÇÃO DO CENÁRIO.....	45
3.2.	EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO.....	47
4	ANÁLISES DOS SISTEMAS.....	49
4.1.	SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ATUAL.....	49
4.2.	SIMULAÇÃO PROJETO LUMINOTÉCNICO ATUAL.....	50
4.3.	PROPOSTA 01 – SISTEMA DE ILUMINAÇÃO FLUORESCENTE.....	52
4.3.1.	Simulação da proposta 01.....	54
4.4.	PROPOSTA 02 - SISTEMA DE ILUMINAÇÃO LED.....	58
4.4.1.	Simulação da proposta 02.....	60
4.5.	PROPOSTA 03 - SISTEMA DE ILUMINAÇÃO HÍBRIDO.....	63
4.5.1.	Simulação da proposta 03.....	66
4.6.	CUSTO DOS SISTEMAS.....	71
5	ANÁLISES RESULTADOS.....	73
5.1.	ESTUDO DE VIABILIDADE.....	73
6	CONCLUSÃO.....	80
	REFERÊNCIAS.....	82

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Equipamento para medição de iluminância.....	13
Figura 2 – Luz Refletida por uma Superfície, iluminância	14
Figura 3 – Superfície Iluminada e Ângulo Considerado para o Cálculo da Luminância.....	15
Figura 4 – Desenho Ilustrativo Fluxo Luminoso	16
Figura 5 – Intensidade Luminosa	17
Figura 6 – Eficiência Luminosa das Lâmpadas Comercializadas	18
Figura 7 – Tamanho de grade em função das dimensões do plano de referência	22
Figura 8 – Locais de trabalho e áreas do entorno em um escritório	23
Figura 9 – Lâmpada incandescente	24
Figura 10 - Lâmpada Fluorescente	25
Figura 11 – Lâmpadas de Vapor.....	26
Figura 12 - Processo de Emissão de Luz do LED	27
Figura 13 – Lâmpadas LED	27
Figura 14 – Tipos de Iluminação Zenital	29
Figura 15 – Sistema de Iluminação Tubular.....	30
Figura 16 – Sistema de Iluminação Tubular, com adaptação.....	31
Figura 17 – Domo das empresas Solatube e Espacio Solar	32
Figura 18 – Domo Espacio Solar	32
Figura 19 – Domo Solatube	33
Figura 20 – Duto Reflexivo	34
Figura 21 – Lente Difusora	35
Figura 22 – Cúpula de Desenvolvida	37
Figura 23 – Tubulação desenvolvida	38
Figura 24 – Lente Difusora	39
Figura 25 – Disposição dos LED's	40
Figura 26 – Luminária Híbrida.....	40
Figura 27 – Fluxograma Luminária Híbrida	41
Figura 28 – Protótipo em simulação.....	42
Figura 29 – Empresa “A” localização da sala de projetos.	45
Figura 30 – Disposição interna da sala analisada	46
Figura 31 – Modelo de luminária instalada.....	46
Figura 32 – Luxímetro utilizado.....	48
Figura 33 – Malha para coleta de pontos, representação da malha no ambiente.....	49
Figura 34 – Imagem Real da Sala de Projetos.....	51
Figura 35 – Desenho 3D da Sala de Projetos	51
Figura 36 – Simulação do Sistema de Iluminação Atual	52
Figura 37 – Luminária Fluorescente Lumicenter CAC09-S	53
Figura 38 – Especificações da luminária fluorescente Lumicenter CAC09-S	54
Figura 39 – Simulação com uso do sistema de iluminação fluorescente.....	55
Figura 40 – Simulação com uso do sistema de iluminação fluorescente, isográfico, vista superior.....	56
Figura 41 – Simulação com uso do sistema de iluminação fluorescente, Malha de valores. 57	
Figura 42 – Luminária Fluorescente Lumicenter EAA08-S.....	59
Figura 43 – Especificações da Luminária LED Lumicenter EAA08-S.....	59
Figura 44 – Simulação com uso do sistema de iluminação LED.	60
Figura 45 – Simulação com uso do sistema de iluminação LED, isográfico, vista superior ..	61

Figura 46 – Simulação com uso do sistema de iluminação LED, malha de valores	62
Figura 47 – Ambiente de teste do sistema híbrido de iluminação	64
Figura 48 – Simulação com uso do sistema de iluminação híbrido, luminárias	66
Figura 49 – Simulação com uso do sistema de iluminação híbrido	67
Figura 50 – Simulação com uso do sistema de iluminação híbrido, isográfico, vista superior.	68
Figura 51 – Simulação com uso do sistema de iluminação híbrido, malha de valores	69
Figura 52 – Simulação com uso do sistema atual redimensionado.....	74

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tamanhos de malha	21
Quadro 2 – Dados de eficiência	36
Quadro 3 – Planejamento dos ambientes (áreas), tarefas e atividades com a especificação da iluminância, limitação de ofuscamento e qualidade da cor	47
Quadro 4 – Valores obtidos nas medições da sala de projetos	50
Quadro 5 – Dados técnicos das lâmpadas fluorescentes	54
Quadro 6 – Parâmetros do ambiente	55
Quadro 7 – Dados técnicos do sistema proposto 01	58
Quadro 8 – Dados técnicos do sistema proposto 02	63
Quadro 9 – Dados técnicos da luminária híbrida	65
Quadro 10 – Dados técnicos do sistema proposto 03	70
Quadro 11 – Valores do sistema fluorescentes	71
Quadro 12 – Valores do sistema LED	71
Quadro 13 – Valores do sistema Híbrido	72
Quadro 14 - Planilha de cálculo de viabilidade da proposta 01	75
Quadro 15 - Planilha de cálculo de viabilidade da proposta 02	76
Quadro 16 - Planilha de cálculo de viabilidade da proposta 03	78
Quadro 17 – Comparativo econômico dos sistemas	79

1 INTRODUÇÃO

A indústria vem passando nos últimos anos grandes transformações tecnológicas e comportamentais, esses acontecimentos levaram as empresas a valorizar ainda mais as questões econômicas, sociais, o cuidado ambiental, e a segurança assim como o conforto e qualidade do ambiente de trabalho.

A qualidade na iluminação de um determinado ambiente de trabalho é fundamental para o bem-estar físico e mental dos colaboradores. Para isto deve-se seguir as orientações das normas regulamentadoras, para que sejam possíveis a realização das atividades com qualidade, segurança e maior eficiência. A implementação de um projeto de iluminação adequado a norma, colabora com o aumento na produtividade, além de contribuir com a redução no absentismo e no número de acidentes de trabalho.

No setor industrial a eficiência energética está fortemente ligada à melhorias nos processos produtivos, substituição de sistemas motores, acionamentos e sistemas térmicos, contudo, os sistemas de iluminação a serem redimensionados e projetados podem colaborar expressivamente com a economia no consumo de energia elétrica, uma vez que a grande maioria dos sistemas se encontram defasados ou com sua vida útil extrapolada, deixando seu rendimento e qualidade reduzido (PROCEL, 2016).

As novas tecnologias em iluminação encontram-se no uso de luminárias mais eficientes, apresentando maior desempenho luminotécnico, elevados índices de aproveitamento, lâmpadas com capacidade de fornecer maior fluxo luminoso, e com o menor consumo possível. Além disso, atrelam o uso a sistemas eletrônicos de controle, assim como busca elevar sua funcionalidade aproveitando o uso de energia limpa para o fornecimento de luminosidade em um ambiente.

Tendo em vista estes aspectos, esta pesquisa busca alternativas de maior eficiência e sistemas de iluminação com tecnologias mais avançadas, ou inovadoras, para a implementação em um ambiente predeterminado. Com o objetivo de reduzir o consumo de energia, adequar o nível de iluminamento aos valores normatizados e conseqüentemente contribuir com a qualidade dos serviços prestados pelos colaboradores da empresa.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo geral

Este trabalho de pesquisa tem como objetivo geral, analisar e avaliar o nível de iluminância de um ambiente e propor projetos luminotécnicos com tecnologias diferentes para a iluminação do posto de trabalho, tendo como referência os preceitos da NBR 8995/2013.

1.1.2. Objetivos específicos

Este projeto visa analisar um sistema de iluminação de um ambiente, verificando sua eficácia, contudo apresentará duas soluções com tecnologias distintas da atual utilizada, buscando uma redução no consumo de energia elétrica e a melhoria no nível de iluminamento. Além disso incluirá em seu contexto o uso de uma fonte renovável para a iluminação local. Dentro deste cenário, este trabalho pretende atingir os seguintes objetivos:

- Realizar o levantamento do sistema de iluminação atual, como luminárias, reatores e tipos de lâmpadas;
- Apresentar as condições luminotécnicas do sistema atual do ambiente em estudo;
- Propor a substituição do sistema atual pelo sistema LED;
- Propor a substituição do sistema atual por um sistema híbrido de iluminação;
- Avaliar o desempenho de cada tecnologia para o sistema de iluminação, comparando os dados obtidos em campo com as simulações em software dos sistemas propostos;
- Verificar a viabilidade financeira para a instalação de cada projeto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A iluminação de um ambiente não significa apenas aplicar um fluxo luminoso a uma determinada área. A iluminação tem por objetivo oferecer condições luminotécnicas totais para que nela sejam desenvolvidas atividades de forma eficiente, precisa e segura. Observando esta análise, faz-se necessário a compreensão de alguns conceitos luminotécnicos, sendo que estes devem ser utilizados de forma adequada em projetos de iluminação.

2.1. ILUMINAÇÃO

2.1.1. Iluminância

Iluminância é o iluminamento de uma superfície em uma área de um metro quadrado a qual incide um fluxo luminoso (NEGRISOLI, 1987).

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad [\text{Lux}] \quad (1)$$

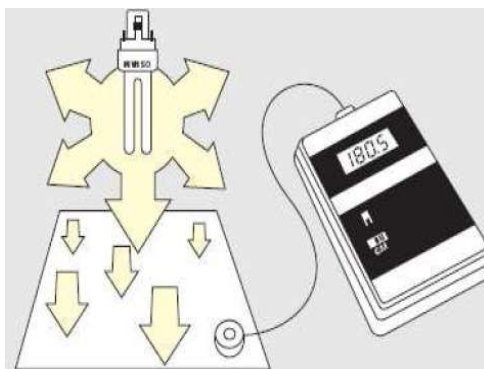
Onde:

Φ [lm]: Fluxo luminoso; e

A [m²]: Área iluminada.

O equipamento para medição de iluminância é apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Equipamento para medição de iluminância



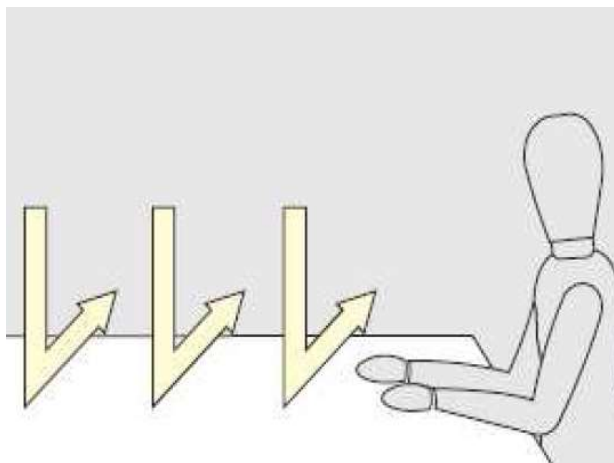
Fonte: (NEGRISOLI, 1987).

Iluminamento é a razão entre um fluxo luminoso incidente em uma superfície, sendo expressa em lux (lx). Atualmente usa-se como referência de iluminância a norma NBR 8995-1, esta prescreve os níveis ideais para cada tipo de atividade (SALOMÃO, 2010).

2.1.2. Luminância

A luminância é a intensidade luminosa percebida pelo olho humano, sendo esta emitida ou refletida por uma superfície que tenha recebido luz. A Figura 2 apresenta a luz refletida e a forma como o olho humano recebe esta luminosidade (NEGRISOLI, 1987; SALOMÃO, 2010).

Figura 2 – Luz Refletida por uma Superfície, iluminância



Fonte: (OSRAM, 2006).

A área da superfície e o nível de intensidade luminosa emitida em direção aos olhos determinam o conceito de luminância. A unidade desta grandeza é cd/m^2 (SALOMÃO, 2010).

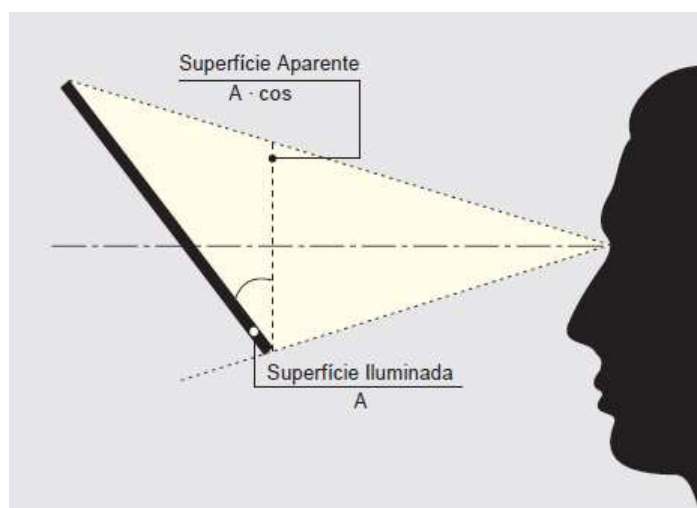
$$L = \frac{I}{A \cdot \cos \alpha} \quad \frac{\text{cd}}{\text{m}^2} \quad (2)$$

Onde:

$\frac{cd}{m^2}$: Luminância;
 I [cd]: Intensidade luminosa;
 A [m²]: Área iluminada; e
 α [°]: Ângulo entre a superfície e o olho do observador.

A Figura 3 elucida o método de cálculo da luminância, utilizada pela Equação 2, onde avalia-se o ângulo entre a superfície, o observador e a área iluminada.

Figura 3 – Superfície Iluminada e Ângulo Considerado para o Cálculo da Luminância



Fonte: (OSRAM, 2006).

Para a medição de intensidade luminosa originária da reflexão de uma superfície utiliza-se a Equação 3 (NEGRISOLI, 1987).

$$L = \frac{\rho \cdot E}{\pi} \quad \left[\frac{cd}{m^2} \right] \quad (3)$$

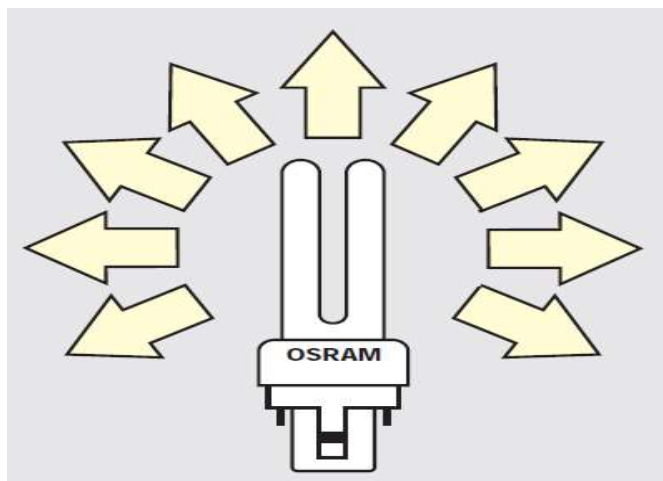
Onde:

$\frac{cd}{m^2}$: Luminância;
 ρ : Refletância ou coeficiente de reflexão; e
 E : Iluminância sobre a superfície.

2.1.3. Fluxo luminoso

Determina-se fluxo luminoso como sendo a potência de radiação emitida por uma fonte luminosa em todas as direções do espaço, tendo como unidade o Lúmen (lm), conforme a Figura 4 (NEGRISOLI, 1987).

Figura 4 – Desenho Ilustrativo Fluxo Luminoso



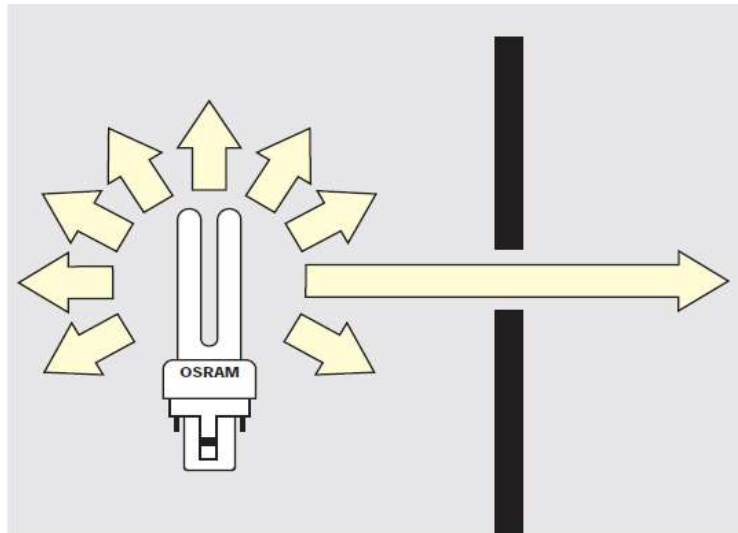
Fonte: (OSRAM, 2006).

O fluxo luminoso não é expresso em W, mesmo sendo uma potência, esta grandeza é designada em lúmen, devido ao olho humano ter sensibilidade variável em relação ao comprimento de onda dessa radiação (NEGRISOLI, 1987).

2.1.4. Intensidade luminosa

A intensidade é a potência luminosa visível, que é disponível em uma determinada direção, sua unidade é a candela (cd) e seu símbolo é o I (NEGRISOLI, 1987; PURIM, 2008).

Figura 5 – Intensidade Luminosa



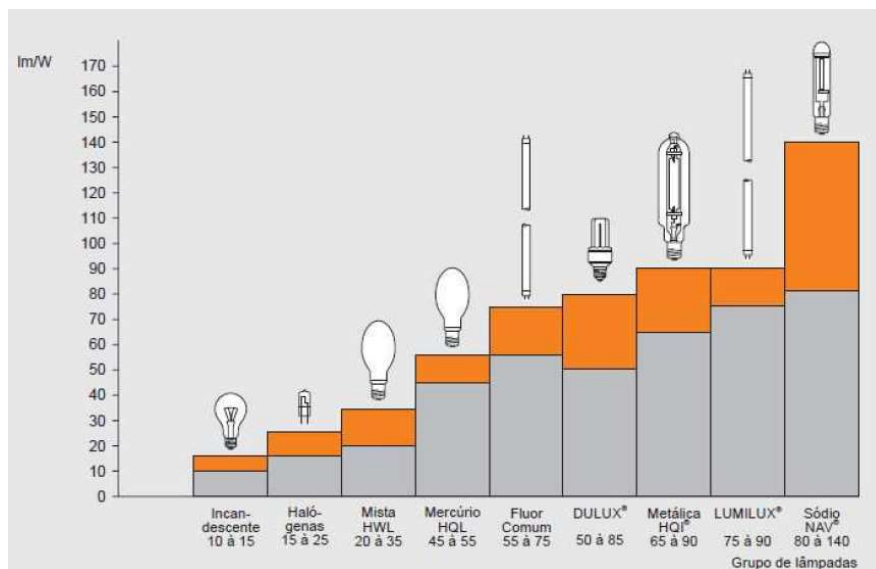
Fonte: (OSRAM, 2006).

Em geral uma fonte luminosa não emite luz uniformemente em todas as direções. Na Figura 5 é apresentada uma fonte luminosa irradiando luz em todas as direções, sendo que o comprimento deste vetor é dado como a intensidade luminosa (OSRAM, 2006).

2.1.5. Eficiência luminosa

É a relação entre o fluxo luminoso emitido e a potência consumida pela lâmpada (W). A unidade de eficiência luminosa é dada em lm/W. A Figura 6 apresenta a eficiência luminosa de algumas lâmpadas em utilização no mercado (NEGRISOLI, 1987; SALOMÃO, 2010).

Figura 6 – Eficiência Luminosa das Lâmpadas Comercializadas



Fonte: (OSRAM, 2006).

São apresentadas na Figura 6 alguns tipos de lâmpadas comercializadas, evidenciando sua eficiência energética, fator este que deve ser sempre analisado ao se realizar um projeto.

2.2. SAÚDE E ILUMINAÇÃO NO AMBIENTE DE TRABALHO

Diversos estudos apontam para uma estreita relação entre a qualidade no nível de iluminação de um ambiente com a produtividade, bem-estar, conforto e o desempenho dos colaboradores de uma empresa, por isso um bom projeto de iluminação é necessário para o ambiente. Os benefícios de um bom ambiente de trabalho se reflete numa redução significativa de erros e acidentes, além de proporcionar mais segurança e diminuir falhas no trabalho (BOMMEL, 2006).

A prática de uma boa iluminação para locais de trabalho é muito mais que apenas fornecer uma boa visualização da tarefa. É essencial que as tarefas sejam realizadas facilmente e com conforto. Desta maneira a iluminação deve satisfazer os aspectos quantitativos e qualitativos exigidos pelo ambiente. (ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013 p 02)

A melhoria da produtividade contextualizada com a iluminação de um ambiente, apresenta três teses:

- Bons níveis de iluminação elevam o desempenho visual, proporcionando aos trabalhadores maior agilidade e precisão na execução da tarefa;
- A iluminação pode desenvolver efeitos de estimulação, mantendo os colaboradores mais ativos;
- A iluminação assim como a escuridão influenciam no ritmo circadiano, podendo estes serem adiantados ou retardados (JUSLÉN, Henri; WOUTERS, Marius; TENNER, 2007).

Em contrapartida, ambientes com iluminação deficiente podem comprometer a saúde do trabalhador, causando cefaleia fadiga além de elevar a ocorrência de erros, distrações e a acidentes.

2.3. NORMAS TÉCNICAS

2.3.1. ABNT NBR 8995-1

A iluminação de ambientes assim como em diversos outros tipos de projetos, devem seguir as orientações contidas em normas devidamente regulamentadas. Para isto a Associação Brasileira de Norma Técnicas (ABNT) elaborou a NBR ISO/IEC 8995-1 de 03/2013 – Iluminação de ambientes de trabalho - Parte 1: Interior, sendo implementada e validada a partir de 04/2013. Esta norma veio a cancelar e substituir a ABNT 5413:1992 (Iluminância de interiores) e a ABNT 5382:1995 (Iluminação de ambientes de trabalho).

Esta norma tem por objetivo especificar as condições de iluminação para áreas de trabalho interno, e para que as pessoas possam executar suas tarefas de forma eficiente, com conforto e segurança pelo período de suas atividades (ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

2.3.1.1. *Iluminância mantida*

Iluminância mantida considera o tipo de tarefa a ser executada em cada ambiente de trabalho, observando as características de cada atividade, uma vez que os níveis de iluminância variam para cada tipo de tarefa. É definida como o menor valor que a iluminância média possa assumir em uma determinada superfície.

2.3.1.2. Plano de trabalho

É a superfície referência, onde uma atividade é desenvolvida por um ou mais trabalhadores (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013)

2.3.1.3. Uniformidade

É a manutenção do nível de iluminação padrão, em pontos distintos do ambiente, a uniformidade é uma característica de grande importância no desenvolvimento de um projeto, pois garante que a iluminância no local esteja bem distribuída (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

A uniformidade da iluminância é a razão entre o valor mínimo e o valor médio. A iluminância deve se alterar gradualmente. A área da tarefa deve ser iluminada o mais uniformemente possível. A uniformidade da iluminância na tarefa não pode ser menor que 0,7. A uniformidade da iluminância no entorno imediato não pode ser inferior a 0,5 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013, p. 6).

2.3.1.4. Malha de cálculo para projetos do sistema de iluminação

Como metodologia para o cálculo de iluminância média, a norma técnica NBR ISO/IEC 8995-1, utiliza como parâmetro uma malha para definição dos pontos de medição.

A princípio, a malha necessária a fim de determinar as iluminâncias e uniformidades médias depende do tamanho e forma da superfície de referência (área da tarefa, local de trabalho ou arredores), a geometria do sistema de iluminação, a distribuição da intensidade luminosa das luminárias utilizadas, a precisão requerida e as quantidades fotométricas para serem avaliadas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013, p. 32).

O tamanho recomendado da malha para salas e zonas de salas pequenas são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Tamanhos de malha

Ambiente	Maior dimensão da zona ou sala (d)	Tamanho da malha (p)
Área da tarefa	Aproximadamente 1 m	0,2 m
Salas/zonas de salas pequenas	Aproximadamente 5 m	0,6 m
Salas médias	Aproximadamente 10 m	1 m
Salas grandes	Aproximadamente 50 m	3 m

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

Com a seguinte equação pode-se calcular o tamanho da malha:

$$p = 0,2x5log_{10}n \quad (4)$$

Onde:

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

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

n é o número de pontos de cálculo considerando a malha p .

O número de pontos (n) é então estabelecido pelo número inteiro mais próximo da relação d para p .

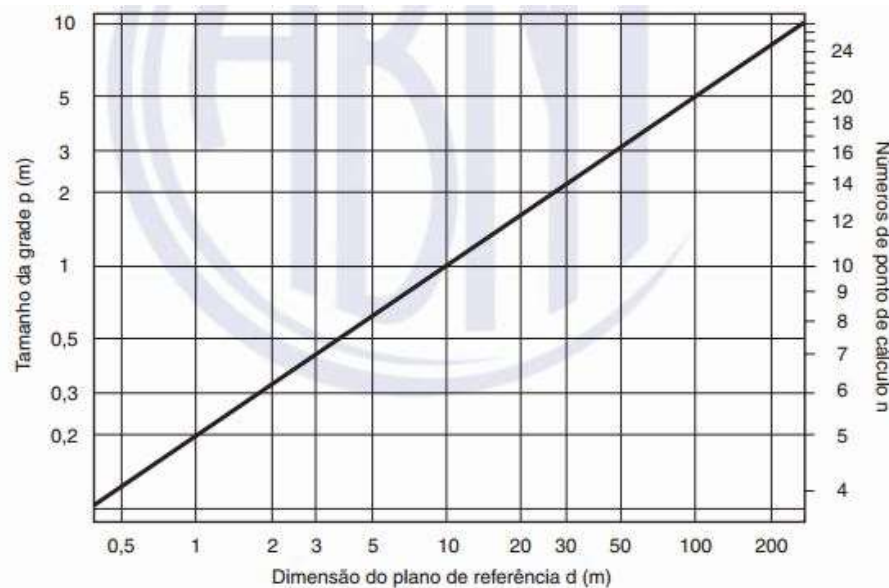
As superfícies de referência retangulares são subdivididas em pequenos retângulos, aproximadamente quadrados com os pontos de cálculo em seu centro. A média aritmética de todos os pontos de cálculo é a iluminância média. Quando a superfície de referência tem uma relação do comprimento versus a largura entre 0,5 e 2, o tamanho da malha p e, portanto, o número de pontos pode ser determinado com base a maior dimensão d da área de referência. Recomenda-se que em todos os outros casos, a menor dimensão seja tomada como base para o estabelecimento do espaçamento entre pontos da malha (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013, p. 33).

Para as superfícies de referência não retangulares, ou seja, superfícies limitadas por polígonos irregulares, o tamanho da malha pode ser determinado de forma análoga através de um retângulo adequado circunscrito e dimensionado. Os meios aritméticos e as uniformidades são então estabelecidos considerando-se apenas os pontos de cálculo dentro dos limites dos polígonos da superfície de referência (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013, p. 33).

Para as superfícies de referência do tipo faixa, que normalmente resultam das imediações das áreas avaliadas, convém que seja considerado a dimensão da faixa em seu ponto mais largo como base para determinar o tamanho da malha. No entanto, não é recomendado que o tamanho da malha assim estabelecido seja superior a metade da dimensão da faixa em seu ponto mais

estreito se este for de 0,5 m ou mais. Os meios aritméticos e as uniformidades são determinados novamente considerando- se apenas os pontos de cálculo dentro da faixa. Ver Figura 7 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013, p. 33).

Figura 7 – Tamanho de grade em função das dimensões do plano de referência



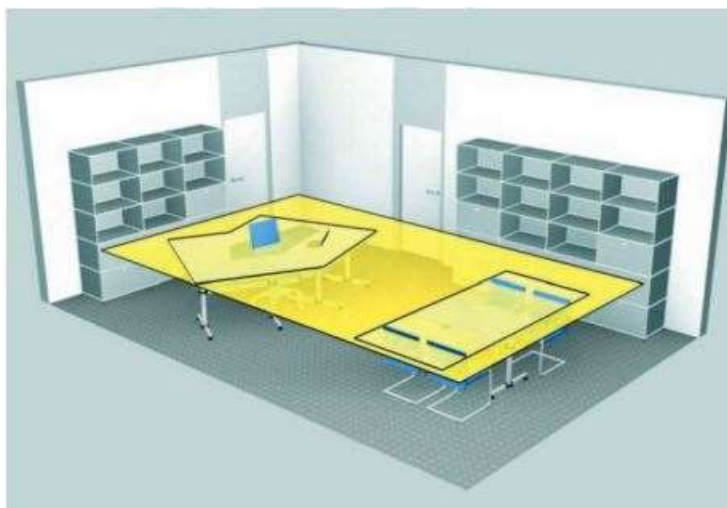
Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

2.3.1.5. Considerações para área da tarefa e área do entorno

A área de execução de uma tarefa é a área parcial no local de trabalho em que a tarefa visual é realizada. O desempenho visual básico para a tarefa é determinado pelos seguintes elementos visuais: tamanho dos objetos, contraste de fundo, luminância dos objetos e tempo de exposição a atividade realizada (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

Um escritório com local de trabalho conhecido, é um exemplo de como áreas de tarefas podem ser definidas pelo projeto de iluminação. Para esta situação tem-se o conhecimento da localização da área de trabalho, onde as áreas de execução das tarefas englobam a mesa de trabalho e o espaço do usuário. Assume-se como 0,75 m como o plano de trabalho, desconsidera-se os entornos imediatos, menos o vão entre as mesas de execução das tarefas. Conforme apresentado na Figura 8.

Figura 8 – Locais de trabalho e áreas do entorno em um escritório



Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

2.3.2. ABNT NBR 15215-4/2004

Esta norma prescreve em seu objetivo os métodos em caráter experimental para verificação das condições de iluminância e luminância no interior de ambientes. Conforme essa, os protótipos em escala reduzida servem como ferramentas para avaliação de diversos aspectos do projeto, como por exemplo, orientação, fachada e também para estudo de iluminação dos seus espaços internos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

Ao contrário de outros modelos físicos – nos quais o comportamento do fenômeno físico (transmitância térmica, tensões estruturais, fluxo de ar etc) sofre distorções pelo efeito da escala – o modelo para iluminação não requer compensações em função da escala, um modelo arquitetônico que represente com fidelidade um espaço real, exposto às mesmas condições de céu e mantendo a mesma geometria e as mesmas características das superfícies, apresenta um padrão de distribuição da iluminação idêntico (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

Sabe-se que a luz não sofre alterações nem distorções, uma maquete de um espaço físico real torna-se uma alternativa muito importante, pois sua utilização permite que sejam simulados novos sistemas, como de iluminação ou de aberturas mais eficientes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

A referida norma recomenda a utilização de luxímetros com filtro de correção óptica, podendo ter visor digital ou analógico. As dimensões dos sensores devem ser

os menores possíveis, orienta-se que estes tenham diâmetro menor ou igual a 20 cm na escala do modelo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

2.4. Iluminação artificial

As lâmpadas são responsáveis pelo fornecimento da energia luminosa, as luminárias são os equipamentos que as sustentam e otimizam o seu rendimento, além disso oferecem proteção e proporcionam um aspecto visual e estético mais agradável (CREDER, 2007).

2.4.1. Lâmpadas incandescentes

Lâmpadas incandescentes, conforme demonstrado na Figura 9, foram utilizadas por muitos anos, principalmente em ambientes internos, atualmente encontram-se em desuso comercial, devido a sua baixa eficiência, pois a maior parte da energia elétrica consumida convertia-se em calor (90%), e apenas 8% tornava-se luz visível. Seu funcionamento baseia-se na passagem de uma corrente elétrica por seu filamento de tungstênio, que aquece e gera luz (Kalanche, 2013).

Figura 9 – Lâmpada incandescente



Fonte: (PHILIPS, 2017b).

Esta tecnologia possui baixa eficiência, sua vida útil é de aproximadamente oito mil horas e o índice de reprodução de cor (IRC) de 100%, são lâmpadas de uso geral, residencial em plafons, arandelas e abajures.

2.4.2. Fluorescentes

Lâmpadas fluorescentes estão classificadas como lâmpadas de descarga, onde a luz é produzida pela passagem de corrente elétrica em um gás ou mistura de gases enclausurados em um tubo. Necessitam do uso de reatores ou ignitores para elevar a tensão que é aplicada em seus eletrodos, dessa forma é vencida a rigidez dielétrica dos gases. Na Figura 10, são demonstrados modelos de lâmpadas fluorescentes.

Figura 10 - Lâmpada Fluorescente



Fonte: (OSRAM, 2006; PHILIPS, 2017a).

As lâmpadas fluorescentes possuem elevada eficiência e durabilidade, com vida útil de 7500 a 10000 horas de uso, seu IRC é de 85%, possui elevada gama de potência e nível de tensão. Estas lâmpadas são amplamente utilizadas para iluminação de interiores como escritórios, lojas, residências e também em ambientes industriais (OSRAM, 2006; PHILIPS, 2017a).

2.4.3. Lâmpadas de vapor

Lâmpadas de vapor de sódio e de mercúrio, conforme Figura 11, são utilizadas para iluminação de áreas externas como vias públicas assim como indústrias cobertas, seu funcionamento é baseado em uma descarga elétrica de alta pressão entre os eletrodos, levando os gases do tubo de descarga a emitir luz (sódio, xênon, mercúrio). Para o seu funcionamento são utilizados ignitores ou reatores.

Figura 11 – Lâmpadas de Vapor



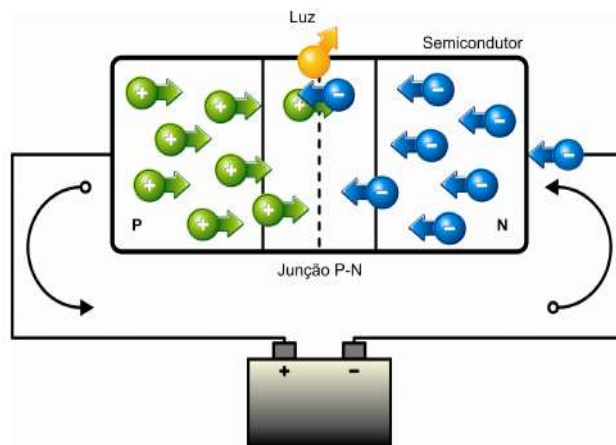
Fonte: (OSRAM, 2017).

Estes tipos de lâmpadas apresentam elevada eficiência luminosa, com valores acima de 100lm/W, e com vida mediana de 24000 horas.

2.4.4. LED

O diodo emissor de luz – LED é um componente eletrônico produzido a partir de semicondutores que emitem luz através da eletroluminescência, transformando energia elétrica em radiação visível. O LED é composto por uma junção PN, na qual P contém lacunas (falta de elétrons) e N as cargas negativas (excesso de elétrons). Quando são polarizados diretamente, os elétrons e as lacunas se deslocam em uma única direção, essa mistura resulta na formação de fótons, ou seja, produção de luz. Conforme apresentado na Figura 12 (PINTO, 2008).

Figura 12 - Processo de Emissão de Luz do LED



Fonte: (PINTO, 2008).

Este tipo de diodo não emite radiação infravermelha ou ultravioleta, contribuindo com a manutenção da temperatura no ambiente e não agredindo as superfícies dos objetos. Um fator importante na estrutura do LED é de que a emissão de luz é feita em uma direção específica, esta característica contribui para redução do desperdício de luz pela parte superior da lâmpada. A intensidade da cor pode ser controlada pela corrente e tensão (BLEY, 2012; PINTO, 2008). Alguns modelos de lâmpadas de LED são apresentados na Figura 13.

Figura 13 – Lâmpadas LED



Fonte (OSRAM, 2017).

Como características os LED`s apresentam baixo consumo, alta eficiência luminosa em torno de 150 lm/W, longa vida útil acima de 50.000h, e o seu IRC está entre 90 e 100%. O acendimento deste elemento é instantâneo e pode ser realizado inúmeras vezes (PINTO, 2008).

O aumento da temperatura é uma desvantagem do LED, pois eleva a corrente do circuito, esse efeito pode reduzir o fluxo luminoso e danificar o LED, por isso esta fonte luminosa conta com poderosos dissipadores de calor, conferindo assim maior confiabilidade e elevando a vida útil do equipamento.

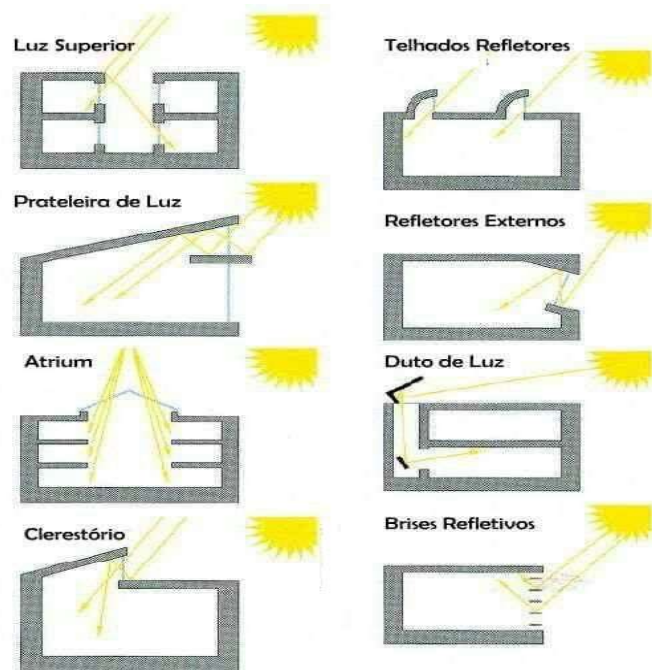
2.5. SISTEMA DE ILUMINAÇÃO NATURAL

Os sistemas de iluminação natural são desenvolvidos com o objetivo de utilizar a luminosidade solar para iluminar ambientes internos como escritórios, residências, comércios ou indústrias. Este tipo de proposta colabora com a eficiência energética de sistema de iluminação, devido ao uso de uma fonte gratuita de luz.

2.5.1. Sistema de iluminação tubular

O sistema tubular de iluminação surgiu a aproximadamente vinte anos na Austrália, propondo sanar os problemas do tipo de iluminação natural chamado de Zenital. O sistema Zenital consiste na adequação da estrutura predial para que nela penetre luz natural. Esta forma de iluminação pode ser visualizada na Figura 14 (GRUBERGER, 2011).

Figura 14 – Tipos de Iluminação Zenital



Fonte: (GARROCHO, 2005).

Esta tecnologia possibilita a entrada de luz solar no ambiente, e proporciona boa distribuição da luz natural, contribuindo com a elevação do nível de iluminância. Este sistema é muito difundido em edificações com grande profundidade como edifícios, pavilhões museus e comércio. A iluminação zenital caracteriza-se por ter uma abertura no teto ou parede, tendo esta uma cobertura transparente, claraboia ou telha translúcida (GARROCHO, 2005).

Como desvantagens deste sistema citam-se, a não capacidade de filtrar os raios UV, o nível de iluminamento não constante devido ao ângulo de incidência do sol variar durante o dia, assim como o seu desempenho diminui relativamente devido ao acúmulo de sujeira, trincas e da opacidade do material transparente (GARROCHO, 2005; GRUBERGER, 2011).

O sistema de iluminação tubular tem por princípio iluminar um ambiente, conduzindo a luz solar do ambiente externo para um ambiente interno. Esta tecnologia captura a luz do sol, direciona estes raios solares para dentro de uma tubulação fabricada com material altamente reflexivo, e este duto conduz a luminosidade até o

local da outra extremidade da tubulação. O sistema de iluminação tubular pode ser observado na Figura 15.

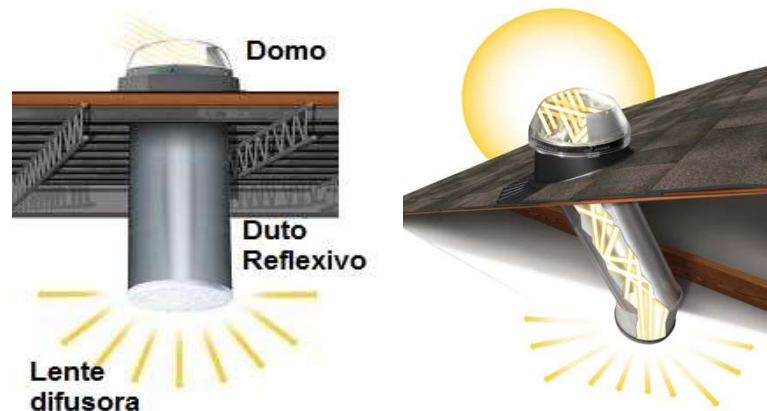
Figura 15 – Sistema de Iluminação Tubular



Fonte: (SOLATUBE, 2015)

Esta tecnologia baseia-se na união de três componentes principais, estes estão representados na Figura 16, onde o domo é a peça instalada na face externa e tem por função receber a luz fornecida pelo sol e orientá-la para o interior do duto reflexivo. A tubulação é a segunda peça do sistema, este é o elemento condutor, tem por função conduzir os raios solares captados pelo domo até a lente de difusão, o duto é produzido com material de alta reflexão para otimizar o rendimento e minimizar as perdas. O último elemento é a lente difusora, instalada na face interna do ambiente, esta tem por função difundir e homogeneizar os raios, iluminando o recinto com maior uniformidade (ESPACIO SOLAR, 2016; SOLATUBE, 2015).

Figura 16 – Sistema de Iluminação Tubular, com adaptação



Fonte: Adaptação (Rosa, 2013).

Conforme apresentado na Figura 16, este sistema não utiliza nenhuma forma de energia elétrica para a condução ou captação da luz, seu princípio de funcionamento está modulado no captar o raio de luz solar e refleti-lo internamente até a sua outra extremidade, funcionando como um tubo de luz.

O sistema de captação e transmissão da luz solar por meio reflexivo, apresenta-se como uma solução comercial já disponível, estando presente com maior ênfase em países como Espanha, Estados Unidos e Portugal. Nesses, o foco da aplicação é o desenvolvimento do sistema com maior rendimento possível, ou seja, desenvolver um produto e evitar ao máximo as perdas reflexivas (Rosa, 2013).

Em sequência serão apresentados com maior detalhamento os componentes do sistema de iluminação tubular, mencionando suas funções, formas construtivas e materiais.

2.5.1.1. Sistema de Captação – Domo

O domo ou cúpula como também é conhecido, conforme é apresentado na Figura 17, é a peça do sistema encarregada de amplificar a captação da luz incidente e por direcioná-la de forma eficiente para o interior da tubulação. Em sua confecção, são utilizados materiais de elevada qualidade, onde, os mesmos devem proporcionar ao domo alta transparência e resistência para suportar impactos e os efeitos dos eventos da natureza.

Figura 17 – Domo das empresas Solatube e Espacio Solar



Fonte: Adaptação (ESPACIO SOLAR, 2016; SOLATUBE, 2015)

O domo é a interface com o ambiente externo, podendo ser instalado em diversos locais como telhados, terraços de edifícios ou até em locais expostos a movimentação. Estes elementos são desenvolvidos com materiais específicos, dependendo de sua aplicação.

A empresa espanhola Espacio Solar, produz seu domo em vidro com duas camadas de reforço e uma câmara anti-condensação, isto garante elevada resistência mecânica além de excelente isolamento térmico e acústico. O vidro utilizado é do tipo temperado e suporta carga de até 1000 kg. Para aperfeiçoar a captação de luz esta empresa desenvolveu uma teia em alumínio de alta pureza com tratamento à base de prata, que eleva a capacidade reflexiva do domo, este elemento está apresentado na Figura 18 (ESPACIO SOLAR, 2016).

Figura 18 – Domo Espacio Solar

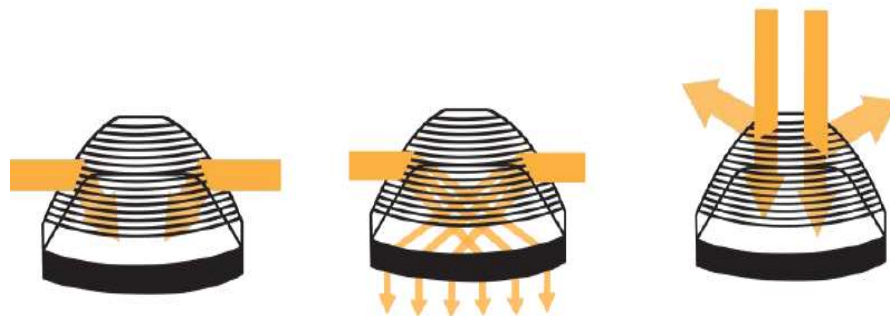


Fonte: (ESPACIO SOLAR, 2016).

A cúpula desenvolvida pela empresa americana Solatube, é fabricada em acrílico com tratamento para proteger contra os raios ultravioletas – UV, seu desenho foi desenvolvido para maximizar a captação da luz solar, para isso utiliza o princípio da lente de Fresnel, que é a segmentação de uma lente esférica, onde os raios solares são concentrados e dirigidos a um mesmo ponto (GARROCHO, 2005; PURIM, 2008).

Esta tecnologia propicia ao domo maior rendimento na captação de luz, mesmo nos períodos onde o ângulo de incidência do sol é menor. Além disso, como forma de não extrapolar os limites de iluminação esta cúpula limita o excesso de luz no período em que o sol incide em um ângulo reto, conforme apresentado na Figura 19.

Figura 19 – Domo Solatube



Fonte: (SOLATUBE, 2015).

2.5.1.2. Sistema de condução – Duto reflexivo

As tubulações reflexivas, conforme pode ser observado o duto reflexivo na , têm a tarefa de encaminhar os raios recebidos do domo até a lente difusora, o fenômeno que caracteriza sua funcionalidade é a reflexão interna. Um tubo de luz é definido como um componente que ao receber um feixe de luz o aprisiona em seu interior, sendo que este feixe só poderá ser expelido na face posterior a da sua incisão (SEARS, 1985).

Figura 20 – Duto Reflexivo



Fonte: Autor.

De forma a evitar perdas, estas tubulações são desenvolvidas com materiais de alto desempenho, podendo alcançar níveis de 99,7% de reflexão. Os dutos são produzidos em alumínio de elevada pureza e recebem tratamentos específicos para proporcionar maior rendimento.

Citando a empresa Espacio Solar, a composição da sua tubulação é feita em chapas de alumínio unindo boa resistência mecânica e baixo peso, sendo que estas chapas recebem um tratamento interno em PVD - Silver-Plus da Alanod, que é um material a base de prata, concedendo ao conjunto 98% de reflexão. Este duto é capaz de conduzir a luz por até 21 m com baixas perdas (ESPACIO SOLAR, 2016).

A empresa Solatube utiliza a mesma estrutura em alumínio, porém sua tubulação recebe em sua face interna uma película denominada SpectraLight@Infinity, proporcionando ao sistema uma capacidade reflexiva de 99,7%. Este conjunto possibilita o transporte da luz com baixas perdas por até 15 m, mantendo ainda 99% do IRC no ambiente interno (SOLATUBE, 2015).

2.5.1.3. Sistema de difusão – Lente Difusora

A lente difusora tem a função de difundir a luz recebida dos tubos reflexivos e iluminar com qualidade o interior do ambiente, também agrega por função a isolamento térmica e acústica do projeto (TUBYSOL, 2017). A mesma é apresentada na Figura 21.

Figura 21 – Lente Difusora



Fonte: Autor.

A lente exibida na Figura 21, é desenvolvida em material acrílico de alta resistência, sua borda é produzida em material plástico de elevada qualidade, que faz a fixação da lente de difusão a extremidade da tubulação reflexiva. (SOLATUBE, 2015).

2.5.1.4. Dados técnicos dos sistemas de iluminação natural

Os sistemas de iluminação natural foram desenvolvidos para iluminar desde pequenas áreas como: salas, quartos ou corredores, até áreas maiores como: depósitos, empresas, escolas e hospitais. No Quadro 2, são apresentados dados de eficiência.

Quadro 2 – Dados de eficiência

Fabricante	Espacio Solar				Solatube		
Modelo	DSC-250	DSC-300	DSC-400	DSC-950	160-DS	290-DS	750-DS
Diâmetro do duto refletivo	250 mm	300 mm	400 mm	950 mm	250 mm	350 mm	530 mm
Fluxo luminoso máximo	2900	4250	7800	46300	4600	9100	20500
Área iluminada	8 m ²	15 m ²	25m ²	Sem dados	13 m ²	22 m ²	30 m ²

Fonte: (ESPACIO SOLAR, 2016; SOLATUBE, 2015).

Conforme dados apresentados no Quadro 2, verifica-se a capacidade de iluminação de cada sistema, podendo iluminar áreas superiores a 30 m². Esse fato é de grande relevância, uma vez que para o seu uso não há consumo de energia elétrica.

2.6. SISTEMA DE ILUMINAÇÃO HÍBRIDO

O sistema de iluminação híbrido utilizado para a proposta desta pesquisa, baseia-se em um trabalho experimental desenvolvido pelo curso de graduação da Faculdade SATC de Criciúma – SC.

O projeto consiste em uma luminária com capacidade de controle eletrônico do nível de iluminação em um ambiente, utilizando uma fonte de luz natural e uma fonte alternativa por meio artificial. Contudo o sistema elaborado utiliza materiais reutilizáveis, de baixo custo e com elevada eficiência de matérias primas (JUNIOR, ROSA, SPACEK, MALFATTI, SCHAEFFER, 2014a).

O sistema desenvolvido utiliza o conceito do sistema tubular de iluminação natural, que capta a luz incidente do sol e por meio de reflexão interna encaminha os raios solares para um ambiente. Como fonte de iluminação artificial o projeto faz o uso de LED's de potência, que são elementos com elevada capacidade luminosa e baixo consumo energético (ROSA, 2013).

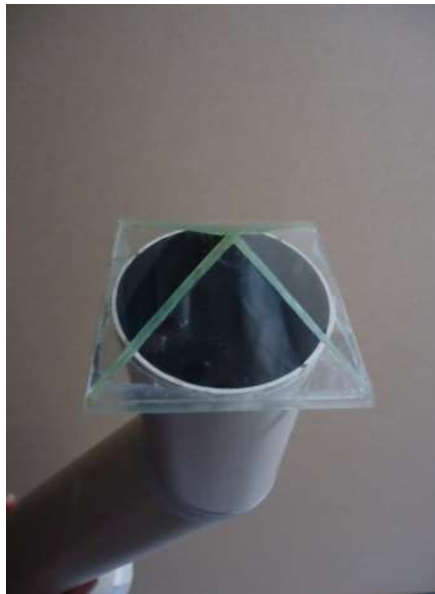
A particularidade do projeto está na utilização de um sistema de controle do nível de iluminação do ambiente desejado. Para isso faz-se o uso de um hardware que monitora o nível de luminosidade fornecida pelo sol, compara por meio de cálculos

o nível necessário de luz para iluminar o ambiente ou sala, e com essa resposta controla proporcionalmente o acendimento dos LED's (ROSA, 2013).

Para a montagem do sistema foram substituídos os componentes comerciais de alto valor agregado por materiais comuns de fácil acesso, baixo custo e de cunho ambiental.

Para o domo de captação empregou-se o vidro revenido, pois é um material de custo reduzido e reciclável de grande circulação no mercado. Além destes fatores a característica de refração deste vidro foi fundamental para a escolha do mesmo. Este fundamento físico colabora com a captação dos raios solares, pois mesmo em baixo ângulo de incidência solar o cristalino auxilia no direcionamento dos raios para o interior da tubulação. A Figura 22 apresenta o modelo do domo utilizado no projeto (ROSA, 2013).

Figura 22 – Cúpula de Desenvolvida



Fonte: (JUNIOR, ROSA, SPACEK, MALFATTI, SCHAEFFER, 2014b).

A cúpula projetada foi desenvolvida para ser acoplada à tubulação que conduzirá os raios solares até a lente de difusão.

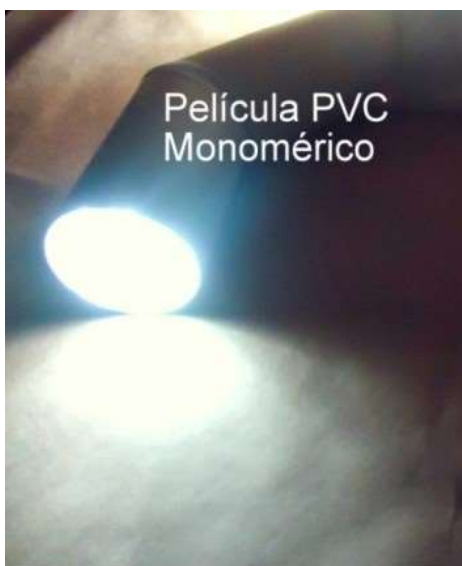
Em substituição ao alumínio utilizado pelas empresas especializadas no seguimento de iluminação natural, o projeto foi desenvolvido com tubo de PVC devido a sua resistência mecânica (140 a 180Mpa - Tração), resistência ao calor (ponto de

fusão 660°C), e principalmente por ser um material totalmente reciclável e com custo muito reduzido quando comparado ao empregado no projeto comercial (JUNIOR et al., 2014a).

Assim como os produtos comerciais, o projeto proposto fez o uso de um material reflexivo, para tornar viável a condução de luz no interior da tubulação. Apesar dos tubos da Solatube e da empresa Espacio Solar já possuírem o alumínio da tubulação que é um material de elevada reflexão, estes ainda utilizam tecnologias para aprimorar seus rendimentos reflexivos, no caso, empregam em seus projetos películas específicas e materiais a base de prata, fatores que elevam os preços do sistema.

Para o protótipo a tubulação foi revestida internamente por uma película gráfica chamada de PVC monomérico, sendo este um material a base de Policloreto de Polivinila (PVC), conforme pode ser observado na Figura 23.

Figura 23 – Tubulação desenvolvida



Fonte: (ROSA, 2013).

A Figura 23, apresenta o duto reflexivo desenvolvido em teste realizado pelo autor, pode-se visualizar que a tubulação desenvolvida é capaz de conduzir luz internamente.

Na lente de difusão apresentada na Figura 24 utilizou-se o policarbonato, que possui propriedades óticas e mecânicas e é amplamente utilizado no mercado como

difusor de sistemas de iluminação. O policarbonato possui ainda baixa absorção de umidade, proteção aos raios ultravioletas, alta tenacidade e resistência ao impacto, auxiliando na proteção do sistema (ROSA, 2013).

Figura 24 – Lente Difusora



Fonte: (ROSA, 2013).

O projeto do sistema de captação, condução e difusão de luz solar desenvolvido, é capaz de capturar a luminosidade em um ambiente externo e por meio de reflexão interna, conduzir estes raios solares até um ambiente interno. Este protótipo apresentou rendimento superior a 40%, ou seja, a tubulação com revestimento reflexivo é capaz de transportar para sua face interna ao ambiente 40,74% de toda luminosidade que chega na sua face que tem contato com a luz do sol (JUNIOR et al., 2014b).

Conforme a proposta, utilizou-se uma fonte de iluminação artificial para auxiliar na manutenção controlada da iluminação no ambiente, a fonte escolhida foi o LED. Onde o mesmo caracteriza-se pela longa vida útil, baixa tensão de operação e acendimento controlado e rápido. Para o projeto foi dimensionada a instalação dos LED's conforme apresentado na Figura 25 (ROSA, 2013).

Figura 25 – Disposição dos LED's



Fonte: (ROSA, 2013)

A potência máxima da luminária é de 18W, a mesma é composta de seis LED's de 3W com fluxo luminoso de 130lm cada um deles. O sistema de iluminação artificial foi devidamente acoplado ao sistema de iluminação natural, conforme apresentado na Figura 26, formando desta forma um conjunto híbrido de iluminação (ROSA, 2013).

Figura 26 – Luminária Híbrida

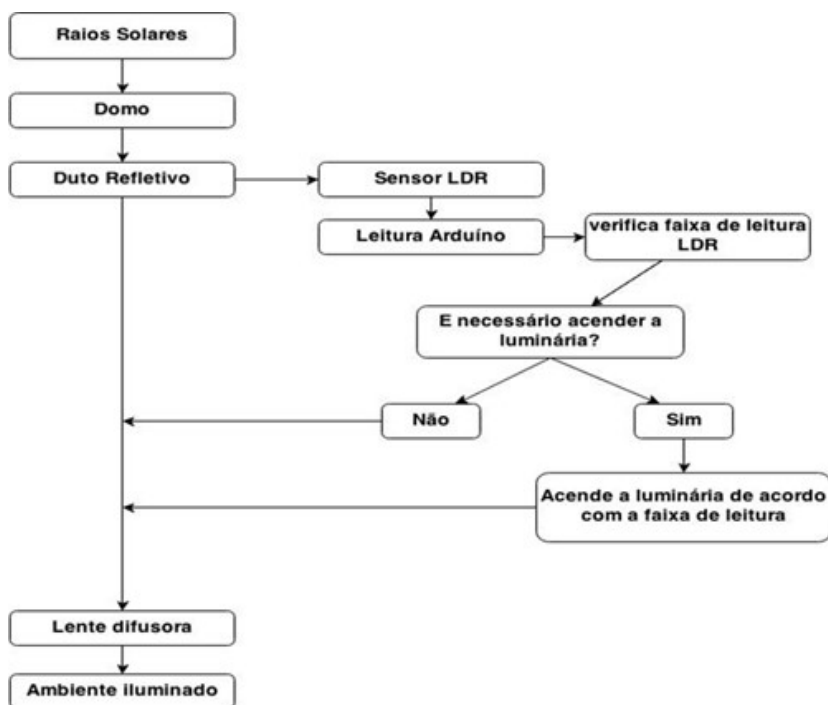


Fonte: (ROSA, 2013).

Para monitorar a realização do controle do sistema, desenvolveu-se um sistema de monitoramento para que fosse possível controlar o nível de iluminação no ambiente, fez-se o uso de um LDR - Light Dependent Resistor elemento de medição, e de um sistema embarcado Arduíno para a leitura dos dados fornecidos pelo LDR e para o processamento dos cálculos do nível de iluminância necessária para o correto iluminamento do ambiente (ROSA, 2013).

A Figura 27 apresenta o fluxograma do processo desenvolvido pelo autor.

Figura 27 – Fluxograma Luminária Híbrida



Fonte: (ROSA, 2013).

Este fluxo compreende o funcionamento do sistema proposto, onde os raios solares entram pelo domo e são encaminhados ao duto refletivo, dentro do duto está posicionado um LDR que monitora a intensidade da luz recebida, o valor desta intensidade é lido pelo sistema embarcado arduíno. Tendo a leitura, este componente eletrônico verifica se há a necessidade de acendimento da luminária LED, caso não seja, a lente difusora receberá apenas a luz do sol e iluminará o ambiente somente com a fonte natural, caso seja necessário o acendimento da luminária LED, o arduino efetua o acendimento da luminária, proporcionalmente ao nível de iluminância

predefinido para o correto iluminamento do ambiente, desta forma a lente de difusão recebe os raios solares juntamente com a luminosidade fornecida pela luminária LED.

Sob a luz da norma regulamentadora NBR-5382, foram realizados os testes do sistema híbrido de iluminação, a Figura 28 apresenta o ambiente simulado com as dimensões 1m de largura, 1m de profundidade e 1m de altura, que representa em escala reduzida 3:1 uma sala real de 3x3x3m, utilizada para reuniões na Faculdade Satc de Criciúma (ROSA, 2013).

Figura 28 – Protótipo em simulação



Fonte: (ROSA, 2013).

Conforme mencionado no texto e exposto na norma vigente, este teste em escala reproduz a realidade do sistema. Para sua utilização em escala real deve-se aplicar o mesmo fator multiplicador em todos seus aspectos.

Para o nível de iluminamento deste ambiente simulado, no caso uma sala para reuniões de um ambiente escolar, foi utilizada a norma vigente no período, onde cita-se a NBR-5413, a mesma referenciava um valor de iluminância mínima de 150, 200 ou 300 lux para o ambiente, dependendo de fatores como idades, risco das tarefas e refletância de fundo de tarefa. Utilizou-se 200 lux como nível médio de iluminamento, ou seja, o sistema desenvolvido deveria manter um iluminamento mínimo no ambiente

em 200 lux, seja por fonte natural, por fonte artificial ou por ambas iluminando a sala ao mesmo instante.

O protótipo desenvolvido apresentou relevantes resultados, onde o sistema de iluminação natural alternativo contribuiu com aproximadamente 35% no nível de iluminação do projeto, tendo picos de 80 lux, sendo responsabilidade do sistema artificial fornecer o restante da iluminação necessária para iluminar o ambiente com o nível pré-determinado de luz. Contudo, a utilização de materiais de baixo consumo e um sistema de controle eficiente apresentou um consumo médio de energia no sistema de 6,2 W no período diurno e 7,5 W nos períodos sem sol (ROSA, 2013).

3 METODOLOGIA

No trabalho é realizado uma pesquisa para a efficientização do sistema de iluminação de um pequeno ambiente de trabalho, em uma empresa do ramo metalúrgico, utilizando para isso tecnologias distintas, aplicando um sistema protótipo de iluminação híbrida.

O trabalho foi dividido em duas partes, onde a primeira consiste em uma pesquisa bibliográfica sobre o tema exposto, utilizando artigos científicos, teses, monografias, dissertações, livros, além de consultas as normas técnicas e fabricantes de sistemas de iluminação. Esta análise busca fornecer informações aprofundadas, para que possam auxiliar no entendimento dos conceitos, proporcionando embasamento teórico para o desenvolvimento do trabalho.

A segunda etapa consiste no diagnóstico do sistema atual de iluminação, onde são realizadas as medições “in loco”, averiguadas as condições ideais de iluminância para o local e para a atividade desenvolvida do mesmo. São levantadas informações sobre a empresa, ramo de atividade e relatos das necessidades e melhorias na qualidade de iluminação do ambiente, assim como a predisposição da empresa, para o enfoque no uso de tecnologias renováveis e de baixo consumo energético.

Com o levantamento dos dados referente ao ambiente, procede-se a inserção de propostas de sistemas de iluminação com maior eficiência. Com os sistemas definidos são realizadas as simulações com o uso do Software DiaLux, assim como são utilizados os dados fornecidos dos fabricantes e dos resultados obtidos pelo sistema protótipo.

O software DiaLux é um programa de cálculo e dimensionamento luminotécnico, desenvolvido com o auxílio de empresas especialistas do ramo, como Philips e Osram. Sendo assim um grande referencial em qualidade e precisão em seus dimensionamentos. O programa possui interface semelhante ao AutoCAD, tendo extensa biblioteca de luminárias e lâmpadas, assim como itens para o desenvolvimento de maquetes em 3D, na qual será utilizada para a simulação do ambiente para cada nova tecnologia.

Com os resultados obtidos e a adequação do projeto luminotécnico desenvolvido, realiza-se o estudo econômico para verificar a viabilidade na utilização dos sistemas propostos.

3.1. APRESENTAÇÃO DO CENÁRIO

O trabalho foi desenvolvido em uma empresa metalúrgica na cidade de Criciúma no sul de Santa Catarina, por motivos particulares a empresa decidiu não expor a sua marca neste trabalho, a mesma será chamada de Empresa “A”. Esta empresa abriu um espaço para a apresentação de uma proposta de melhoria no sistema de iluminação em suas dependências.

As propostas foram apresentadas aos seus representantes, e devido a sugestão de utilização de um sistema protótipo de iluminação, a sala de engenharia e projetos foi o ambiente cedido neste primeiro momento. Contudo este local torna-se favorável a aplicação dos sistemas propostos devido a sua localização física. A sala está localizada no segundo pavimento do prédio da empresa, conforme apresentado e grifado na Figura 29.

Figura 29 – Empresa “A” localização da sala de projetos.



Fonte: Autor

A sala que será utilizada nesse estudo é o local de desenvolvimento dos projetos técnicos, desenhos e dimensionamentos dos produtos fornecidos. São utilizados computadores para desenhos e cálculos, espaço para abertura e análise de projetos assim como reuniões entre a equipe.

A sala possui as seguintes dimensões: 5 metros de largura, 5 metros de comprimento, 2,55 metros de altura, e plano de trabalho a 80 centímetros do piso acabado. A Figura 30 apresenta a disposição interna do ambiente.

Figura 30 – Disposição interna da sala analisada.



Fonte: Autor

Na Figura 30 pode-se analisar o tipo de atividade desenvolvida no ambiente, a sala é o local de trabalho de uma engenheira mecânica e de uma projetista mecânica.

O sistema de iluminação é composto por quatro luminárias, com lâmpadas fluorescentes tubulares de 36 W que possuem fluxo luminoso de 2700lm, o ascendimento é realizado através do reator. O modelo da luminária pode ser visto na Figura 31.

Figura 31 – Modelo de luminária instalada



Fonte: Autor.

Para a avaliação do nível de iluminação necessário ao ambiente analisa-se o item 5 - Requisitos para o planejamento da iluminação da NBR 8995/2013. O mesmo apresenta as listas de ambientes (áreas, tarefas ou atividades), o nível de iluminância mantida (lux), o índice de limite de ofuscamento unificado, o índice de reprodução de cor e observações.

O Quadro 3 apresenta os dados luminotécnicos necessários para o desenvolvimento das atividades no ambiente de trabalho definido para esse estudo.

Quadro 3 – Planejamento dos ambientes (áreas), tarefas e atividades com a especificação da iluminância, limitação de ofuscamento e qualidade da cor

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	Em lux	UGRL	Ra	Observações
22. Escritórios				
Escrever, teclar, ler, processar dados	500	19	80	Para trabalho com VDT, ver 4.10.
Estações de projeto assistido por computador.	500	19	80	Para trabalho com VDT, ver 4.10.

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

Para a sala de projeto da Empresa “A”, define-se que a iluminância média deve ser de 500lux, as condições para trabalhos com VDT (Visual Display Terminals) serão consideradas no projeto de melhoria e efficientização do sistema de iluminação.

3.2. EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO

Para a análise e mensuração dos níveis de iluminação do ambiente, conforme a norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 8995/2013, utilizou-se um luxímetro Minipa modelo MLM-1011, devidamente aferido e calibrado pela empresa Estática na data de 22/07/2016. A Figura 32 apresenta o equipamento utilizado no trabalho.

Figura 32 – Luxímetro utilizado



Fonte: Autor.

O equipamento possui faixa de leitura de 0 a 100000lux com resolução máxima de 1lux, seu sensor é fabricado com fotodiodo de silício e sua precisão é de 4% (MINIPA, 2017).

4 ANÁLISES DOS SISTEMAS

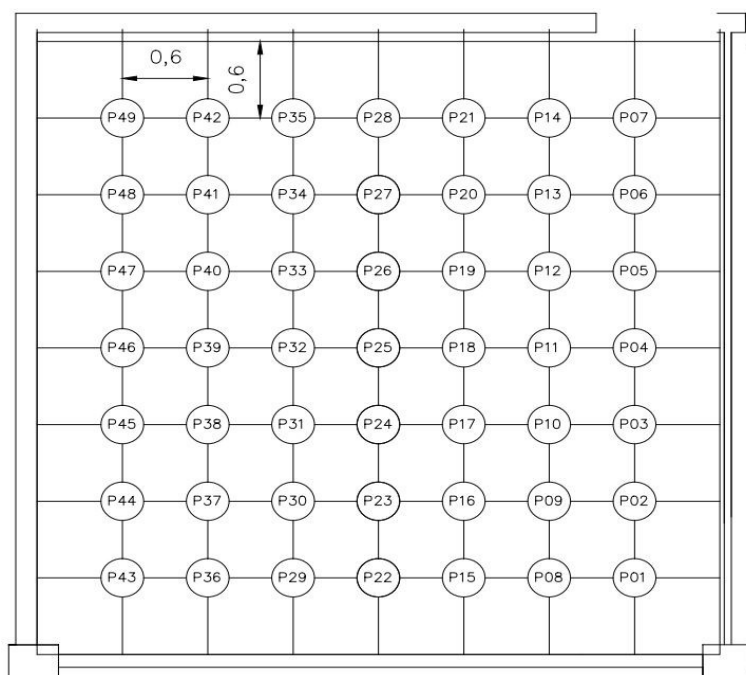
Nesta secção serão apresentadas as condições atuais do sistema de iluminação, apontando seus problemas e não conformidades. Serão realizadas as análises necessárias para o correto dimensionamento dos níveis de iluminação, propondo diferentes soluções para as falhas diagnosticadas na pesquisa.

4.1. SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ATUAL

Com o levantamento qualitativo e quantitativo realizado na sala de projetos da empresa “A”, utilizando a metodologia da Associação Brasileira de Normas Técnicas a NBR-8995/2013, foi possível relatar as condições luminotécnicas do setor.

A avaliação do nível médio de iluminamento da sala foi efetuada seguindo a Tabela B.1 – Tamanhos de malha da NBR-8995/1, e devido as dimensões do ambiente a dimensão da malha executada foi de 0,6m. As medições foram realizadas conforme pode ser observado na Figura 33.

Figura 33 – Malha para coleta de pontos, representação da malha no ambiente



Fonte: Autor.

Tendo a definição dos pontos, foram efetuadas as medições e calculada a média aritmética, conforme apresentado no Quadro 4.

Quadro 4 – Valores obtidos nas medições da sala de projetos.

Local	Média Aritmética (lux)	Iluminância mantida (lux)	Uniformidades (0,7)
Sala de Projetos	236	500	350

Fonte: Autor.

O Quadro 4 apresenta o valor obtido no ambiente em estudo, utilizando o valor médio de iluminância é possível comparar este valor com o nível de iluminância mantida de 500 lux, sendo este o valor necessário para se desempenhar a atividade no local, acrescenta-se ainda que a média das medições se encontra abaixo do valor de uniformidade da iluminância.

Constata-se então que a qualidade da iluminação neste ambiente de trabalho não está de acordo com os valores apresentados da NBR 8995, desta forma as condições luminotécnicas mínimas para a execução das tarefas diárias não estão sendo atendidas, salienta-se ainda que o nível de iluminância médio no ambiente não atinge 50% do valor estabelecido, assim como o valor para uniformidades.

4.2. SIMULAÇÃO PROJETO LUMINOTÉCNICO ATUAL

Um ambiente de trabalho com condições ideais para o desenvolvimento das tarefas com qualidade, precisão e conforto deve ter um bom projeto e dimensionamento do sistema de iluminação, visando dar condições para o bom desempenho das atividades.

Conforme levantamento dos dados do sistema atual, pode ser observado que o mesmo possui um elevado déficit na qualidade da iluminação, onde os níveis necessários para o desempenho das atividades não estão sendo atingidos.

Para a simulação foi desenvolvido com o auxílio do Software DiaLux a maquete 3D do ambiente desejado. Com isso as simulações poderão ser realizadas com maior grau de confiabilidade, refletindo assim as condições reais. A Figura 34 apresenta as dependências da sala de projeto, nela pode-se verificar a disposição das áreas de trabalho, elevação do plano, mobiliário e disposição das luminárias.

Figura 34 – Imagem Real da Sala de Projetos



Fonte: Autor.

Como forma de comparar e simular o nível de iluminância do local, desenvolveu-se em software a sala de projeto, conforme apresentado na Figura 35.

Figura 35 – Desenho 3D da Sala de Projetos



Fonte: Autor.

Com o uso do Software Dialux EVO, pode-se simular com maior realidade o ambiente desejado. A maquete 3D relata com detalhes a sala de projetos, esse fato auxiliará no dimensionamento do projeto.

Como forma de comparar as medições manuais, foi realizada uma simulação computacional do sistema atual, nesta foram inseridas os conjuntos de luminárias semelhantes aos reais instalados, a Figura 36 apresenta os valores da simulação via Software.

Figura 36 – Simulação do Sistema de Iluminação Atual



Fonte: Autor.

Como resultado do cálculo da simulação do sistema de iluminação atual realizado pelo Dialux, obteve-se uma iluminância média no valor de 220 lux, com ponto máximo de 422 lux. Esse fato comprova que as medições manuais (236 lux) foram realizadas de forma correta, e comprova a necessidade de um projeto para o correto dimensionamento luminotécnico para este ambiente.

4.3. PROPOSTA 01 – SISTEMA DE ILUMINAÇÃO FLUORESCENTE

Conforme resultados obtidos “in loco” e a comparação realizada via Software DiaLux, é evidente a necessidade de uma melhora no sistema de iluminação da sala

de projetos, para que as atividades desenvolvidas no ambiente sejam efetuadas com segurança, maior qualidade e conforto pelos colaboradores.

Como primeira opção sugere-se a utilização da mesma tecnologia instalada atualmente, porém com o uso de uma luminária mais moderna e com maior eficiência, também é proposto um novo arranjo com alteração na quantidade e na disposição das luminárias da sala.

O modelo utilizado é o CAC09-S232 desenvolvido pela empresa brasileira Lumicenter Lighting, que possui ampla variedade de produtos e excelente atendimento ao cliente, além de que, disponibiliza todo material para o dimensionamento e escolha da melhor opção para cada sistema de iluminação. A Figura 37 apresenta a luminária escolhida para a proposta 01.

Figura 37 – Luminária Fluorescente Lumicenter CAC09-S



Fonte: (LUMICENTER, 2017).

Devido ao tipo de teto do ambiente de trabalho, a luminária escolhida é de sobrepor, sua estrutura é composta por chapas de aço pintada na cor branca, seu refletor é desenvolvido em alumínio faceado assimétrico e o mesmo possui aletas para o controle de ofuscamento direto (LUMICENTER, 2017). Na Figura 38 pode-se analisar dados luminotécnicos referentes a luminária proposta.

Figura 38 – Especificações da luminária fluorescente Lumicenter CAC09-S



Fonte: (LUMICENTER, 2017).

Conforme apresentado na Figura 38, a luminária possui elevado fluxo luminoso, a mesma é composta por mais duas lâmpadas fluorescente de 32 W. Para a simulação serão utilizadas lâmpadas fluorescentes tubulares da marca Philips modelo TLDRS32W-S84ECO25PK de 26 mm, no Quadro 5 são apresentados os dados técnicos da lâmpada (PHILIPS, 2017a).

Quadro 5 – Dados técnicos das lâmpadas fluorescentes

Dados Elétricos e Fotométricos	
Modelo	TLDRS32W
Potência Nominal	32W
Eficiência Luminosa	84lm/W
IRC	>82
Fluxo Luminoso	2700lm
Temperatura da cor	4000K
Diâmetro do tubo	26mm
Comprimento	1200mm
Vida mediana	30000h
Classe de Eficiência Energética	A+

Fonte:(PHILIPS, 2017a).

4.3.1. Simulação da proposta 01

Seguindo a norma NBR 8995/2013, um escritório utilizado como Estações de projeto assistido por computador, deve ter nível de iluminância de 500 lux com fator de uniformidade de 0,7, estes valores são referência para todos os

dimensionamentos deste estudo, os parâmetros da sala de desenho técnico estão listados no Quadro 6.

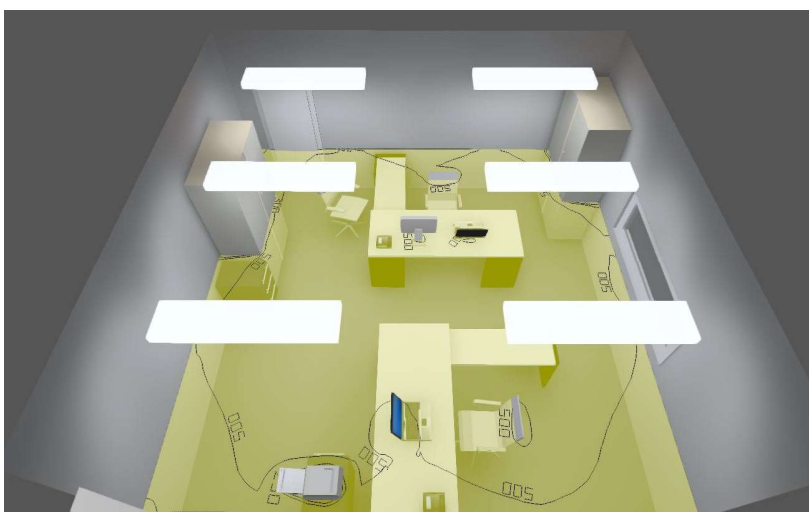
Quadro 6 – Parâmetros do ambiente

Largura do ambiente		5,00 m
Comprimento do ambiente		5,00 m
Altura do ambiente		2,60 m
Elevação do plano de trabalho		0,80 m
Índice de reflexão:	Teto	70%
	Parede	50%
	Piso	20%
Fator de Perda		0,85

Fonte: Autor.

No software Dialux foram inseridos os dados da luminária via arquivo com extensão IES fornecido pela empresa fabricante, assim como os dados luminotécnicos fornecidos pelo desenvolvedor das lâmpadas fluorescentes. Após diversas simulações, foi obtido o dimensionamento apropriado para atender a norma vigente, utilizando o sistema de iluminação por meio de lâmpadas fluorescentes, conforme pode ser observada a simulação na Figura 39.

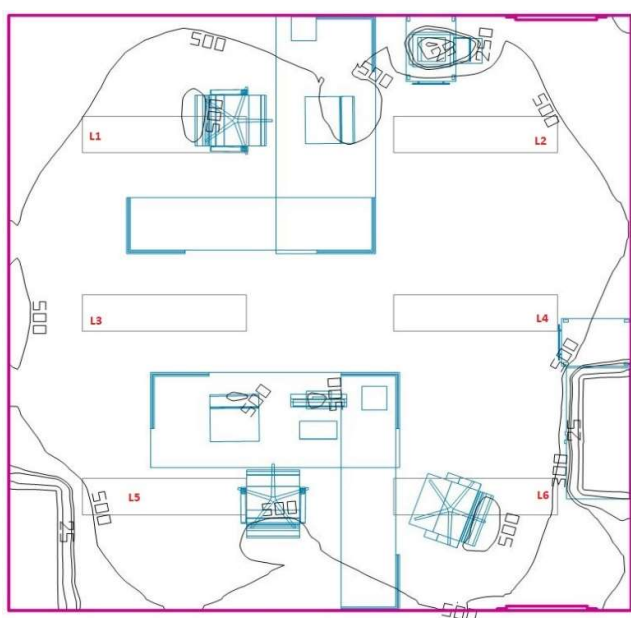
Figura 39 – Simulação com uso do sistema de iluminação fluorescente.



Fonte: Autor.

Como pode-se verificar na Figura 39, o sistema de iluminação foi completamente reformulado, as novas luminárias foram redistribuídas na sala, sendo modelo alterado por outro de maior eficiência, além disso a quantidade de módulos de iluminação subiu para seis unidades, com duas lâmpadas de 32 W cada, como pode ser observado na Figura 40.

Figura 40 – Simulação com uso do sistema de iluminação fluorescente, isográfico, vista superior.



Fonte: Autor.

Os itens numerados como L1, L2, L3, L4, L5 e L6, são as luminárias nas suas devidas posições, seus centros estão distantes 1,0 m das paredes horizontais e 1,25 m das paredes verticais, sendo que as luminárias L3 e L4 estão centralizadas na sala.

Ainda referenciando a Figura 40, pode-se observar as linhas isométricas, elas apresentam as zonas de intensidade de iluminação. Verifica-se que com este arranjo e posicionamento, os planos de trabalho recebem o nível de iluminância determinado na norma, ou seja, são atendidos os 500 lux de iluminância média na área de execução das tarefas. O software ainda gera uma malha com os pontos de medições, estes pontos podem ser analisados na Figura 41.

Figura 41 – Simulação com uso do sistema de iluminação fluorescente, Malha de valores.

+373	+500	+532	+493	+491	+68	+509	+382
+440	+585	+502	+575	+407	+627	+592	+446
+560	+765	+816	+741	+742	+819	+768	+567
+564	+770	+824	+756	+756	830	+773	+560
+561	+764	+818	+734	+735	+824	+774	+427
+559	+772	+804	+680	+693	+829	+783	+8.6
+14	+597	+633	+581	+582	+637	+586	+132
7.8	+511	+541	+495	+498	+544	+515	+360

Fonte: Autor.

Após a simulação da proposta, foi obtido a iluminância média de 587 Lux com ponto máximo de 830 lux, conforme mencionado na Figura 41. Os valores grifados na imagem são referentes aos pontos máximo e mínimo de iluminância. Ressalta-se que os locais onde apresentam baixos valores de iluminância, são onde estão localizados os móveis mais altos.

Com o auxílio desta malha, pode-se analisar os valores de iluminância ponto a ponto, estes apresentam-se de forma homogênea no ambiente, tendo maior variação nas proximidades das paredes. Os resultados revelam que com o uso do dimensionamento proposto o fator de uniformidade de 350 lux previsto na norma é respeitado. Para esta solução o valor de uniformidade atingiu 411 lux, superando assim o valor mínimo exigido e colaborando com uma melhor distribuição de luz no ambiente.

Após comprovar a qualidade luminotécnica no ambiente, faz-se necessária a apresentação dos dados energéticos, uma vez que estes são fundamentais para a análise da aprovação de uma proposta de retrofit de um determinado sistema, Quadro 7 apresenta os dados técnicos do sistema proposto e simulado.

Quadro 7 – Dados técnicos do sistema proposto 01.

Sistema de Iluminação Fluorescente	
Luminária	Sobrepor aletada
Lâmpada	Fluorescente tubular
Potência Lâmpada	32 W
Número de luminárias	6
Número de lâmpadas	12
Potência Nominal (luminária)	64 W
Potência Total do sistema	384 W
Fluxo Luminoso sistema	25548 lm
Eficiência Luminosa	65,5 lm/W
Potência por área	15,6 W/m ²
Fator de Manutenção (FM) Dialux	0,71
Iluminamento médio	587 lux

Fonte: Autor.

O sistema de iluminação proposto apresenta uma melhoria muito significativa para a iluminação do ambiente em estudo. Porém, para atender as necessidades luminotécnicas, tem-se o uso de seis conjuntos de luminárias e lâmpadas, com um consumo máximo de 0,384 kWh, isso significa um acréscimo de 0,240kWh no consumo de energia elétrica. Devido a tecnologia empregada nesta proposta ser a mesma utilizada pelo sistema atual, o aumento no consumo é proporcional a elevação no nível de iluminância no ambiente, onde foram acrescidos 357 lux de média.

4.4. PROPOSTA 02 - SISTEMA DE ILUMINAÇÃO LED

Para a segunda proposta serão utilizados os mesmos parâmetros normativos, uma vez que o foco do trabalho é a busca do melhor projeto de iluminação e melhor investimento para um ambiente de trabalho pré-determinado. Os parâmetros da sala foram apresentados no Quadro 6.

O sistema de iluminação desta proposta 02 utiliza a tecnologia LED, por meio de luminárias compostas de LEDs SMD de alto desempenho, aplicadas em uma placa de circuito impresso. A luminária escolhida é apresentada na Figura 42.

Figura 42 – Luminária Fluorescente Lumicenter EAA08-S



Fonte: (LUMICENTER, 2017).

O modelo utilizado é o EAA08-S3500840, também desenvolvido pela Lumicenter Lighting. A instalação desta luminária é de sobrepor, a mesma já apresenta os Leds de alta potência e drive multi tensão incorporados, sua estrutura é composta por chapas de aço pintadas na cor branca, seus refletores e aletas são fabricados em alumínio de alto brilho (LUMICENTER, 2017). Na Figura 43 pode-se analisar dados luminotécnicos referentes a luminária proposta.

Figura 43 – Especificações da Luminária LED Lumicenter EAA08-S



Fonte: (LUMICENTER, 2017).

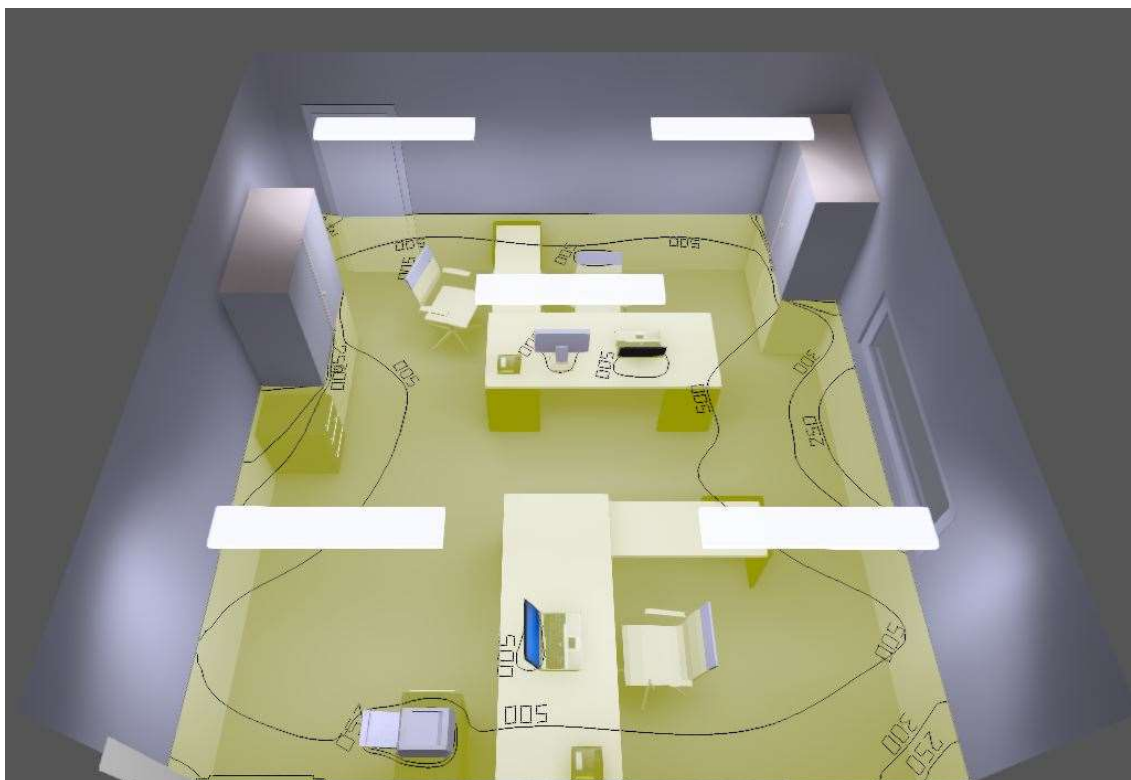
Conforme especificações apresentadas na Figura 43, a luminária possui fluxo luminoso de 3850 lm, com consumo de 37 W, esta é indicada para uso em ambientes com necessidade de qualidade de luz e conforto visual, sendo necessário o controle

de ofuscamento rigoroso, como em escritórios, que é o local escolhido para este estudo.

4.4.1. Simulação da proposta 02

Para a simulação da proposta 02, segue-se as orientações da norma NBR 8995/2013, a qual prevê o nível de iluminância em 500 lux para o local desejado. Como ferramenta de emulação é utilizado o software Dialux, nele são inseridos os dados da luminária via arquivo com extensão IES fornecido pela empresa fabricante. Após diversas simulações foi encontrado o dimensionamento para atender a normativa. A imagem deste ambiente simulado é apresentada na Figura 44.

Figura 44 – Simulação com uso do sistema de iluminação LED.



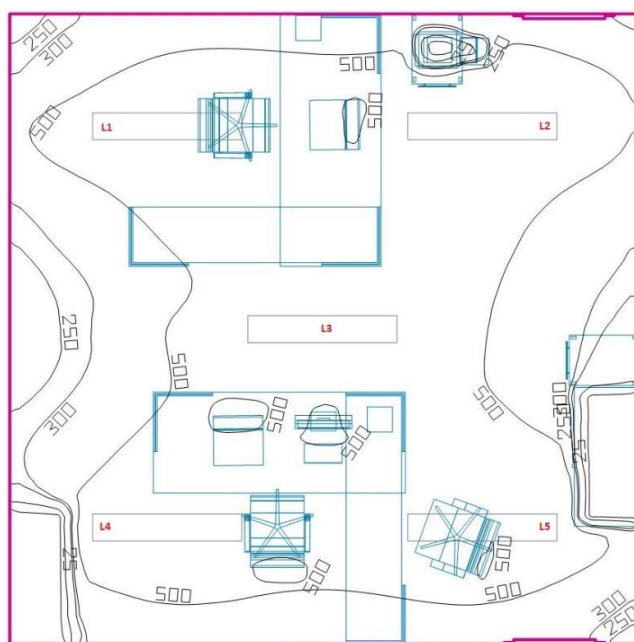
Fonte: Autor.

Como pode-se verificar na Figura 44, o sistema de iluminação foi projetado de forma diferente do atual sistema instalado e do desenvolvido na proposta 01. As novas

luminárias foram realocadas na sala de forma a distribuir melhor o nível de iluminação do ambiente.

Para isso foram utilizadas luminárias com a tecnologia LED, que devido ao seu sistema de elevada eficiência 104lm/W, foi possível reduzir a quantidade de luminárias, comparando com o sistema de iluminação por meio de luminárias fluorescentes. Para a proposta 02 são necessárias cinco luminárias para o atendimento do nível de iluminância. Na Figura 45 é apresentada a disposição oferecida.

Figura 45 – Simulação com uso do sistema de iluminação LED, isográfico, vista superior



Fonte: Autor.

Os itens numerados como L1, L2, L3, L4, E L5, são as luminárias nas suas devidas posições, seus centros estão distantes 0,9 m das paredes horizontais e 1,25 m das paredes verticais sendo que a luminária L3 está centralizada na sala.

Conforme apresentado na Figura 45, pode-se verificar as linhas isométricas, estas apresentam as zonas de intensidade de iluminação. Observa-se ainda que o plano de trabalho recebe grande intensidade luminosa, atingindo os 500 lux predeterminados na NBR 8995/2013.

Para a visualização do nível de iluminamento ponto a ponto é necessário o uso da Figura 46.

Figura 46 – Simulação com uso do sistema de iluminação LED, malha de valores

+319	+449	+514	+502	+495	+11	+532	+437
+565	+810	+656	+783	+548	918	+855	+607
+344	+494	+595	+640	+648	+625	+535	+390
+248	+361	+539	+736	+803	+655	+444	+303
+242	+388	+607	+765	+747	+598	+423	+179
+341	+513	+632	+627	+623	+645	+570	0.41
+1.4	+841	+903	+798	+788	+900	+843	+231
+1.6	+469	+499	+457	+459	+499	+473	+344

Fonte: Autor.

A proposta 02, apresentou 534 lux de iluminância média, com ponto máximo de 918 Lux que esta grifado na Figura 46. Estes resultados comprovam que o sistema de luminária LED, tendo a disposição e o posicionamento apresentados, atendem com louvor os valores normativos.

Analisando ainda a Figura 46, os valores de iluminância apresentados na simulação do sistema LED, assim como no sistema Fluorescente, encontram-se distribuídos de forma homogênea no ambiente. Nesta situação o valor de uniformidade também é respeitado, sendo superior ao valor mínimo exigido. O Quadro 8 apresenta os dados técnicos do sistema de iluminação desta proposta.

Quadro 8 – Dados técnicos do sistema proposto 02

Sistema de Iluminação LED	
Luminária	Sobrepor aletada
Potência Luminária	37 W
Número de luminárias	5
Potência Nominal (luminária)	37 W
Potência Total do sistema	185 W
Fluxo Luminoso sistema	18420 lm
Eficiência Luminosa resultante	104 lm/W
Potência por área	7,40 W/m ²
Fator de Manutenção (FM) Dialux	0,83
Iluminamento médio	534 lux

Fonte: Autor.

O sistema de iluminação proposto é desenvolvido com tecnologia de elevada eficiência luminosa, com impressionantes 104lm/W, a relação entre fluxo luminoso e consumo é extremamente vantajoso, pois com o menor consumo de energia é possível desempenhar elevada capacidade de iluminação.

A substituição do atual sistema de iluminação, representa uma melhoria muito significativa para a iluminação do ambiente. Para o atendimento das necessidades luminotécnicas, são utilizadas cinco luminárias Leds, com um consumo total de 0,185 kWh, isso significa um acréscimo de apenas 40W na potência do sistema de iluminação, comparando com o atual.

O consumo energético do sistema proposto é 28% maior que na atual configuração, porém sua capacidade de iluminação é de 243% maior quando comparado ao sistema instalado.

4.5. PROPOSTA 03 - SISTEMA DE ILUMINAÇÃO HÍBRIDO

Tendo como objetivo neste estudo, a apresentação de soluções técnicas e viáveis com melhor dimensionamento do sistema de iluminação de uma sala de projeto e engenharia, buscou-se analisar tecnologias comercialmente estabelecidas, de elevada confiabilidade e consolidadas no mercado. Contudo verifica-se a necessidade de apresentar algo inovador, de baixo consumo energético, voltado para a conscientização ambiental e que seja capaz de satisfazer as necessidades luminotécnicas do ambiente desejado.

Para esta proposta, é realizado o estudo utilizando o sistema híbrido de iluminação, já apresentado na fundamentação teórica deste trabalho. Com este sistema busca-se introduzir ao projeto de iluminação uma fonte natural de luz, assim como manter o nível de iluminamento no ambiente de trabalho, através da tecnologia LED.

Ressalta-se que é de extrema importância a apresentação de novas tecnologias voltadas para a redução do consumo de energia, sendo esta uma das premissas desta pesquisa. Para isso será utilizado um sistema até então avaliado apenas como protótipo. Este sistema será colocado em uma situação real de uso, e seus resultados serão discutidos no trabalho.

O sistema de iluminação híbrido proposto será submetido as mesmas condições a qual foram simuladas as propostas anteriores. A Figura 47 apresenta o sistema protótipo em funcionamento no ambiente em escala reduzida onde o mesmo foi testado.

Figura 47 – Ambiente de teste do sistema híbrido de iluminação



Fonte: (ROSA, 2013).

O sistema de iluminação híbrido apresentado na Figura 47, é composto pela união de um sistema de iluminação natural tubular e um sistema de compensação de luminosidade por meio de Led's de potência de alto brilho. O sistema possui monitoramento da incidência de luz solar e controle no nível de acendimento da luminosidade artificial.

Conforme mencionado no texto, o protótipo híbrido foi desenvolvido em uma escala de 3:1, onde todas as dimensões espaciais foram reduzidas em três vezes. Para o uso em escala real 1:1, segundo a NBR – 15215/4, deve-se utilizar o mesmo fator multiplicador, por tanto se terão todos os valores multiplicados por três. No Quadro 9 são apresentados os dados técnicos da luminária híbrida.

Quadro 9 – Dados técnicos da luminária híbrida.

Sistema de Iluminação Fluorescente		
Escala	3:1 (reduzida)	1:1 (real)
Luminária	Híbrida de embutir	Híbrida de embutir
Lâmpada	Led	Led
Potência Led	3 W	3 W
Tensão trabalho lâmpada Led	3,1V a 4,3V	3,1V a 4,3V
Tensão trabalho Luminária	12V	12V
Número de lâmpadas	6	18
Potência Nominal (luminária)	16,8W	50,4 W
Fluxo Luminoso por led	130 lm	130 lm
Fluxo Luminoso luminária	780lm	2340lm
Eficiência Luminosa	46 lm/W	46 lm/W
Diâmetro Tubulação	100mm	300mm
Distância (Externa-Interna)	1m	1m
Controle	Eletrônico	Eletrônico

Fonte: Autor.

Os dados apresentados no Quadro 9, são referentes a nova configuração do sistema de iluminação híbrido, estes valores estão adaptados a real escala de trabalho. Segundo (ROSA, 2013), nessas condições a luminária é capaz de conferir um nível de iluminamento médio de 200 lux em ambiente real, além disso, seu consumo pode ser diminuído com a captação de luz solar e o transporte dessa para o ambiente.

4.5.1. Simulação da proposta 03

Para a simulação da proposta 03 segue-se as mesmas orientações das propostas anteriores, onde o nível de iluminância média deverá atender os 500 lux exigidos pela NBR- 8995/2013.

O software Dialux é utilizado para a simulação do experimento. Para a avaliação não é possível contar com o Arquivo IES, uma vez que a luminária em estudo é um protótipo experimental. Porém utiliza-se um modelo com diâmetro e características semelhantes, além disso são utilizados os valores de fluxo luminoso, temperatura de cor e consumo do sistema híbrido, para a execução dos cálculos de iluminância desta proposta.

Após diversas simulações, foi encontrado o dimensionamento para atender a normativa. A imagem deste ambiente simulado é apresentada na Figura 48.

Figura 48 – Simulação com uso do sistema de iluminação híbrido, luminárias

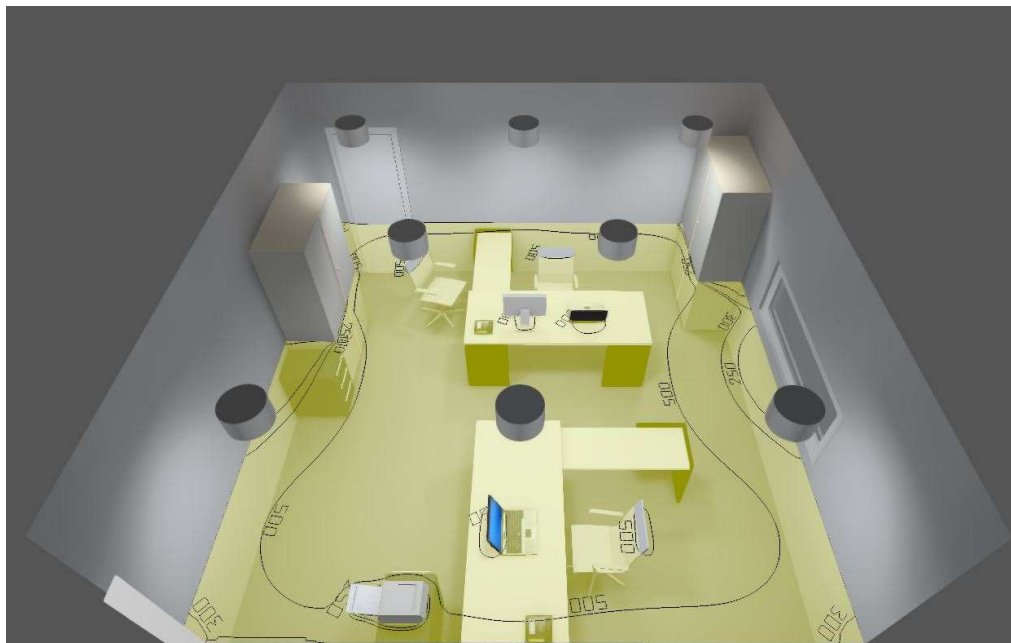


Fonte: Autor.

A Figura 48 apresenta a sala devidamente iluminada com o sistema híbrido da proposta 03, pode se perceber que a luminária utilizada é semelhante ao protótipo. Esta Luminária possui 300mm de diâmetro e fluxo luminoso de 2400lm, que são

valores muito próximos aos do sistema proposto, Quadro 9 apresentados no. A Figura 49 apresenta a sala, sendo iluminada com a tecnologia sugerida.

Figura 49 – Simulação com uso do sistema de iluminação híbrido

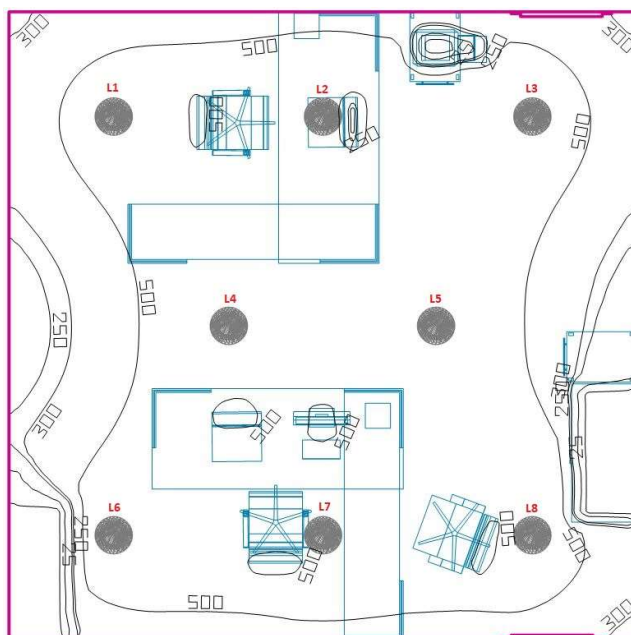


Fonte: Autor.

Como pode-se verificar na Figura 48, o sistema de iluminação teve sua disposição reorganizada. As novas luminárias foram realocadas na sala de forma a distribuir melhor o nível de iluminamento do ambiente, fazendo o uso do tipo de luminária proposta.

Para esta nova configuração foram utilizadas oito luminárias híbridas, tendo assim um maior número de luminárias quando comparadas as propostas anteriores, contudo o nível de iluminamento foi atendido. Os posicionamentos das luminárias são apresentados na Figura 50.

Figura 50 – Simulação com uso do sistema de iluminação híbrido, isográfico, vista superior.



Fonte: Autor.

Conforme apresentado na Figura 50, os itens numerados como L1, L2, L3, L4, L5, L6, L7 e L8 são as luminárias nas suas devidas posições. Nas luminárias L1, L3, L6 e L8 seus centros estão distantes 0,9 m das paredes horizontais e 0,9 m das paredes verticais. Nas luminárias L2 e L7 seus centros estão distantes 0,9 m das paredes horizontais e 2,5 m das paredes verticais, e nas luminárias L4 e L5 seus centros estão distantes 2,5 m das paredes horizontais e 1,75 m das paredes verticais mais próximas.

Analisando as linhas isográficas na Figura 50, observa-se que nos locais de execução das tarefas o nível de iluminação está dentro das zonas de trabalho superiores a 500 lux, pode-se verificar ainda que as imediações e o vão entre as mesas pertencem a mesma zona gráfica apresentada, significando assim, que está distribuição das luminárias proporciona homogeneidade de luz no ambiente.

A Figura 51 apresenta os valores ponto a ponto obtidos na simulação do sistema híbrido de iluminação, ressaltasse que nesta simulação foi averiguado o nível de iluminação com o uso apenas da fonte de luz artificial, ou seja, foram mensurados apenas os valores do fluxo luminoso via iluminação LED, este fato é necessário pois caso se tenha a necessidade de utilização do sistema de iluminação

nos instantes onde não há a presença de sol, o fluxo luminoso deverá ser atendido apenas pela fonte artificial. Contudo salienta-se que o protótipo foi desenvolvido para que a luminosidade resultante do sistema seja composta por luz natural e luz artificial.

Figura 51 – Simulação com uso do sistema de iluminação híbrido, malha de valores

+398	+504	+521	+545	+545	+2.9	+517	+409
+473	+617	+490	+684	+414	+666	+627	+481
+373	+546	+654	+695	+692	+666	+574	+393
+260	+471	+653	+713	714	+676	+520	+282
+259	+473	+652	+686	+695	+678	+523	+199
+364	+551	+654	+643	+625	+674	+587	0.15
+1.2	+634	+672	+693	+692	+676	+634	+201
+1.4	+524	+537	+554	+554	+536	+529	+408

Fonte: Autor.

A proposta em questão, obteve com o uso de oito pontos de iluminação 523 lux de iluminância média, com nível máximo de 714 lux, conforme grifado na imagem. Estes resultados comprovam que o sistema proposto, com a disposição e posicionamento apresentados atende a NBR-8995/2013.

Analisando os pontos da Figura 51, verifica-se que há homogeneidade de luz no ambiente, a variação de iluminância entre os pontos é reduzida, o que garante maior conforto visual para os trabalhadores do setor. Após o dimensionamento do sistema proposto, é apresentado no Quadro 10 os dados técnicos do sistema de iluminação.

Quadro 10 – Dados técnicos do sistema proposto 03

Sistema de Iluminação LED	
Luminária	Híbrida
Potência Luminária	50W
Número de luminárias	8
Potência Total do sistema	400 W
Fluxo Luminoso sistema	18720 lm
Eficiência Luminosa resultante	32,1 lm/W
Fator de Manutenção (FM) Dialux	0,83
Iluminamento médio	523lux

Fonte: Autor.

Para este sistema é necessário fazer algumas considerações com relação aos seus resultados, nível de iluminamento e consumo.

Conforme apresentado por (ROSA, 2013), a melhor média de iluminamento apresentada no desenvolvimento do protótipo foi de 60 lux, e este será o valor utilizado para a análise desta proposta.

Considerando o nível de iluminamento médio de 500 lux e que o sistema de iluminação natural seja responsável por injetar 60 lux em média no ambiente, cabe ao sistema de controle efetuar o acendimento proporcional da luminária LED, ou seja, o iluminamento artificial deverá colaborar com 440 lux.

Neste cenário deve ser analisado o consumo total da luminária, que para fornecer os 2340 lm utiliza 50 W, ao somar todas as luminárias este valor chega aos 400 W apresentados no Quadro 10. Com essa potência o sistema é capaz de satisfazer as condições luminotécnicas sem o uso da fonte natural.

Na melhor consideração média, onde o sistema tubular colabora com 60 lux de iluminância, a luminária LED apresenta um consumo médio de 42W, ou seja, o sistema proposto consome ao total 0,336kWh.

Comparando esta proposta 03 com o atual sistema de iluminação, verifica-se um acréscimo de 303 lux no nível de iluminamento, assim como uma melhor distribuição de luz no ambiente. Contudo ocorrerá um acréscimo no consumo energético, saltando dos 0,144kWh atuais para 0,336kWh da proposta 03, fato este que será necessário em todas simulações apresentadas, pois, o sistema instalado não atende as especificações da norma, devendo ter uma reformulação.

4.6. CUSTO DOS SISTEMAS

Para a implementação de um projeto, após o correto dimensionamento, desenvolvimento e busca pelas melhores soluções técnicas, é necessário que sejam levantados os custos do sistema.

Nesta análise serão abordados os valores necessários para a aquisição dos materiais para cada sistema de iluminação proposto. Vale ressaltar que independente da tecnologia a ser escolhida posteriormente pela empresa, os custos de implementação de qualquer uma das tecnologias serão semelhantes, pois haverá a substituição do sistema atual, e um novo deverá ser instalado. Portanto serão apresentados apenas os custos para a compra de cada um dos sistemas propostos.

Para a proposta 01 com o uso do sistema de iluminação fluorescente, será utilizado a luminária da marca Lumicenter modelo CAC09-232. Os custos para compra estão apresentados no Quadro 11.

Quadro 11 – Valores do sistema fluorescentes

Item	Custos	Quantidade	Total
Luminária	R\$ 134,50	6	R\$ 807,00
Lâmpada	R\$ 6,73	12	R\$ 80,76
Reator	R\$ 21,52	6	R\$ 129,12
Custo total			R\$ 1.016,88

Fonte: Autor.

Para a proposta 02 com o uso do sistema de iluminação LED, será utilizado a luminária da marca Lumicenter modelo EAA08-S. Os custos para compra estão apresentados no Quadro 12 .

Quadro 12 – Valores do sistema LED

Item	Custos	Quantidade	Total
Luminária	R\$ 226,90	5	R\$ 1.134,50
Custo total			R\$ 1.134,50

Fonte: Autor.

Para a proposta 03 com o uso do sistema de iluminação LED, será utilizada a luminária híbrida, para esta luminária, foram considerados os valores de cada componente do sistema, atualizando os valores de mercado para os dias atuais. Os custos para compra estão apresentados no Quadro 13.

Quadro 13 – Valores do sistema Híbrido

Item	Custos	Quantidade	Total
Domo	R\$ 40,00	8	R\$ 320,00
Duto 300 mm	R\$ 45,00	8	R\$ 360,00
Difusor	R\$ 25,00	8	R\$ 200,00
Luminária 18 leds	R\$ 35,64	8	R\$ 285,12
Sensores	R\$ 4,00	8	R\$ 32,00
Dispositivo de controle	R\$ 45,00	1	R\$ 45,00
Custo total			R\$ 1.242,12

Fonte: Autor.

Para o sistema de iluminação híbrido, ressalta-se que o mesmo foi desenvolvido em nível experimental e em escala reduzida, porém os valores apresentados no Quadro 13 estão dimensionados para a escala real. Percebe-se que para o dispositivo de controle, neste caso o hardware do sistema, consta apenas uma unidade, contudo este equipamento é capaz de comandar até 15 luminárias independentes.

Ao analisar os custos dos sistemas, constata-se que os valores são semelhantes, tendo o sistema da proposta 01 o menor valor e a proposta 03 o custo mais elevado. Porém, por se tratarem de equipamentos elétricos, devem ser avaliados além do custo de compra, o rendimento luminotécnico e o consumo de energia. Esta análise será apresentada no próximo item do trabalho.

5 ANÁLISES RESULTADOS

5.1. ESTUDO DE VIABILIDADE

Após a realização de todas as análises técnicas, dimensionamentos de engenharia e levantamento de custo dos sistemas, faz-se necessário a avaliação econômica das propostas, com o intuito de comparar os projetos com relação as suas viabilidades financeiras.

Para este estudo, serão analisados:

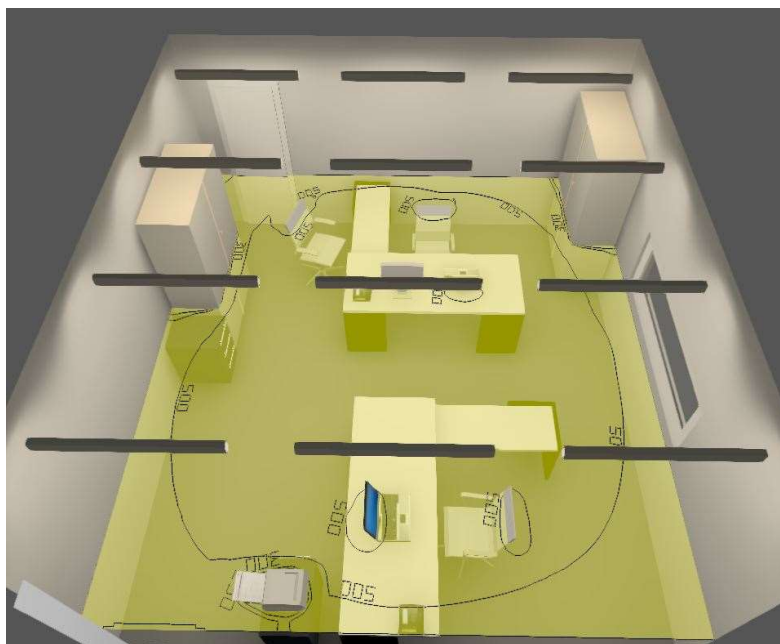
- VPL – Valor Presente Líquido, é um parâmetro capaz de avaliar quanto a economia futura no consumo de energia valerá na data da implementação do projeto, descontando uma taxa juros e o valor do investimento.
- TRI – Taxa de Retorno de Investimento, é a razão entre a economia em energia elétrica alcançada e o valor do investimento, indica o percentual de retorno sobre o investimento.
- TIR – Taxa Interna de Retorno, é capaz de analisar o quanto um projeto de investimento é viável aplicando uma taxa de juros, e considerando a vida útil do sistema.
- Payback Simples – é uma estratégia para analisar o período que vai se ter o retorno do investimento.
- Payback descontado – é semelhante ao Payback simples, porém este desconta uma taxa antes de somar o valor ao fluxo de caixa. (PUCCINI, 2011).

Para a análise dos custos deste projeto, algumas condições foram consideradas, em um primeiro ponto verificou-se que o sistema de iluminação atual não atende a norma regulamentadora, logo uma melhoria deverá ser realizada para que sejam atendidos os valores normativos.

Com o intuito de se obter parâmetros para o retrofit do sistema, as condições luminotécnicas atuais foram simuladas via software Dialux, foi obtido o valor de 220 lux no nível de iluminamento, com um consumo de 0,144kWh.

Como forma de equiparar o sistema atualmente instalado com os demais sistemas propostos, o sistema atual foi ampliado para atender as condições luminotécnicas necessárias. A simulação é apresentada na Figura 52.

Figura 52 – Simulação com uso do sistema atual redimensionado.



Fonte: Autor.

O resultado da simulação indica que seriam necessárias 12 luminárias idênticas as atuais utilizadas para atender os 500lux previstos na NBR-8995/2013, isto significa um consumo de 0,432kWh para o sistema de iluminação atual. Este novo valor de consumo, somado ao custo para a compra de mais 8 luminárias, serão os parâmetros para a análise de viabilidade econômica das propostas oferecidas neste estudo. O custo para a aquisição destas luminárias será de R\$640,00, sendo este valor para o conjunto completo com lâmpadas e reatores.

Com base nestas condições foram elaboradas planilhas para apresentar os cálculos das análises financeiras. O Quadro 14 apresenta os cálculos da análise de viabilidade do sistema de iluminação da proposta 01 – sistema de iluminação fluorescente.

a simulação apresenta uma Taxa de Retorno de Investimento de 158% e VPL de -R\$35,63.

Com estes dados verifica-se a inviabilidade de substituição para a proposta 01. Porém salienta-se que deverá se fazer a melhoria no sistema atual de iluminação. Nesta análise podemos verificar que é mais interessante a compra e instalação das 8 luminárias do sistema atualmente instalado.

O Quadro 15, apresenta os cálculos de viabilidade para o sistema proposto com iluminação de LED. A análise é realizada seguindo as mesmas considerações da proposta 01, onde o sistema é comparado com o sistema de iluminação atualmente instalado e redimensionado.

Quadro 15 - Planilha de cálculo de viabilidade da proposta 02

Sistema de Iluminação	Potência do conjunto (luminária + lâmpada)	Nº de conjuntos	Consumo de energia mensal (kWh)	Custo mensal	Consumo de energia anual (kWh)	Custo anual	Investimento
Sistema atual redimensionado	36	12	103,68	R\$ 44,73	1244,16	R\$ 536,76	R\$ 640,00
Proposta 02 - Sistema LED	37	5	44,40	R\$ 19,16	532,80	R\$ 229,86	R\$ 1.134,50

Fluxo de Caixa - Análise PayBack Descontado						
R\$/kWh (Tarifação Convencional Grupo B - Celesc)	R\$	Período	Fluxo de Caixa Livre (FCL)	FCL acumulado	VP do FCL	VP do FCL acumulado
	0,43	0	-R\$ 494,50	-R\$ 494,50	-R\$ 494,50	-R\$ 494,50
Taxa desconto	12%	1	R\$ 306,89	-R\$ 187,61	R\$ 274,01	-R\$ 220,49
Horas de Uso diário	10	2	R\$ 306,89	R\$ 119,29	R\$ 244,65	R\$ 24,17
Dias de uso mensal	24	3	R\$ 306,89	R\$ 426,18	R\$ 218,44	R\$ 242,61
Vida útil do sistema (horas)	30000	4	R\$ 306,89	R\$ 733,08	R\$ 195,04	R\$ 437,65
Vida útil do sistema (anos)	10,4	5	R\$ 306,89	R\$ 1.039,97	R\$ 174,14	R\$ 611,79
Retorno de Investimento (Vida útil)	R\$ 2.702,32	6	R\$ 306,89	R\$ 1.346,87	R\$ 155,48	R\$ 767,27
		7	R\$ 306,89	R\$ 1.653,76	R\$ 138,82	R\$ 906,09
		8	R\$ 306,89	R\$ 1.960,66	R\$ 123,95	R\$ 1.030,04
Análises		9	R\$ 306,89	R\$ 2.267,55	R\$ 110,67	R\$ 1.140,71
Valor Presente Líquido (VPL)	R\$ 1.106,72	10	R\$ 306,89	R\$ 2.574,45	R\$ 98,81	R\$ 1.239,52
Taxa de Retorno de Investimento	621%	11	R\$ 306,89	R\$ 2.881,34	R\$ 88,22	R\$ 1.327,75
Taxa Interna de Retorno (TIR)	44%	12	R\$ 306,89	R\$ 3.188,24	R\$ 78,77	R\$ 1.406,52
Payback simples (anos)	1,61	13	R\$ 306,89	R\$ 3.495,13	R\$ 70,33	R\$ 1.476,85
Payback descontado (anos)	1,90	14	R\$ 306,89	R\$ 3.802,03	R\$ 62,80	R\$ 1.539,65
		15	R\$ 306,89	R\$ 4.108,92	R\$ 56,07	R\$ 1.595,72
		16	R\$ 306,89	R\$ 4.415,82	R\$ 50,06	R\$ 1.645,78
		17	R\$ 306,89	R\$ 4.722,71	R\$ 44,70	R\$ 1.690,48

Fonte: Autor.

Analisando o dimensionamento proposto, certifica-se que ambos os projetos atendem o nível de iluminação pré-determinado pela NBR 8995/2013, porém

devido a elevada qualidade e eficiência do sistema composto por LED, o consumo é muito menor.

O Quadro 15, é possível analisar os valores investidos para os dois sistemas de iluminação, onde a diferença no custo de compra é de R\$ 494,50, sendo o sistema LED mais caro. Porém pode-se analisar que consumo do sistema atual é 233% maior do que o sistema proposto, considerando o valor do kWh de R\$0,43, a economia anual no consumo de energia chega a R\$306,89, isso são 711,36kWh que deixarão de ser consumidos anualmente somente para este pequeno projeto de iluminação.

A análise do investimento para esta proposta é bastante favorável, uma vez que, sua TIR é de 44%, sendo muito superior à taxa de desconto considerada neste trabalho. O VPL outro fator importante, apresenta o valor de R\$1.106,72. Considerando o tempo que este investimento estaria apresentando retorno financeiro, temos o payback simples em aproximadamente um ano de sete meses, e o payback descontado apresenta um período de 1,90 anos. Tendo o sistema proposto um ciclo de vida útil de 10,4 anos, o mesmo apresenta uma TRI de 621%, todos estes parâmetros apontam para a viabilidade na utilização do sistema de iluminação por LED.

Assim como nas demais propostas o sistema de iluminação híbrido, também foi analisado se financeiramente será viável.

Para esta análise, utilizou-se como parâmetro a situação mais favorável para este sistema, que seria com o maior rendimento do sistema natural de iluminação, ou seja, a planilha considera que a luz solar está sendo responsável por 60 lux de iluminamento no ambiente proposto. Esta condição diminui o consumo de energia elétrica em 12%, resultando no consumo total de 42W por luminária. Os dados são apresentados no Quadro 16.

sistema da proposta 03, sendo que para este trabalho seria mais atrativo a implementação do sistema da proposta 02.

Tendo analisado todas as propostas juntamente com o sistema instalado atualmente, verifica-se que é necessária uma reformulação no projeto luminotécnico da sala de projetos. Visto que este foi um parâmetro vital para o desenvolvimento de toda a análise financeira deste trabalho, pois, não haveriam condições de analisar uma proposta e compará-la a uma situação que não atenderia a uma normativa.

Com o desenvolvimento das planilhas financeiras, teve-se uma visão mais criteriosa sobre as condições econômicas para a escolha de uma tecnologia para o novo sistema de iluminação. Com este olhar foi possível verificar que o sistema de iluminação por luminárias LED, referente a proposta 02 é o mais viável em todas as condições oferecidas.

A proposta 02, apresentou um retorno financeiro muito satisfatório, pois em menos de dois anos, considerando o payback descontado, o sistema já estaria dando algum tipo de retorno financeiro, além da melhoria na condição luminotécnica da sala e conseqüentemente colaboraria com qualidade no ambiente de trabalho dos funcionários.

O Quadro 17, apresenta um resumo comparativo dos sistemas de iluminação propostos, assim como, menciona os custos para a melhoria do sistema atual.

Quadro 17 – Comparativo econômico dos sistemas

ITEM	PROJETO ATUAL	FLUORESCENTE	LED	HÍBRIDA
Custo conjunto	R\$ 80,00	R\$ 169,48	R\$ 226,90	R\$ 155,27
Quantidade	8	6	5	8
Vida Útil	-	30000 h	30000 h	30000 h
Total	R\$ 640,00	R\$ 1.016,88	R\$ 1.134,50	R\$ 1.242,16
Potencia instalada W	432	384	185	336
Consumo anual kW	1.244	1.106	533	968
Custo anual	R\$ 536,76	R\$ 477,12	R\$ 229,86	R\$ 417,48
Redução no consumo		-11%	-57%	-22%
ANÁLISE FINANCEIRA				
Valor Presente Líquido (VPL)		-R\$ 35,63	R\$ 1.734,02	R\$ 64,14
Taxa de Retorno de Investimento		158%	621%	198%
Taxa Interna de Retorno (TIR)		-2,4%	44%	3%
Payback simples (anos)		6,32	1,61	5,05
Payback descontado (anos)		12,60	2,90	9,30

6 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou um estudo técnico para o aperfeiçoamento de um sistema de iluminação para um ambiente localizado em uma indústria metalúrgica. A pesquisa proporcionou uma análise criteriosa sobre as condições luminotécnicas do setor, comprovando que o mesmo está em desconformidade referente ao nível de iluminamento preconizado pela NBR-8995/2013.

Para a uma melhor análise do nível de iluminamento do ambiente escolhido, foi necessário o desenvolvimento de uma maquete eletrônica. Esta foi elaborada com a utilização do software Dialux, o mesmo deu as condições necessárias para a formulação das propostas e simulação dos projetos de iluminação.

Foram apresentadas três propostas com tecnologias diferentes, sendo que todas buscaram solucionar o déficit no nível de iluminamento do local, assim como a redução no consumo geral de energia, fatos estes que foram atendidos em todas as oportunidades.

A proposta número um, contempla a utilização de um tipo de sistema de iluminação altamente difundido e comercializado em todo planeta, que é o sistema de iluminação por luminárias fluorescentes. Apesar deste sistema apresentar bons resultados, ele é o mesmo utilizado atualmente. Contudo foi oferecida uma luminária mais moderna, com maior rendimento e com funcionalidades mais colaborativas para o ambiente em questão. Ao comparar este sistema proposto com o sistema atual redimensionado, verificou-se que a viabilidade na substituição das luminárias não seria vantajosa, principalmente pelo consumo e rendimento destes sistemas serem semelhantes.

Ao citar a proposta número três, remete-se a um trabalho desenvolvido em escala acadêmica, com a utilização de materiais de baixo custo. A aplicação do sistema híbrido de iluminação, surge como uma vertente para a conscientização no uso de energia. Este sistema tem elevado apelo ambiental, tendo por objetivo a utilização de fonte de energia limpa e gratuita, além de que, sua estrutura física é construída a partir de materiais reutilizáveis ou recicláveis. A luminária híbrida busca oferecer iluminação por duas fontes luminosas, uma natural e outra artificial, tendo a soma destas fontes busca-se iluminar o ambiente com qualidade.

O sistema híbrido por ser um protótipo, necessita de investimento para ter seu rendimento elevado, uma vez que o estudo de viabilidade apontou como não sendo

favorável à sua utilização, todavia, o fato de se analisar a instalação deste sistema é encorajador para que possam ser realizadas maiores pesquisas, com a possibilidade muito visível de melhoria nas condições estruturais e no uso de materiais de maior eficiência.

Os dados apresentados no estudo teórico apontam o sistema híbrido de iluminação tubular, como uma opção para o desenvolvimento de tecnologias com a utilização de energias renováveis em diversos tipos de aplicações, como para esta que foi apresentada.

A segunda proposta, apresenta-se como uma solução para diversas condições de iluminação, tanto como iluminação de espaços de grandes áreas, como para ambientes menores, como o de estudo deste trabalho. A proposta de utilização das luminárias LED apresentou um resultado extremamente positivo, onde a mesma foi capaz de abastecer o ambiente desejado com a menor quantidade de conjuntos de luminárias, menor consumo energético e com menor tempo de retorno do investimento. Isto deve-se ao fato desta tecnologia possuir elevado rendimento e eficiência luminosa de 104lm/W, onde uma única luminária de 37W apresenta um fluxo luminoso de 3850lm. Ao se comparar com uma lâmpada fluorescente de 32W, a luminária LED proporciona um fluxo luminoso 64% maior com apenas 5W a mais no consumo, estes valores refletem diretamente no resultado de viabilidade do sistema.

Conforme apresentado na análise de viabilidade, foram necessárias apenas cinco luminárias LED para atender as condições luminotécnicas do ambiente, caso a empresa decida apenas expandir o sistema atual de iluminação, da forma como consta no estudo, deveriam ser utilizadas doze luminárias idênticas as instaladas. Este fato reforça a qualidade elevada no sistema proposto e valida ainda mais a viabilidade na substituição do sistema de iluminação para a tecnologia LED.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2004). NBR 15215-4: Iluminação Natural - Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de medição. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2013). NBR 8995-1: Iluminação de Ambientes de Trabalho - Parte 1 : Interior (1º ed). ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 (Vol. 1). Rio de Janeiro, Brasil: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).
- BLEY, F. B. LEDs versus lâmpadas convencionais, 2016. Especialize IPOG, p. 1–24. São Paulo.
- BOMMEL, W. J. . Van. Non-visual biological effect of lighting and the practical meaning for lighting for work, 2006. Elsevier - Applied Ergonomics, 37(4), 461–466.
- CREDER, H.. Instalações Elétrica Creder. 15º ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC Livros técnicos e científicos editora S.A, 2007.
- ESPACIO SOLAR, T. B.. Catalogo Espacio Solar iluminação natural. Disponível em <<http://espaciosolar.com/fichas.htm>> Acesso em 22 fev. 2016.
- GARROCHO, J. S. **Luz natural e projeto de arquitetura - Estratégias para iluminação zenital em centros de compras**, 2005. Dissertação (Mestrado Curso de pós-graduação em arquitetura e urbanismo) Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2005.
- GRUBERGER, I.. Sistema de iluminação natural tubular, 2011.
- JUNIOR, O. H. A., ROSA, H. B. ;, SPACEK, A. D., MALFATTI, C. de F., SCHAEFFER, L. Proposta de um sistema alternativo para captação da luz solar de baixo custo para inserção no mercado Brasileiro 2014a. Elsevier - Ciência & Tecnologia dos Materiais, 26(1), 17–24. <http://doi.org/10.1016/j.ctmat.2014.09.003>
- JUNIOR, O. H. A., ROSA, H. B., SPACEK, A. D., MALFATTI, C. de F., SCHAEFFER, L. Proposal of a Hybrid System for Solar and Photovoltaic for Lighting Low Cost, 2014b. Renewable Energies and Power Quality (RE&PQJ), 1(12), 248.
- JUSLÉN, Henri; WOUTERS, Marius; TENNER, A. The influence of controllable task-lighting on productivity: a field study in a factory, 2007. Elsevier - Applied Ergonomics, 38(1), 39–44.
- KALANCHE, N. et al. Análise comparativa de sistemas de iluminação - viabilidade econômica da aplicação de led, 2013. Salvador, BA.
- LUMICENTER. lumicenter iluminacao. Disponível em <<http://www.lumicenteriluminacao.com.br/>>. Acesso em 25 jun. 2017.
- MINIPA. LUXÍMETRO DIGITAL MLM-1011. Disponível em <<http://www.minipa.com.br/images/Manual/MLM-1011-1102-BR-EN-ES.pdf>>. Acesso em 20 jun. 2017.
- NEGRISOLI, M. E. M. Instalações Elétricas: projetos prediais em baixa tensão. São Paulo;SP, Blucher. 1987.

OSRAM. Manual Luminotécnico Prático Osram, 2006. Disponível em <<http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Livros/ManualOsram.pdf>>. Acesso em 1 mai. 2017.

OSRAM. Osram, Web Site, 2017. Disponível em <<http://www.osram.com.br>> Acesso em 15 mai. 2017.

PHILIPS. Philips Lâmpadas Fluorescentes, 2017. Disponível em <<http://www.philips.com.br>> Acesso em 15 mai. 2017.

PHILIPS. Philips Lâmpadas Incandescentes, 2017. Disponível em <<http://www.philips.com.br>> Acesso em 15 mai. 2017.

PINTO, R. A. **Projeto e Implementação de Lâmpadas para Iluminação de Interiores Empregando Diodos Emissores de Luz (LEDS)**, Dissertação (Mestrado programa de pós graduação de engenharia elétrica) Universidade Federal de Santa Maria , Santa Maria, RS, 2008.

PROCEL. Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso - ano base 2005. São Paulo, SP, 2016.

PUCCINI, E. C. Matemática Financeira e Análise de Investimentos. Florianópolis: Cad (UFSC), 2011.

PURIM, C. A. **Desenvolvimento de um Coletor Solar para Iluminação Direta com Fibra Óptica**. Dissertação (Mestrado Profissional do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Tecnologia (PRODETEC)) Instituto de Tecnologia Para o Desenvolvimento Lactec, 2008.

Rosa, H. B. Sistema alternativo para iluminação de ambientes através da captação da luz solar (3º Renomat Conferência Internacional de Materiais e Processos para Energias Renováveis No. PO11). 3º Renomat - Conferência Internacional de Materiais e Processos para Energias Renováveis Porto Alegre, RS, 2013.

ROSA, H. B. Desenvolvimento de um sistema híbrido de iluminação em escala reduzida. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em engenharia elétrica)- Faculdade Satc, Criciúma-SC, 2013.

SALOMÃO, T. M. Eficiência Energética: projetos luminotécnicos em plantas industriais. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, SP, 2010.

SEARS, F. W. Física 4: Ondas eletromagnéticas, ótica e física atômica. LTC, Org. Rio de Janeiro - RJ, 1985.

SOLATUBE. Iluminação natural. Disponível em <<http://www.solatube.com/es/productcatalog.htm>. Acesso em 5 jul. 2015

TUBYSOL. Catalogo Tubysol iluminação solar. Disponível em <<http://www.tubysol.es/index.php>>. Acesso em 5 jun. 2017.