

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADEMICO DE ELETROMECÂNICA
CURSO DE TECNOLOGIA EM MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

DHENIFER MOURA

**ANÁLISE LUMINOTÉCNICA: ESTUDO DE CASO EM INDÚSTRIA MOVELEIRA
LOCALIZADA NA CIDADE DE MEDIANEIRA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MEDIANEIRA

2013

DHENIFER MOURA

**ANÁLISE LUMINOTÉCNICA: ESTUDO DE CASO EM INDÚSTRIA MOVELEIRA
LOCALIZADA NA CIDADE DE MEDIANEIRA**

Trabalho de conclusão de curso ao
Programa de Graduação em
Tecnologia em Manutenção industrial
da Universidade Tecnológica Federal
do Parná.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Dristiane
Lionço Zeferino

Coorientador: Prof^o. Me. Evandro
André Konopatzki

MEDIANEIRA

2013

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família que sempre me motivou a continuar esta jornada em busca de conhecimento e enriquecimento profissional e pessoal.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Ivan e Gilvete Dal Vesco, pois sem eles o sonho da graduação em curso superior não teria se concretizado.

Um 'muito obrigada' a todos os colegas de faculdade que fizeram da sala de aula um ótimo lugar para estar, mas principalmente ao Victor Hugo e David que foram muito prestativos ao auxiliar na execução deste projeto. A toda a minha família que sempre apoiou todas as minhas decisões. Agradeço também aos orientadores, Prof^a. Dr.^a Cristiane Lionço Zeferino e ao Prof. Me Evandro André Konopatzki, sem eles este projeto não seria possível.



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Medianeira
Diretoria de Graduação e Educação Profissional do
Curso Superior de Tecnologia em Manutenção
Industrial



TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISE LUMINOTÉCNICA: ESTUDO DE CASO EM INDÚSTRIA MOVELEIRA LOCALIZADA NA CIDADE DE MEDIANEIRA

Por:

Dhenifer Moura

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado às 19 h do dia 12 de fevereiro de 2014 como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo no Curso Superior de Tecnologia em Manutenção Industrial, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Câmpus Medianeira*. Os acadêmicos foram arguidos pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho

Prof. Dra. Cristiane Lionço
UTFPR – *Câmpus Medianeira*
(Orientador)

Prof. Me. Filipe Marangoni
UTFPR – *Câmpus Medianeira*
(Convidado)

Prof. Me. Samir de Oliveira Ferreira
UTFPR – *Câmpus Medianeira*
(Convidado)

Prof. Yuri Ferruzzi
UTFPR – *Câmpus Medianeira*
(Responsável pelas atividades de TCC)

RESUMO

MOURA, Dhenifer. **Análise luminotécnica: estudo de caso em indústria moveleira localizada na cidade de medianeira**. 2013. 58 f. Trabalho de conclusão de curso – Graduação em Tecnologia em Manutenção Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira – 2013.

A iluminação no ambiente de trabalho é fundamental para a correta realização das tarefas visuais. Este trabalho analisou as condições luminotécnicas de um barracão industrial utilizado como indústria moveleira situada no Município de Medianeira – PR. Foi proposto um projeto luminotécnico utilizando conjuntos (lâmpadas e luminárias) adequados a cada ambiente da fábrica. Por meio da verificação da eficiência econômica luminosa que apresentou um indicador representativo do custo de produção da energia luminosa, o sistema de iluminação atualmente instalado foi comparado ao projetado. Este indicador comparou a ampliação do sistema atual levando em conta a ampliação deste para o atendimento do nível de iluminância mínimo normatizado. A proposta mais indicada neste estudo é a instalação do Sistema de iluminação projetado, considerando o atendimento à norma vigente e a atualização dos equipamentos instalados, bem como aumento da vida útil do sistema proposto e maior eficiência econômica luminosa.

Palavra chave: ABNT/NBR ISO 8995-1/2013. Iluminação de interiores. Luminotécnica. Conforto visual.

ABSTRACT

MOURA, Dhenifer. **Lighting technique analysis: a case study in the furniture industry in the city of Medianeira**. 2013. 58 p. Final course work - Graduation in Industrial Maintenance Technology, Federal University of Technology of Paraná. Medianeira - 2013

Lightening at work environment is extremely important for the correct use of visual activities. This study analyzed the lightening technique conditions of an industrial shed used as wooden industry, located in the city of Medianeira - PR. A lightening technique project was proposed using a set of lamps and luminaries, appropriate to each work environment of the industry. Through verifying the lightening economic efficiency, which showed a representative indicator of the cost of lightning energy production, the actual system of lightning installed was compared to the projected one. This indicator compared the amplification of the actual system, n considering its amplification to attend the minimum level of lightning standardized. The proposal that fits this study is the installation of the system projected, considering the standards currently applied, and the update of the equipments installed, as well as the improvement of the lifetime of the new system and a better economic lightning efficiency.

Key-Word: ABNT/NBR ISO 8995-1/2013. Lightening of indoors. Lighting technique. Visual comfort.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1: ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO.....	13
FIGURA 2: CURVA DE SENSIBILIDADE DO OLHO A RADIAÇÕES MONOCROMÁTICAS.	14
FIGURA 3: EXEMPLO DE CURVA DE DISTRIBUIÇÃO LUMINOSA.....	17
FIGURA 4: RELAÇÃO ENTRE ÍNDICE DE REPRODUÇÃO DE CORES E TEMPERATURA DE COR DE ALGUMAS LÂMPADAS.	19
FIGURA 5 - ELEMENTOS DE UMA LÂMPADA FLUORESCENTE TUBULAR.....	22
FIGURA 6: PARTES DA LÂMPADA FLUORESCENTE COMPACTA.	23
FIGURA 7: LÂMPADA DE LUZ MISTA.....	24
FIGURA 8: LÂMPADA INCANDESCENTE.....	24
FIGURA 9: DIAGRAMA POLAR DE LUMINÁRIA PHILIPS PCW 060 COM LÂMPADAS 2XTL5 50W.....	27
FIGURA 10: EXEMPLO DE DELINEAMENTO DE ÁREAS DE TRABALHO E DE ENTORNO EM ESCRITÓRIO.....	36
FIGURA 11: EXEMPLO DE DELINEAMENTO DE ÁREAS DE TRABALHO E DE ENTORNO EM AMBIENTE INDUSTRIAL ÚNICO.....	37
FIGURA 12: ESBOÇO DA ÁREA EXECUTIVA DA INDÚSTRIA MOVELEIRA.....	42
FIGURA 13: ESBOÇO DA ÁREA INDUSTRIAL DA INDÚSTRIA MOVELEIRA.....	43
FIGURA 14: POSICIONAMENTO DE UMA LUMINÁRIA EM UM AMBIENTE DE TRABALHO.....	54
FIGURA 15: POSICIONAMENTO DE VÁRIAS LUMINÁRIAS EM UM AMBIENTE. .	55

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: PLANEJAMENTO DOS AMBIENTES, TAREFAS E ATIVIDADES COM A ESPECIFICAÇÃO DA	30
TABELA 2: FATOR DE DEPRECIAÇÃO.....	33
TABELA 3: FATOR DE UTILIZAÇÃO DA LUMINÁRIA	34
TABELA 4: RELAÇÃO ENTRE A ILUMINÂNCIA RECOMENDADA NAS ÁREAS DE TAREFAS E ÁREAS DE ENTORNO.	36
TABELA 5: TAMANHOS DE GRADE PARA MEDIÇÃO DE ILUMINÂNCIA.	37
TABELA 6: DADOS DAS LÂMPADAS EXISTENTES EM CADA AMBIENTE.	44
TABELA 7: COMPARAÇÃO ENTRE OS NÍVEIS DE ILUMINÂNCIA MEDIDO NO AMBIENTE E O NECESSÁRIO NORMATIZADO.....	49
TABELA 8: DADOS DAS LÂMPADAS ESCOLHIDAS PARA CADA AMBIENTE.	50
TABELA 9: COMPARAÇÃO ENTRE OS NÍVEIS DE ILUMINÂNCIA MEDIDO NO AMBIENTE, O NECESSÁRIO NORMATIZADA E O PROPOSTO NESTE ESTUDO.	53

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1. OBJETIVOS.....	11
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1. CONCEITOS DA LUMINOTÉCNICA.....	12
2.1.1. Conceito de Luz.....	13
2.1.2. Luminância (L).....	15
2.1.3. Fluxo Luminoso (Φ).....	15
2.1.4. Eficiência Luminosa (lm/W)	16
2.1.5. Intensidade Luminosa (I)	16
2.1.6. Curva De Distribuição Luminosa	17
2.1.7. Iluminância (E).....	17
2.1.8. Índice De Reprodução De Cor (IRC)	18
2.1.9. Temperatura De Cor (Tc).....	18
2.1.10. Ofuscamento	19
2.1.11. Reflexão e Fator de Absorção	20
2.2. EQUIPAMENTOS PARA SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL	20
2.2.1. Lâmpadas.....	20
2.2.2. Luminárias	25
2.3. LEGISLAÇÃO VIGENTE SOBRE LUMINOTÉCNICA	28
2.3.1. Segurança do Trabalho	29
2.3.2. Projetos	29
2.4. DIMENSIONAMENTO LUMINOTÉCNICO	31
2.4.1. Dimensionamento de um Ambiente pelo Método de Lumens	31
2.4.2. Metodologia para Medição da Iluminação de Interiores	35
2.5. INDÚSTRIA MOVELEIRA.....	39

3.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	41
3.1.	APRESENTAÇÃO DA INDÚSTRIA MOVELEIRA	41
3.2.	MEDIÇÃO DO NÍVEL DE ILUMINAMENTO NOS AMBIENTES.....	44
3.3.	PROJETO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO DOS AMBIENTES	45
3.4.	ANÁLISE FINANCEIRA DA PROPOSTA	46
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4.1.	MEDIÇÃO DO NÍVEL DE ILUMINAMENTO NOS AMBIENTES.....	48
4.2.	PROJETO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO DOS AMBIENTES	49
4.3.	ANÁLISE FINANCEIRA DA PROPOSTA	56
4.3.1.	Consumo, Fatura Elétrica e Indicadores Econômicos	57
5.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	60

1. INTRODUÇÃO

Os gastos com iluminação são responsáveis pelo consumo de 19% da energia produzida no mundo. Sem que nenhuma atitude de melhoria seja tomada, a estimativa é que esses gastos subam 60% até 2030. (PNUMA, 2012).

Entende-se que esses gastos tão elevados são decorrentes do mau uso dos recursos de iluminação, o que acontece pelo não aproveitamento da luz natural, pelo uso inadequado dos componentes e pelo uso de lâmpadas com baixa eficiência energética. Acredita-se que estes gastos poderiam ser minimizados através do uso de equipamentos que apresentam maior eficiência energética.

A geração de energia elétrica para a iluminação, que ainda acontece também pela queima de combustíveis fósseis, representa mais de 6% das emissões globais de gases do efeito estufa. Estima-se que no mundo todo 19% da energia produzida seja consumida nos sistemas de iluminação. O consumo de energia elétrica no Brasil que em 2010 era de 456,5 mil GWh, tem crescido a uma taxa de 4,8% ao ano, mantendo esse crescimento em 2020 o consumo total de energia chegará a 730,1 mil GWh (EPE, 2012).

Países como Alemanha e Austrália, têm aderido à sugestão da ONU de substituir as tradicionais lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes que são energeticamente mais eficientes. Seguindo esta tendência o Ministério de Minas e Energia (MME) já determinou pelas portarias 1.007, de 31 de dezembro de 2010 e 1.008, de 31 de dezembro de 2010 a extinção das lâmpadas incandescentes de uso residencial, com um programa que incentiva o uso das lâmpadas fluorescentes compactas. O objetivo é que o país economize, até 2030, cerca de 10 TWh/ano (PNUMA, 2012).

Com uma adequação do sistema de iluminação, o consumidor pode alcançar uma economia de até 80% além de contribuir indiretamente com a preservação do meio ambiente reduzindo a emissão de gases provocada pelo uso de combustíveis fósseis e reduzindo a demanda de energia elétrica, considerando-se que no Brasil a energia elétrica é produzida principalmente por hidrelétricas, cuja construção causa grande impacto ambiental, reduzindo a demanda de energia elétrica, reduz-se também a necessidade da construção de novas usinas. O princípio é bastante

simples: a eficiência das lâmpadas incandescentes é de 12 a 13 lm/W, enquanto as lâmpadas fluorescentes compacta chegam a 60 lm/W e as lâmpadas de LED chegam hoje a 80 lm/W e a previsão é que cheguem a 120 lm/W (BRACIER, 2011).

Adequações no sistema de iluminação, através de estudo luminotécnico, contribuem para a eficiência energética do sistema como um todo, reduzindo a demanda solicitada, diminuindo o gasto na conta de energia elétrica, além da melhoria nas condições de trabalho, já que a iluminação interfere diretamente na execução de tarefas que exigem algum esforço visual.

A luminotécnica é responsável por estudar a aplicação dos recursos da iluminação artificial, tanto em ambientes exteriores quanto interiores. A iluminação adequada além de trazer conforto visual, reduz o risco de acidentes. Nos locais de trabalho a iluminação deve estar adequada à atividade realizada, além disso, existem alguns critérios que devem ser observados pelo estudo luminotécnico, como os níveis excessivos de clareamento, que devem ser evitados, bem como, o ofuscamento, que acaba por se tornar inconveniente.

1.1. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo verificar os níveis de iluminamento dos ambientes internos de uma indústria moveleira confrontando os dados medidos com os determinados pela normativa vigente. Verificando-se a necessidade de adequação do sistema de iluminamento, passa-se a objetivar o desenvolvimento de um projeto luminotécnico energeticamente eficiente para a adequação dos níveis de iluminamento do sistema de iluminação. A fim de complementar este trabalho serão confrontados os valores e níveis de iluminamento medidos, projetados e os determinados pela normativa vigente.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A iluminação inadequada no ambiente de trabalho pode levar a redução de rendimento do funcionário que acarreta em perdas para a empresa e também para o próprio indivíduo. A iluminação inadequada, caracterizada pela presença de contraste baixo, ofuscamento e sombras pode levar o indivíduo a fadiga visual e cefaleias (dores de cabeça) devendo ser evitada uma vez que a diminuição do ritmo de trabalho em decorrência da deficiência luminotécnica do ambiente também gera prejuízos para a empresa (TAVARES, 2006).

Em seu trabalho sobre iluminação, Queiroz et. al., (2010), faz um estudo de caso sobre os impactos da iluminação inadequada em ambiente hospitalar havendo a constatação de que a maioria dos ambientes estudados apresenta nível de iluminação abaixo do recomendado pela normativa vigente no período do estudo, a ABNT NBR 5413/92. E concluiu que medidas corretivas deveriam ser tomadas para corrigir o quadro de iluminação ineficiente, sendo as principais medidas propostas o aumento da carga de iluminação, a manutenção preventiva e corretiva das luminárias e lâmpadas.

O método escolhido para realizar os cálculos luminotécnicos foi o método do fluxo luminoso também chamado de método dos lumens, que se baseia na determinação do fluxo luminoso necessário para obter-se o nível de iluminamento médio desejado no plano de trabalho (MAMEDE, 2012).

2.1. CONCEITOS DA LUMINOTÉCNICA

Para que seja possível o entendimento do assunto, alguns conceitos clássicos serão abordados.

2.1.1. Conceito de Luz

A luz é a onda de radiação eletromagnética capaz de produzir uma sensação visual. Apenas alguns comprimentos destas ondas de radiação eletromagnéticas são visíveis ao olho humano. As ondas de menor comprimento intensificam a sensação luminosa principalmente no fim da tarde e à noite, são elas o violeta e o azul. Já as ondas de maior comprimento, que compreendem as cores como laranja e vermelho sensibilizam o olho humano principalmente durante o dia, quando o ambiente está amplamente iluminado (Figuras 1 e 2). (MAMEDE, 2012) A faixa de ondas eletromagnéticas que são visíveis ao olho humano está compreendida entre 380 nm (violeta) e 780 nm (vermelho). Isto significa dizer que, de todos os comprimentos de onda que são emitidos pelo sol apenas os que possuem comprimento de onda compreendido entre 380 nm e 780 nm, serão capazes de sensibilizar a retina de maneira que seja possível ao ser humano identificar cores, como pode ser observado na Figura 1.

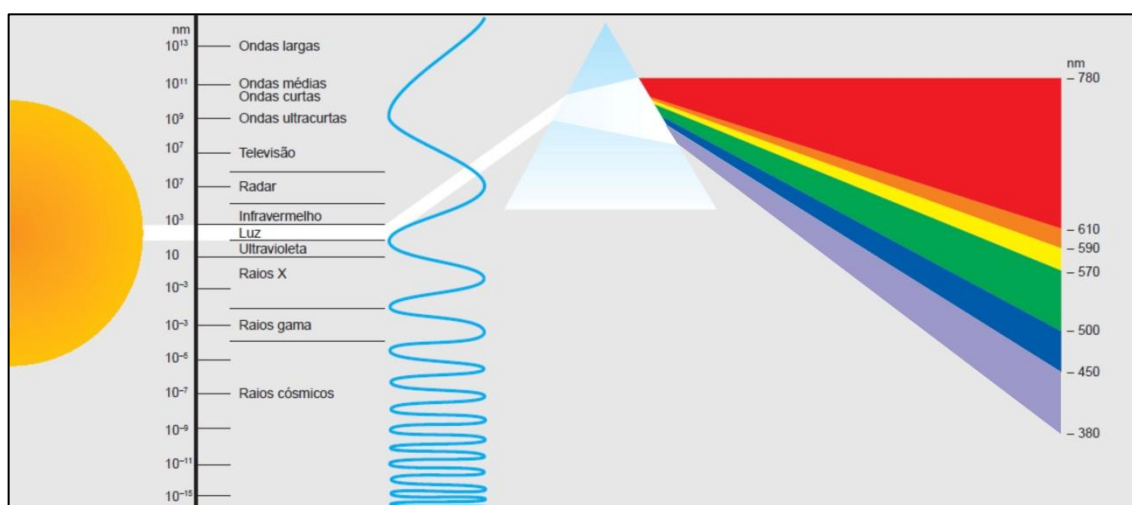


Figura 1: Espectro eletromagnético.
Fonte: OSRAM, 2013.

As cores visíveis ao olho humano são a manifestação dos diferentes comprimentos de ondas a que o ele é sensível, compreendendo a faixa do espectro eletromagnético entre o infravermelho, que são ondas com comprimento imediatamente maior que 780 nm, até o ultravioleta, que são as ondas imediatamente menores que 380 nm.

A curva de sensibilidade do olho humano a radiações monocromáticas demonstra que quando há pouca luz a intensidade de sensação luminosa é maior para as radiações de menor comprimento (violeta e azul) enquanto que havendo muita luminosidade a sensibilidade do olho humano é maior para as radiações de maior comprimento como pode ser observado na Figura 2.

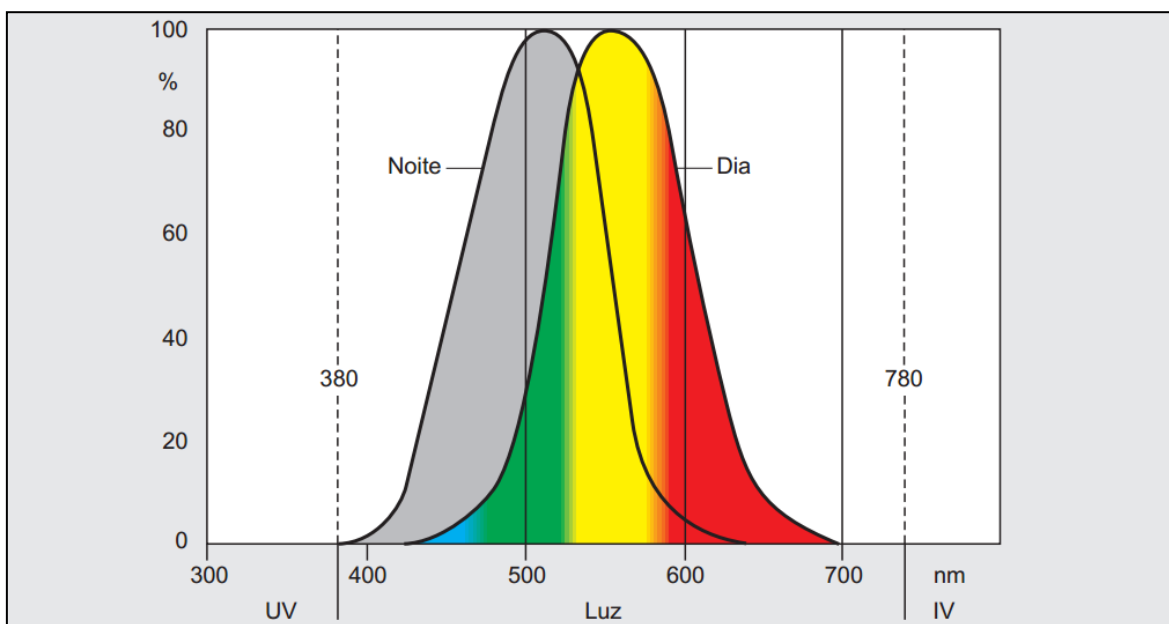


Figura 2: Curva de sensibilidade do olho a radiações monocromáticas.
Fonte: OSRAM, 2013.

Através da Figura 2 é possível que se observe os pontos máximos de sensibilidade do olho humano, sendo que em altos níveis de iluminância, ou seja, durante o dia, a maior sensibilidade está para o comprimento de 555 nm que é entendido pelo organismo humano como a cor amarela, enquanto que em baixos níveis de iluminância, à noite, a máxima sensibilidade do olho humana passa para 508 nm, sendo que a sensibilidade para os tons de verde azul são aumentados, quando comparados com a sensibilidade do olho humano em condições de grandes níveis de iluminamento.

2.1.2. Luminância (L)

A luminância é também considerada o brilho, ou brilhância, e assim como o fluxo luminoso a iluminância só pode ser percebido pelo olho humano quando é refletida numa superfície.

A luminância pode ser definida pela Equação (1):

$$L = \frac{I}{S \cdot \cos \alpha} \quad (1)$$

Onde L é a luminância dada em candela por metro quadrado (cd/m²). I é a intensidade luminosa medida em candela (cd), S é a superfície iluminada, em metros quadrados (m²), e α é o ângulo entre a fonte luminosa e a superfície.

2.1.3. Fluxo Luminoso (Φ)

O fluxo luminoso pode ser entendido como a quantidade de luz emitida, para todos os lados do espaço, por uma fonte luminosa, que pode ser captada pelo olho humano, este é medido em lumens (lm). O lúmen pode ser definido como o fluxo luminoso emitido no interior de um ângulo sólido de 1 esferorradiano (1m²) por uma fonte igual a 1 candela, em todas as direções (CREDER, 2012).

Sendo assim, uma fonte luminosa de intensidade luminosa igual a um candela emite uniformemente 12,56 lumens, ou seja, $4 \pi \times R^2$ lumens sendo R o raio da esfera e tendo este 1m.

2.1.4. Eficiência Luminosa (lm/W)

A eficiência luminosa é a relação entre a quantidade de luz, o fluxo luminoso emitido pela lâmpada e a potência consumida pela mesma, ou seja, é a relação de lúmen emitido para cada watt consumido (lm/W).

É assumido que quanto maior for a eficiência luminosa da fonte de luz, melhor será para o projeto que visa eficiência energética. O Quadro 1 apresenta uma relação de algumas lâmpadas e suas eficiências luminosas.

Lâmpada	Eficiência luminosa (lm/W)
Incandescente	10 a 15
Halógena	15 a 25
Mista	20 a 35
Vapor de mercúrio	45 a 55
Fluorescentes comuns	55 a 75
Vapor metálico	65 a 90
Vapor de sódio	80 a 140

Quadro 1: relação de tipo de lâmpada e eficiência luminosa.
Fonte: Mamede, 2012.

Através da relação entre o tipo de lâmpada e a eficiência luminosa que cada lâmpada apresenta, pode-se observar que as lâmpadas incandescentes apresentam a menor eficiência luminosa, enquanto as lâmpadas de vapor de sódio se apresentam altamente eficientes chegando a emitir 140 lumens por Watt consumido.

2.1.5. Intensidade Luminosa (I)

Esta é a medida da potência de radiação emitida por uma fonte luminosa em uma determinada direção. A unidade de medida é o candela (cd). Na prática observa-se que as lâmpadas não emitem fluxo luminoso uniformemente em todas as direções, sendo que é fácil perceber, através da curva de distribuição luminosa, que algumas direções terão maior intensidade luminosa do que outras, já que o fluxo luminoso é emitido com diferentes intensidades em determinadas direções. (MAMEDE, 2012).

2.1.6. Curva De Distribuição Luminosa

A curva de distribuição é um gráfico, geralmente fornecida pelo fabricante, em que é apresentada a relação de intensidade do fluxo luminoso para cada direção. A lâmpada fica situada no centro deste gráfico que se apresenta como um diagrama polar, conforme apresentado na Figura 3, então são avaliadas as intensidades luminosas em função do ângulo formado com a vertical. As curvas de distribuição são feitas, geralmente, para fluxo luminoso de 1.000 lumens. (CREDER, 2012)

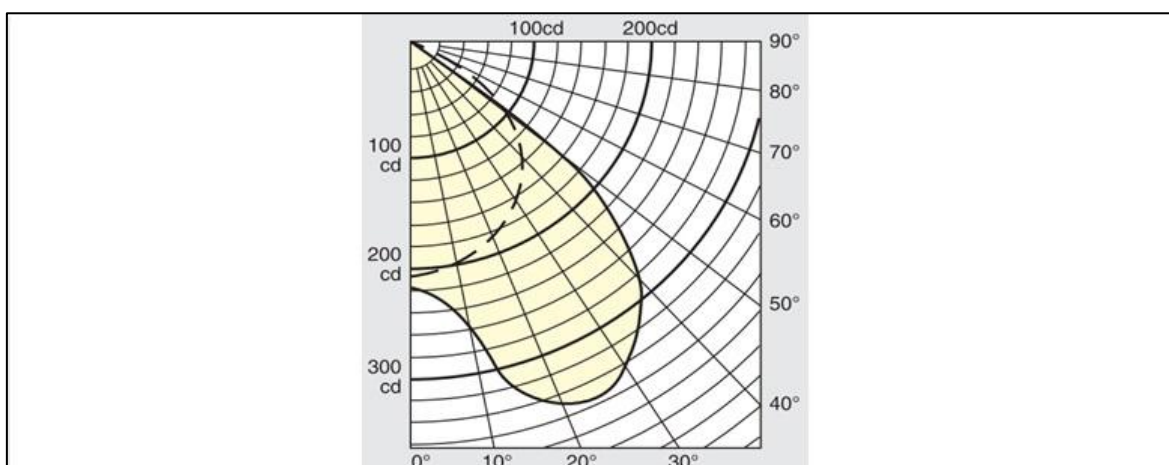


Figura 3: Exemplo de curva de distribuição luminosa.

Fonte: OSRAM, 2013.

A curva de distribuição, através do diagrama polar permite observar a representação gráfica da distribuição espacial da intensidade luminosa.

2.1.7. Iluminância (E)

Esta pode ser encontrada também como nível de iluminamento e tem como unidade o lux. Um lux é o fluxo luminoso de 1 lm irradiado perpendicularmente sobre uma superfície de 1m². Logo:

$$1\text{lux} = \frac{1\text{lm}}{1\text{m}^2} \quad (2)$$

Através da Equação (2) pode-se observar que um lux equivale a um lúmen irradiado em uma área de um metro quadrado.

2.1.8. Índice De Reprodução De Cor (IRC)

Compreende-se como índice de reprodução de cor, a capacidade de a fonte de luz manter ou não a fidelidade a cor real do objeto iluminado, sendo que a luz do sol é o adequado para o olho humano, então a fonte luminosa deve permitir ao olho humano perceber as cores iguais ou muito próximas da luz do dia. Melhor será o índice de reprodução de cores quanto maior for a percentagem apresentada sendo que uma lâmpada que apresenta o IRC de 100% é totalmente fiel a reprodução de cores e quanto menor for este índice menor será a fidelidade de cor do objeto.

2.1.9. Temperatura De Cor (T_c)

Assim é representada a aparência da cor da luz, sendo que a unidade é o Kelvin (K). Existem três temperaturas básicas da luz: quente, média e fria. Sendo a luz quente aquela que tem temperatura de 3.000 K ou menos, esta tem aparência amarelada. A luz fria apresenta temperatura de cor elevada, acima dos 6.000 K e sua aparência é azul-violeta. Já a luz branca fica na faixa dos 5.800 K e pode ser facilmente vislumbrada ao meio-dia, quando a céu aberto, o sol ilumina as superfícies (PROCEL, 2002).

A Figura 4 mostra a relação entre a temperatura de cor e o índice de reprodução de cor de algumas lâmpadas, material fornecido pela fabricante de lâmpadas Osram.

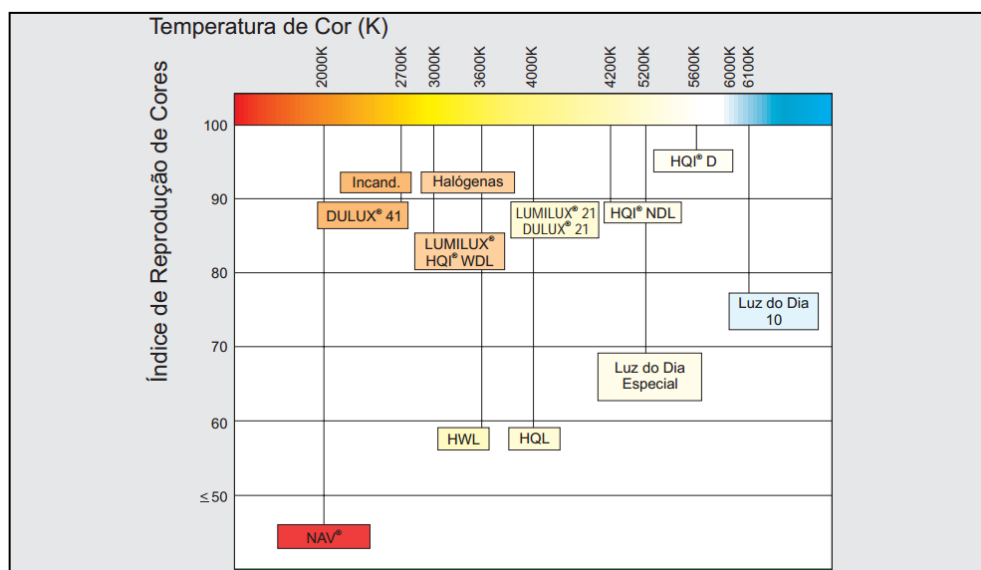


Figura 4: Relação entre índice de reprodução de cores e temperatura de cor de algumas lâmpadas.

Fonte: OSRAM (2013).

Como pode ser visualizado na Figura 4 as lâmpadas que apresentam o melhor IRC são dos tipos: HQI-D com $T_c = 5.600 \text{ K}$, alógenas com T_c entre 3.000 K e 3.600 K e as incandescentes com $T_c = 2.700 \text{ K}$.

Enquanto os piores índices de reprodução de cores são apresentados nas lâmpadas do tipo NAV com $T_c = 2.000 \text{ K}$, HWL com $T_c = 3.600 \text{ K}$ e HQL com $T_c = 4.000 \text{ K}$.

2.1.10. Ofuscamento

Denomina-se como ofuscamento o efeito que uma luz com intensidade luminosa alta causa no olho humano, podendo provocar desde desconforto visual até um ofuscamento inabilitador que deve ser evitado já que pode prejudicar o desempenho nas atividades de trabalho. Este acontece principalmente quando uma fonte luminosa ou o reflexo de uma fonte luminosa está no campo de visão humano.

2.1.11. Reflexão e Fator de Absorção

Reflexão ou refletância é a relação entre o fluxo luminoso refletido por uma superfície e o fluxo luminoso que incide sobre esta superfície (PROCEL, 2002).

O fator de absorção é a relação entre o fluxo luminoso absorvido por uma superfície e o fluxo luminoso que incide sobre ela (PROCEL, 2002).

2.2. EQUIPAMENTOS PARA SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

O sistema de iluminação artificial é composto basicamente pelo conjunto de lâmpadas, luminárias e equipamentos auxiliares. As lâmpadas desempenham papel fundamental de emitir a luz. As luminárias podem ter diversas funções, entre proteção das lâmpadas e dos componentes auxiliares, direcionamento do luxo luminoso além da finalidade estética. Os componentes auxiliares são aqueles que têm a finalidade de permitir ou aprimorar o funcionamento das lâmpadas, por exemplo, pode-se citar os reatores, fundamentais para o funcionamento de algumas lâmpadas.

2.2.1. Lâmpadas

As lâmpadas são fonte de energia luminosa, sendo fundamentais no sistema luminotécnico. As lâmpadas utilizam-se do princípio de transformar energia elétrica em luz. Classificando-as pela maneira como emitem luz tem-se as lâmpadas com filamentos, sejam as incandescentes alógenas ou as tradicionais incandescentes, assim como o sol produzem luz pela incandescência. As lâmpadas de descarga, assim como os relâmpagos, aproveitam a luminescência. E os modernos diodos utilizam os princípios da fotoluminescência assim como os vaga-lumes. Além destas, existem também as lâmpadas mistas que combinam incandescência e

luminescência, e as fluorescentes que combinam fotoluminescência e luminescência para seu funcionamento (PROCEL, 2002).

As lâmpadas podem ser classificadas também de acordo com o desempenho que apresentam nos seguintes quesitos:

- Vida útil;
- Rendimento luminoso;
- Índice de reprodução de cores.

É de extrema importância que se observe os aspectos de vida útil e de eficiência luminosa com atenção, já que são estes os principais aspectos que contribuem para que o sistema de iluminação seja, ou não, energeticamente eficiente (PROCEL, 2002).

Neste trabalho serão abordadas apenas as lâmpadas fluorescentes tubulares, fluorescentes compactas (por serem os tipos de lâmpadas utilizadas na elaboração do projeto) e as lâmpadas incandescentes e lâmpadas mistas (por serem os tipos que estão em uso hoje na empresa junto com lâmpadas fluorescentes tubulares).

a) Lâmpadas fluorescentes tubulares

Estas lâmpadas possuem um par de eletrodos em cada extremo. Um gás ionizado emite radiação ultravioleta que, incidindo sobre uma camada fluorescente na superfície dos tubos de vidro, transforma-se em luz visível. Sua eficiência luminosa que pode superar os 70 lúmen / Watt (PROCEL, 2002). As substâncias que revestem o tubo de vidro e que por consequência emitem a luz são geralmente a base de fósforo, podendo ser ainda:

- Tungstênio de cálcio, que emite uma luz azul-escura;
- Silicato de zinco que emite luz amarelo-verde;
- Borato de cálcio que emite luz róseo-clara.

Dentro do tubo de vidro, além de mercúrio, que se vaporiza no instante da partida, existe argônio, um gás inerte (MAMEDE, 2012). As lâmpadas fluorescentes necessitam de um componente chamado reator pra que seu funcionamento seja

possível, uma vez que há a necessidade de controlar o fluxo de corrente. Este reator deve ser ligado em série com a lâmpada. A Figura 5 mostra os elementos básicos de uma lâmpada fluorescente, base bipino.

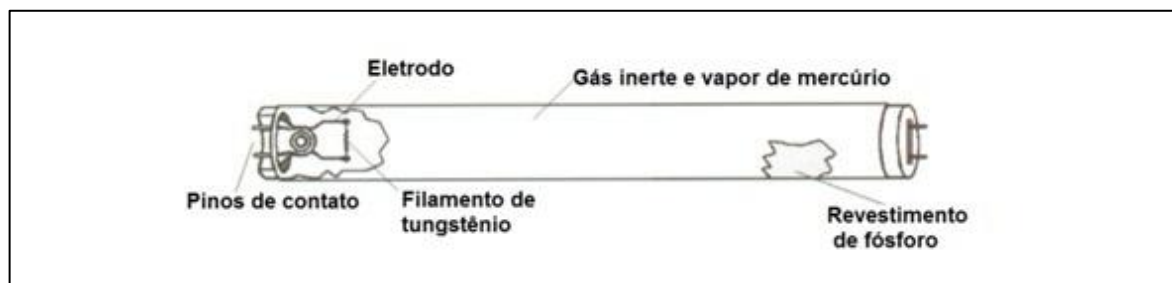


Figura 5: Elementos de uma lâmpada fluorescente tubular.
Fonte: Azuos (2010).

A Figura 5 permite observar a forma construtiva das lâmpadas fluorescentes tubulares, em específico as que possuem revestimento de fósforo, sendo que podem ser outros elementos, conforme descrito anteriormente.

b) Lâmpadas fluorescentes compactas

Estas lâmpadas são iguais às lâmpadas fluorescentes tubulares em funcionamento, sendo que as principais diferenças estão no formato, tendo com o tubo em "U", simples, duplo ou triplo (estes últimos de maior potência) ou ainda na forma circular, como o modelo apresentado na Figura 6, e no fato de o reator já estar incorporado à rosca, com o mesmo formato da rosca das incandescentes comuns. O preço é maior do que as incandescentes comuns, porém a durabilidade é maior, cerca de dez vezes mais (10.000 h) e, para produzir o mesmo fluxo luminoso, apresenta consumo de somente 20% da incandescente (CEPEL, 2002).

A Figura 6 mostra um dos diversos modelos de lâmpadas fluorescentes compactas comercializadas hoje.



Figura 6: Partes da lâmpada fluorescente compacta.
Fonte: Philips (2013).

As lâmpadas fluorescentes compactas que apresentam reator integrado geralmente apresentam também base de rosca E27 e bulbo em tamanho reduzido, a fim de se apresentarem como uma alternativa ao uso de lâmpadas incandescentes.

c) Lâmpadas mistas

As lâmpadas mistas são constituídas por um tubo de arco de vapor de mercúrio em série com um filamento de tungstênio, que tem a função de produzir fluxo luminoso e também serve de elemento de estabilização da lâmpada, limitando a corrente de funcionamento do tubo de arco. Sendo assim, este tipo de lâmpada dispensa o reator. Geralmente são apresentadas a tensões de 230 V, uma vez que tensões menores não são suficientes para ionização do tubo de arco. A eficiência luminosa destas lâmpadas é de aproximadamente 25 a 35 lm/W e sua vida média é de 6.000 h (Moreira, 1999).

Através da Figura 7 pode-se observar um modelo de lâmpada de luz mista disponível no mercado hoje.



Figura 7: Lâmpada de luz mista.
Fonte: Philips (2013).

O modelo mais comum de lâmpada mista apresenta base de rosca e bulbo leitoso.

a) Lâmpadas incandescentes

Emitem luz a partir de um filamento de tungstênio enrolado, geralmente em forma espiralada, preso a um suporte de vidro e envolto por um bulbo de vidro, que pode ser transparente, translucido ou opaco (MAMEDE, 2012) conforme pode ser observado na Figura 8.



Figura 8: Lâmpada incandescente.
Fonte: Elaborado pelo autor.

A luz é emitida quando o enrolamento atinge a incandescência, este processo acontece devido à passagem de corrente elétrica pelo enrolamento que só não queima porque o bulbo de vidro tem a função de manter o filamento hermeticamente fechado, contendo gás inerte geralmente argônio ou criptônio. Este tipo de lâmpada tem eficiência luminosa muito baixa, da ordem de 12 lm/W. Seu custo é baixo, porém sua vida útil, de cerca de 1.000 h, também é baixa (COPEL, 2008).

Devido o seu funcionamento esse tipo de lâmpada apresenta grande perda de energia por calor, tendo sido amplamente utilizada em residências. Hoje o seu uso é desestimulado e no Brasil através da portaria 1.007 de 31 de dezembro de 2010, o ministério de minas e energia (MME) regulamenta o uso deste tipo de lâmpada, sendo desestimulado o uso em instalações residenciais.

2.2.2. Luminárias

As luminárias são itens de grande importância para o sistema de iluminação, uma vez que são destinadas à fixação das lâmpadas e equipamentos auxiliares. As luminárias devem ser selecionadas de acordo com pré-requisitos solicitados no local, tais como estética, modificação do fluxo luminoso da fonte luminosa, facilidade de manutenção e vedação contra umidade ou poeira, por exemplo.

As luminárias podem ser classificadas de diversas maneiras, a fim de simplificar este trabalho a classificação será de acordo com a modificação do fluxo luminoso, características fotométricas e ofuscamento.

a) Características quanto à modificação do fluxo luminoso

Pelas características físicas, as luminárias têm a capacidade de modificar o fluxo luminoso emitido pela lâmpada instalada. Isto acontece porque os materiais utilizados para a construção das luminárias possuem características próprias que

afetam o fluxo luminoso. Por exemplo, se uma luminária tiver um protetor de vidro transparente, parte do fluxo luminoso será refletida para o interior da luminária, uma parte será transformada em calor e a maior parte deve ser dirigida ao ambiente. Sendo assim pode-se classificar as luminárias de acordo com a capacidade de modificar o fluxo luminoso emitido pela lâmpada. (MAMEDE, 2012).

- **Absorção:** Esta característica está diretamente ligada à cor da luminária, quanto mais escura for a parte interna da luminária maior será o fluxo luminoso absorvido por ela.
- **Refração:** Refratores são dispositivos que modificam a distribuição do fluxo luminoso de uma fonte luminosa utilizando o fenômeno da transmitância, pode-se citar como sua principal característica, nas luminárias, a capacidade de alterar o foco do fluxo luminoso. Em muitas luminárias o refrator também tem a função de vedar a luminária proporcionando proteção contra poeira, chuva, poluição e impactos. O melhor exemplo deste tipo de luminária são os faróis de automóveis.
- **Reflexão:** Esta característica pode ser melhorada de acordo com o material empregado no interior da luminária sendo que os espelhados são os mais eficientes, e há a dependência do formato geométrico (parabólica, elíptica etc.) da superfície interna para fazer a distribuição do fluxo luminoso.
- **Difusão:** Este é o efeito que pode ser conseguido com uma placa de acrílico ou vidro, e tem a função de reduzir o brilho da luminária, o que deve também diminuir os efeitos indesejados do ofuscamento.
- **Louvers:** Estas luminárias possuem painel com aletas geralmente de material metálico ou plástico esmaltado na cor branca. As funções principais são impedir que a lâmpada seja vista pelo observador a partir de determinado ângulo e operar como refletor tornando a curva luminosa bastante ampla, diminuindo então as diferenças de níveis de iluminação

entre os espaços sem luminárias e os espaços imediatamente abaixo das mesmas.

b) Características fotométricas

Quando o conjunto lâmpada-luminária é instalado, as características físicas destes fazem com que o fluxo luminoso seja não uniforme, gerando áreas no plano de trabalho onde a intensidade luminosa terá valores diferenciados. A distribuição do fluxo luminoso para cada luminária é apresentada na forma de diagrama polar, em que a luminária fica posicionada no centro e a intensidade luminosa é demonstrada através das várias direções consideradas, como se pode observar na Figura 9 (MAMEDE, 2012).

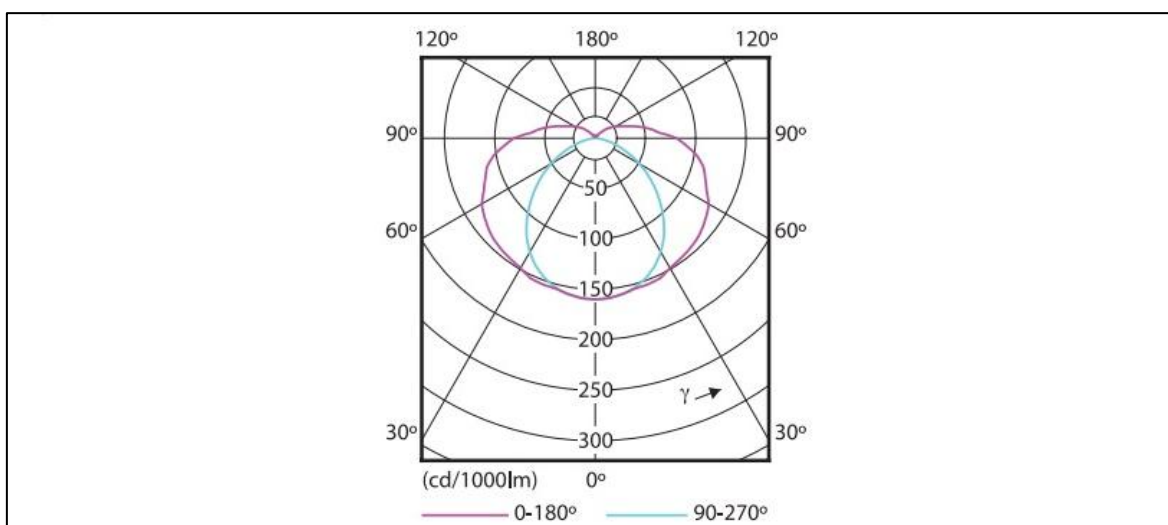


Figura 9: Diagrama polar de luminária Philips PCW 060 com lâmpadas 2x15 50 W.
Fonte: Philips, 2013.

A Figura 9 representa a curva de intensidade luminosa da luminária Philips PCW 060 e por meio de um único diagrama polar trás informações sobre o espalhamento da luz nos sentidos transversal e longitudinal, a linha vermelha representa o espalhamento transversal da luz enquanto a linha azul o longitudinal. a representação longitudinal

Conhecer o comportamento da luz em relação à luminária torna possível controlar a direcionalidade do fluxo luminoso nos ambientes onde as luminárias serão instaladas, através da curva de distribuição da luminância da luminária pode-se determinar o comportamento esperado do conjunto lâmpada – luminária, estimando os locais que receberão maior fluxo luminoso.

c) Ofuscamento

O ofuscamento é um efeito causado pela luz no olho humano e que pode se tornar bastante desconfortável em decorrência do intervalo de tempo a que o indivíduo fica exposto ao evento. O ofuscamento direto, que é aquele em que o indivíduo pode olhar diretamente para a fonte luminosa, pode ser evitado com cuidados simples na escolha das luminárias, por exemplo, as que possuem vidros difusores ou opacos, acabam por reduzir ou eliminar este efeito.

2.3. LEGISLAÇÃO VIGENTE SOBRE LUMINOTÉCNICA

Uma boa iluminação proporciona a visualização correta e adequada do ambiente e da tarefa que está a desempenhar. A iluminação deve proporcionar também conforto visual, bem estar e segurança para que a tarefa seja realizada de maneira precisa e eficiente. Deve-se prestar atenção na quantidade e na qualidade da luz, sendo necessário prover níveis suficientes de iluminância, e atentar para as características como o índice de reprodução de cores das lâmpadas e os níveis de ofuscamento.

2.3.1. Segurança do Trabalho

Os parâmetros estabelecidos na NBR-17 têm o objetivo de possibilitar que os ambientes de trabalho sejam adaptados de maneira que o trabalhador tenha o máximo de conforto e segurança ao desempenhar as tarefas pertinentes. A referida norma estabelece que todos os locais de trabalho devem ser iluminados adequadamente de acordo com a natureza da atividade realizada. Além de que a iluminação deve ser difusa e bem distribuída, de forma que sejam minimizados os seguintes efeitos: ofuscamento, reflexos incômodos, sombras e contrastes excessivos (ABNT, 2007).

2.3.2. Projetos

Os projetos luminotécnicos são elaborados seguindo as recomendações das normas vigentes. Para que seja possível realizar os cálculos luminotécnicos alguns requisitos devem ser observados nas normas, os itens seguintes trazem as informações das normas que serão utilizadas neste trabalho.

A norma brasileira ABNT/NBR 5410/2008 - Instalações Elétricas de Baixa Tensão - regulamenta os aspectos elétricos de instalações residenciais, comerciais e industriais visando manter a segurança dos envolvidos, dos equipamentos e da estrutura onde a instalação está/será realizada. A partir desta norma serão seguidos critérios para a correta escolha das luminárias, levando em conta a isolação das luminárias de acordo com as condições de umidade do local. A fixação dos equipamentos para iluminação deve ser feita de maneira segura e adequada para as condições da instalação (ABNT, 2008).

Os requisitos para iluminação recomendados para cada ambiente são apresentados pela norma da ABNT/NBR ISO 8995-1/2013 publicada em 2013. Tais requisitos estão especificados na forma de tabela dentro da seção cinco da referida norma que faz recomendações de iluminação mínima para diversos ambientes. Dentre os ambientes citados pela norma existe a Marcenaria e indústria de móveis

(objeto deste estudo) além de várias outras atividades como restaurantes e hotéis, escritórios, aeroportos, indústrias de alimentos, entre outros. Por tratar-se de uma tabela bastante extensa, contendo 31 itens, em 10 páginas optou-se por reproduzir neste estudo apenas a parte pertinente a este trabalho. A Tabela 1 mostra o nível de iluminação indicado (\bar{E}_m), o índice de ofuscamento unificado (UGR_L) e o índice de reprodução de cores (IRC).

Tabela 1: Planejamento dos ambientes, tarefas e atividades com a especificação da iluminância, limitação de ofuscamento e qualidade da cor.

Tipo de ambiente tarefa ou atividade	\bar{E}_m lux	UGR_L	IRC	Observações
Marcenaria & indústria de móveis				
Processo automático, por exemplo: secagem na fabricação de madeira compensada	50	28	40	
Poços de vapor	150	28	40	
Sistemas de serras	300	25	60	Prevenir contra os efeitos estroboscópicos.
Trabalho de marceneiro em bancos de carpintaria, colagem montagem.	300	25	80	
Polimento, pintura, marcenaria de acabamento.	750	22	80	
Trabalho em máquinas de marcenaria, pó exemplo: torneiar, acanelar, desempenar, rebaixar, chanfrar, cortar, serrar afundar.	500	19	80	Prevenir contra os efeitos estroboscópicos.
Seleção de madeira folheada, marchetaria, trabalhos de embutir.	750	22	90	T_{cp} no mínimo 4.000 K
Controle de qualidade	1.000	19	90	T_{cp} no mínimo 4.000 K

Fonte: ABNT/NBR ISO-8995/1, 2013. Adaptado pelo autor.

É possível observar diferenças da iluminância a ser mantida na superfície devido à diferença entre a exigência visual de cada tarefa a ser executada.

Para o cálculo luminotécnico será necessário estimar a depreciação do conjunto lâmpada-luminária-equipamento auxiliar. Esta depreciação ocorre pelo simples uso do equipamento e sofre grande influência do ambiente sendo que fatores como o acúmulo de poeira e o intervalo entre as manutenções são decisivos para se determinar o valor do fator de manutenção. A ABNT/NBR ISO 8995-1/2013 determina que o fator de manutenção calculado não seja menor que 0,70.

Além disso, o projetista deve estimar e programar a limpeza das luminárias e do ambiente, especificando o método de limpeza. E também a frequência indicada para a substituição das lâmpadas (BRASIL, 2013).

2.4. DIMENSIONAMENTO LUMINOTÉCNICO

O dimensionamento luminotécnico deve ser feito, sempre buscando a conformidade com as normativas vigentes sobre o assunto. Os critérios de qualidade da iluminação são apresentados na norma ABNT/NBR ISO 8995-1/2013 enquanto a metodologia para dimensionamento do sistema de iluminação é apresentada na ABNT/NBR 5410/2005, sendo o método de lumens aquele adotado pela norma citada e usado neste estudo. Os critérios aqui apresentados definem os aspectos quantitativos - como níveis de iluminamento - e também os aspectos qualitativos - como níveis de ofuscamento, índice de reprodução de cor, e temperatura de cor. Os níveis qualitativos da iluminação estarão visando o conforto visual dos usuários.

2.4.1. Dimensionamento de um Ambiente pelo Método de Lumens

O método de lumens se baseia no fluxo luminoso necessário para que o plano de trabalho apresente o iluminamento médio necessário à boa visualização do objeto manipulado pelo operador. O fluxo luminoso total é determinado pela Equação (3):

$$\varphi_{\text{total}} = \frac{\bar{E}_m \cdot S}{F_{\text{dl}} \cdot F_u} \quad (3)$$

Onde φ_{total} é o fluxo total a ser emitido pelas lâmpadas, em lumens (lm), \bar{E}_m é o iluminamento médio requerido pelo ambiente a iluminar, em lux, S é a área do

recinto, em metros quadrados (m^2), F_{dl} é o fator de depreciação do serviço da luminária e F_u é o fator de utilização do recinto.

Dentre as grandezas apresentadas na equação, a área é dada pela simples multiplicação das arestas do ambiente, quando regulares, ou com auxílio de softwares especialistas.

Os níveis qualitativos da iluminação usados pela Equação (3) visam o conforto visual dos usuários, por este motivo são apresentados na norma ABNT/NBR ISO 8995-1/2013. A iluminância ou iluminamento são determinados através da necessidade do ambiente. Neste estudo é necessário determinar os níveis de iluminamento para o escritório, cozinha, banheiro e para o ambiente unificado da indústria. O Quadro 2 será a fonte de consulta para a determinação dos níveis de iluminância média que deve ser mantida nos ambientes estudados.

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	\bar{E}_m	UGR _L	IRC	Observações
1. Áreas gerais da edificação				
Saguão de entrada	100	22	60	
Sala de espera	200	22	80	
Áreas de circulação e corredores	100	28	40	Nas entradas e saídas estabelecer uma zona de transição a fim de evitar mudanças bruscas
Escadas, escadas rolantes e esteiras rolantes	150	25	40	
Refeitório / Cantinas	200	22	80	
Salas de descanso	100	22	80	
Vestiários, banheiros, toaletes	200	25	80	
Enfermaria	500	19	80	
Depósitos, estoques, câmara fria	100	25	60	200 lux se forem continuamente ocupadas
Expedição	300	25	60	
2. Marcenaria & Indústria de móveis				
Processo automático	50	28	40	
Poços de vapor	150	28	40	
Sistema de serras	300	25	60	Prevenir contra os efeitos estroboscópicos.
Trabalho de marceneiro em bancos de carpintaria, colagem, montagem	300	25	80	
Polimento, pintura, marcenaria de acabamento	750	22	80	
Trabalho em máquinas de marcenaria, por exemplo: tornear, acanelar, desempenar, rebaixar, chanfrar, cortar, serrar afundar	500	19	80	Prevenir contra os efeitos estroboscópicos.
Seleção de madeira folheada, marchetaria, trabalhos de embutir	750	22	90	T_c no mínimo 4.000 K
Controle de qualidade	1.000	19	90	T_c no mínimo 4.000 K

Quadro 2: Planejamento de iluminância dos ambientes.

Fonte: ISO 8995-1/2013. Adaptado pelo autor.

Para a realização do planejamento luminotécnico dos ambientes é necessário que se determine a tarefa ou atividade, não havendo na Tabela uma atividade exatamente igual deve-se procurar por uma similar. Através do **Quadro 2: Planejamento de iluminância dos ambientes**. Quadro 2 será possível determinar o nível de iluminância média mantida (\bar{E}_m) mínimo, o IRC mínimo e o ângulo de corte indicado para a luminária (UGR_L).

Verificado o nível adequado de iluminamento, o próximo passo é a escolha das lâmpadas e luminárias que o projetista usará para o dimensionamento luminotécnico, serão observados os dados de eficiência luminosa, potência elétrica, índices de ofuscamento, de reflexão de cores, temperatura da cor emitida, tabelas para obtenção do fator de utilização, entre outras informações construtivas. Importante destacar, nesta etapa, o cálculo do fluxo luminoso emitido pela luminária escolhida.

Assim como determinado pela ABNT/NBR ISO 8995-1/2013 a depreciação de serviço (F_{dl}) faz parte do método de lumens e também consta na equação (3). O fator de depreciação é a razão do iluminamento médio no plano de trabalho contado o tempo de uso do sistema de iluminação. O período de manutenção que será adotado pelo projetista, conforme Cotrim (2009) e Creder (2012) e o tipo de ambiente influenciam diretamente no fluxo luminoso resultante no plano de trabalho. Desta forma estes autores propõe uma tabela que relaciona tais fatores com a depreciação do sistema de iluminação. A Tabela 2 apresenta os possíveis valores de depreciação a serem adotados pelo projetista.

Tabela 2: Fator de depreciação

Estado de conservação	Período de Manutenção (horas)		
	2.500	5.000	7.500
Limpo	0,95	0,91	0,88
Normal	0,91	0,85	0,80
Sujo	0,80	0,66	0,57

Fonte: Creder, 2012. Adaptada pelo autor.

Outro fator ponderante do método de Lumens é o fator de utilização do recinto (F_u) ou coeficiente de utilização. Este diz respeito à relação entre o fluxo luminoso emitido pela fonte luminosa e o fluxo luminoso que chega ao plano de trabalho. O fator de utilização vai ser dependente das dimensões do ambiente (fator

do local – k), das cores do ambiente e sua forma de propagação da energia luminosa (índice de reflexão de cores) e, também, do tipo de luminária escolhido.

Para obter o fator do local (k), utiliza-se a equação (4).

$$k = \frac{(C \cdot L)}{((C + L) \cdot A)} \quad (4)$$

Onde C é o comprimento do local, medido em metros (m), L é a largura do local, em metros (m) e A é a distância vertical da luminária ao plano de trabalho, em metros (m).

Quando o valor k não coincidir com o k apresentado na tabela de determinação do fator de utilização (F_u) do fabricante, admite-se o valor mais próximo.

O Quadro 3 apresenta os índices de reflexão de cada tipo de superfície, também utilizados na determinação do fator de utilização.

Índice	Reflexão	Significado
10	10%	Superfície escura
30	30%	Superfície média
50	50%	Superfície clara
70	70%	Superfície branca

Quadro 3: Determinação do coeficiente de utilização

Fonte: Creder, 2012.


As cores do ambiente, teto, parede e piso, nesta ordem, vão gerar os dados necessários para a determinação do índice do recinto. Então um recinto com paredes brancas, teto claro, e piso escuro, por exemplo, vai ter: 50% de reflexão no teto, 70% de reflexão nas paredes e 10% de reflexão no piso. (CREDER, 2012)

A determinação do fator de utilização será feita através de tabelas fornecidas pelos fabricantes das luminárias e dependem da forma construtiva de cada luminária, bem como do material empregado na sua construção. As tabelas utilizadas são semelhantes à Tabela 3 que apresenta um exemplo indicado para o modelo de luminária estudado.

Tabela 3: Fator de utilização da luminária

(Continua)

Tipo de luminária	<i>RT</i>	70		50		70	50	30
	<i>RP_a</i>	50	30	50	30	10	10	30 10
	k	<i>RP_i</i> = 10%						

HDK 472	0,6	0,5	0,46	0,5	0,45	0,42	0,42	0,45	0,42
	0,8	0,58	0,53	0,57	0,52	0,49	0,49	0,52	0,49
	1	0,63	0,59	0,62	0,58	0,56	0,55	0,58	0,55
	(conclusão)								
	1,25	0,68	0,64	0,67	0,63	0,61	0,61	0,63	0,6
Tipo de luminária	RT	70	50	70	50	30			
	RP_a	50	30	50	30	10	10	30	10
	k	$RP_i = 10\%$	0,74	0,75	0,73	0,71	0,71	0,72	0,7
		2,5	0,8	0,77	0,78	0,76	0,75	0,74	0,75
	3	0,82	0,8	0,8	0,79	0,78	0,77	0,77	0,76
	4	0,84	0,82	0,82	0,81	0,81	0,8	0,8	0,79
	5	0,85	0,84	0,83	0,82	0,83	0,81	0,81	0,8

Fonte: Mamede, 2012. Adaptado pelo autor.

No momento de determinar o índice do recinto, deve-se observar qual a percentagem de reflexão do teto, das paredes e do piso do recinto, todos estes dados permitirão que, através do uso de tabelas, se identifique qual o valor do fator de utilização da luminária.

O método de lumens prevê a construção da matriz de distribuição de luminárias, que apresenta as distâncias de separação entre as luminárias, bem como entre elas e as paredes.

2.4.2. Metodologia para Medição da Iluminação de Interiores

A verificação da iluminância apoia-se na ABNT/NBR ISO 8995-1 de 2013 e deve seguir algumas etapas, dentre elas a determinação das áreas gerais e de tarefa, construção da matriz de medição e determinação da altura de medição (normalmente o plano de trabalho).

Para determinar quais são as áreas de tarefa e áreas de entorno. Verifica-se que a área de tarefa é o local onde a tarefa ou trabalho é realizado, sendo que o entorno imediato considerado como a área ao redor da tarefa dentro do campo de visão, devendo ser considerados pelo menos 0,50 metros de largura, conforme recomendação da ABNT/NBR ISO 8995-1/2013.

A iluminância no entorno imediato deve estar relacionada com a iluminância da área de tarefa, sendo que não deve haver mudanças drásticas nas iluminâncias

ao redor da área de tarefa, pois podem levar a um esforço visual estressante e desconforto. (BRASIL, 2013) Conforme a normativa estipula a iluminância mantida das áreas do entorno imediato pode ser mais baixa que a iluminância da área da tarefa, mas não pode ser inferior aos valores dados na Tabela 4.

Tabela 4: Relação entre a iluminância recomendada nas áreas de tarefas e áreas de entorno.

Iluminância da tarefa (lux)	Iluminância do entorno (lux)
≥ 750	500
500	300
300	200
≤ 200	Mesma iluminância da área de tarefa

Fonte: ABNT/NBR ISO 8995-1/2013.

As áreas serão consideradas conforme sugere a normativa vigente. Sendo que para o escritório considera-se que o local de trabalho é desconhecido na etapa de projeto então considera-se a sala toda sendo a marginal de largura 0,50 m ignorada e a altura do plano de trabalho considerada de 0,75 m. (BRASIL, 2013). Conforme a Figura 10:

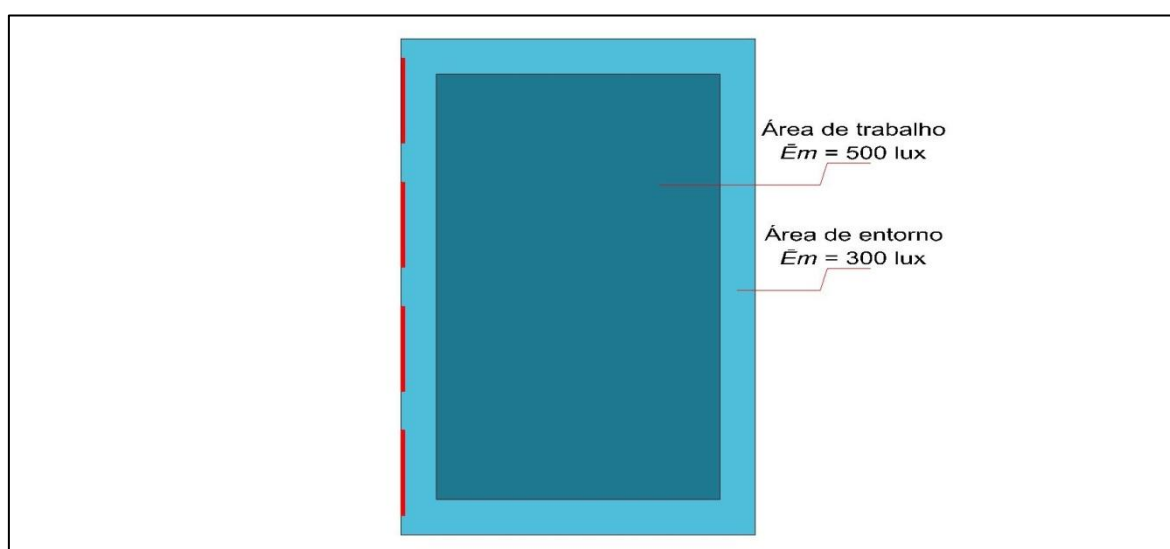


Figura 10: Exemplo de delineamento de áreas de trabalho e de entorno em escritório.

Fonte: ABNT/NBR ISO 8995-1/2013. Adaptado pelo autor.

Na área da indústria considera-se a variedade de trabalhos executados no mesmo ambiente, sendo que as imediações formam uma faixa de 0,50 m ao redor da área de trabalho, ainda que haja iluminação específica para cada tarefa recomenda-se a instalação de iluminação genérica para todo o recinto, garantindo

iluminação suficiente em todos os locais. A Figura 11 exemplifica a situação de várias áreas de tarefa consideradas como uma única área de trabalho.

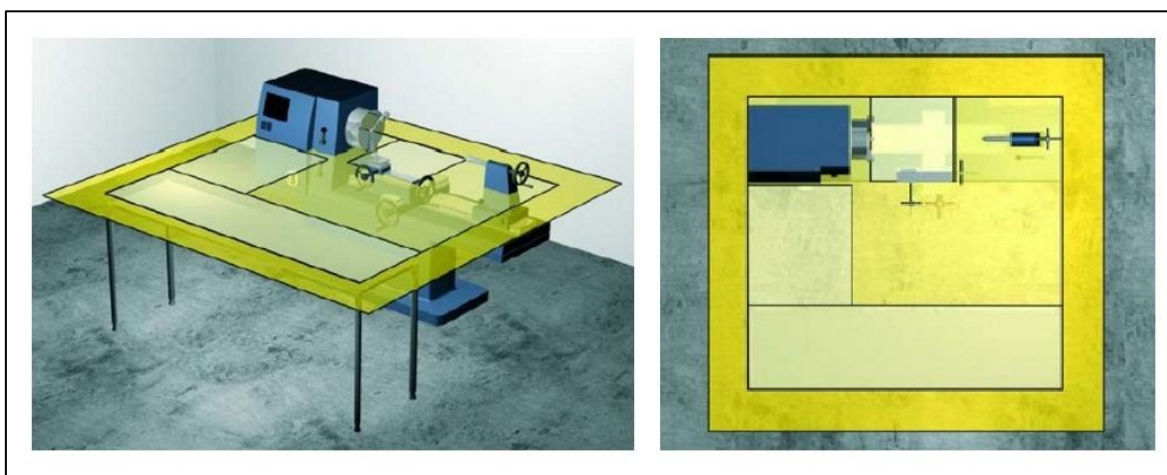


Figura 11: Exemplo de delineamento de áreas de trabalho e de entorno em ambiente industrial único.

Fonte: ABNT/NBR ISO 8995-1/2013.

Em seguida é necessário que sejam conhecidas a forma e as dimensões do recinto, uma vez que estes dados influenciarão diretamente no processo de coleta de dados. Com posse destas informações é possível construir a grade para elaboração de projeto em *softwares* e verificação do nível de iluminância nas instalações. Esta grade será necessária para determinar as iluminâncias e uniformidades médias. Deve-se considerar como base para o cálculo da grade a superfície de referência, que são as áreas da tarefa, local de trabalho ou arredores. (ABNT/NBR ISO 8995-1, 2013) O tamanho recomendado para salas e zonas de salas é dado na Tabela 5.

Tabela 5: Tamanhos de grade para medição de iluminância.

	Maior dimensão da zona ou sala d	Tamanho da grade 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: ABNT/NBR ISO 8995-1, 2013.

Através das dimensões do recinto será determinada a grade para realizar as medições, os pontos de medição serão inseridos nos centros dos retângulos

gerados. Não é possível exceder o tamanho máximo entre as linhas, procurando ficar de acordo com a Tabela 5.

O tamanho da grade também pode ser determinado pela Equação (5).

$$p = 0,2 \times 5^{\log d} \quad (5)$$

Sendo p o tamanho da grade expresso em metros e d a maior dimensão da superfície de referência (m). O resultado deve fornecer a distância aproximada entre as linhas para que a superfície de referencia seja subdividida em pequenos retângulos, com os pontos de cálculo em seu centro. O resultado será dado depois que se calcular o número de pontos mínimos, através da Equação (6).

$$n = d/p \quad (6)$$

Onde n é o número de pontos de cálculo considerado na grade p , e deve ser o número inteiro mais próximo do valor obtido pela equação.

A partir da grade determinada serão definidos os pontos de medição que devem estar situados no centro dos quadriláteros gerados através da grade calculada. (ABNT/NBR ISO 8995-1, 2013). Caso a área a ser medida não seja um polígono regular de quatro lados, a grade deve ser calculada de forma análoga a partir de um retângulo adequado circunscrito e dimensionado. (ABNT/NBR ISO 8995-1/2013).

Tendo definido os pontos de medição o próximo passo é a coleta de dados, que será feita utilizando se de aparelho apropriado. Os instrumentos de medição utilizados apresentaram-se devidamente calibrados, sendo estes o luxímetro (instrumento de medição de níveis de iluminância), cuja unidade de medida é o “lux” e a fita métrica (instrumento de medição de comprimento). Conforme determina a normativa, as medições de iluminância devem ser realizadas em altura equivalente à do nível habitual de utilização ambiente. Segundo a norma vigente esta altura, quando não conhecida deve ser de 75 cm a partir do chão.

2.5. INDÚSTRIA MOVELEIRA

A fabricação de móveis, de madeira em especial, pode ser considerada a atividade mais tradicional de modificação, de indústria. O processo produtivo, em uma indústria de móveis sob medida se dá em várias etapas:

Estocagem de insumos: os insumos (MDF, tintas, parafusos, papelão, entre outros) são estocados em local reservado para os mesmos, cada qual será estocado em um local próprio de acordo com a fase da produção em que será utilizado.

- Corte das chapas: de acordo com a necessidade as chapas de matéria prima, serão cortadas com serra circular, serra seccionadora, esquadrejadeira, que serve para cortar e frisar.
- Perfilagem e colagem de bordos: afim de esquadrar as peças, ou seja, para garantir que os lados opostos estejam em paralelo e os adjacentes com ângulo reto será feita a perfilagem. Fitas de bordo são coladas nas peças, para isso são utilizadas as máquinas para perfilagem e colagem. Vale ressaltar que as fitas de bordo podem ser coladas manualmente na máquina coladeira de bordo.
- Furação das peças: As peças são furadas, conforme especificação do projeto, para realizar esta tarefa utiliza-se furadeira de mão ou de bancada.
- Pintura: este processo é dividido em três etapas. As peças são lixadas, pintadas, e então passam pelo processo de cura, ou secagem.
- Embalagem: As peças são embaladas com papelão e fita adesiva, o processo pode ser manual ou com auxílio de máquinas.

- Expedição: os produtos, já embalados, são enviados para os respectivos clientes, a montagem é feita *in loco*.

Cada uma dessas fases da fabricação de um móvel é feita com auxílio de equipamentos específicos. Seguindo o projeto de norma ABNT/NBR ISO 8995-1/2013 as atividades e tarefas acima descritas contam com especificações adequadas de iluminância, limitação de ofuscamento e qualidade da cor da iluminação presente.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A coleta de dados da indústria foi feita através de coleta de dados *in loco*, com auxílio de trena. Para a realização da medição da iluminância foi utilizado um luxímetro da Marca Minipa modelo MLM 1011, de propriedade pessoal. Para facilitar o entendimento foram construídos 5 apêndices D, E, F, G e H.

Para realizar o projeto utilizou-se o método de lumens, a normativa vigente e os dados obtidos junto aos fabricantes dos produtos selecionados. Uma última etapa do projeto consiste na comparação econômica entre os sistemas de iluminação. Para tal, será utilizado o cálculo denominado como Indicador Econômico de eficiência luminosa.

3.1. APRESENTAÇÃO DA INDÚSTRIA MOVELEIRA

A indústria moveleira, objeto deste estudo, foi inaugurada em maio de 2001, no município de Medianeira – Paraná e conta, atualmente, com dois ambientes distintos instalados em um barracão industrial. A área industrial (onde a madeira é processada e transformada em bem de consumo acabado) e a área executiva (na qual ficam os escritórios de negócio e a copa). A principal diferença entre as duas áreas é o nível de poeira em suspensão, diferença esta que será utilizada para definir o fator de depreciação do projeto do novo sistema de iluminação.

Na área executiva, onde os níveis de poeira são considerados normais, existem dois banheiros, com tamanhos e *layout* iguais, uma cozinha e um escritório onde se realiza a recepção, os trabalhos de digitação, leitura e processamento de dados. A Figura 12 apresenta o esboço da área executiva.

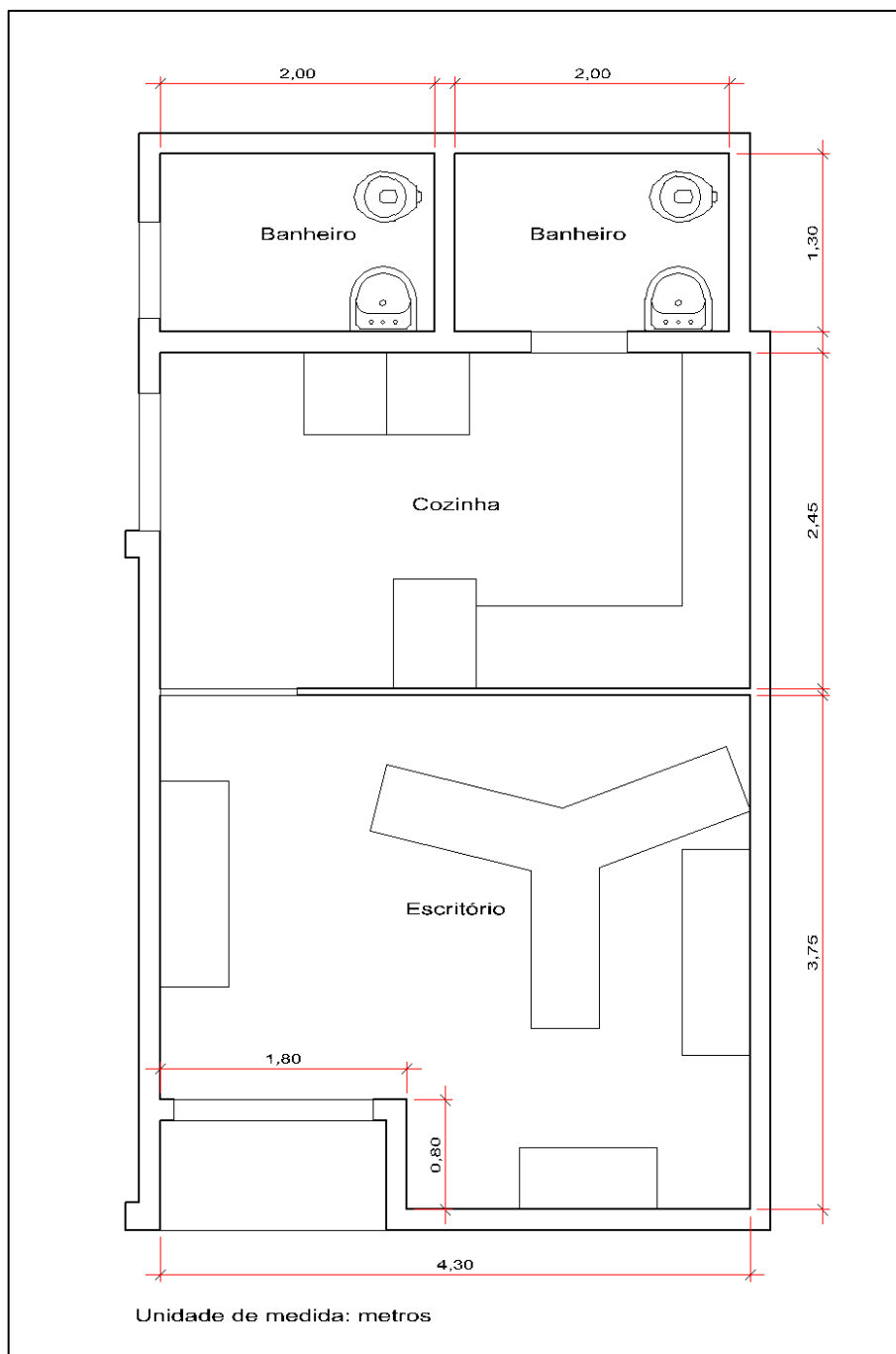


Figura 12: Esboço da área executiva da indústria moveleira.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 12 pode-se verificar a similaridade construtiva dos banheiros, que serão considerados como iguais para os cálculos deste trabalho.

Já na área industrial, que pela natureza das tarefas pode vir a apresentar níveis de poeira em suspensão que a caracterizem como uma zona suja, apresenta-se três ambientes contidos em um único recinto, conforme observado na Figura 13.

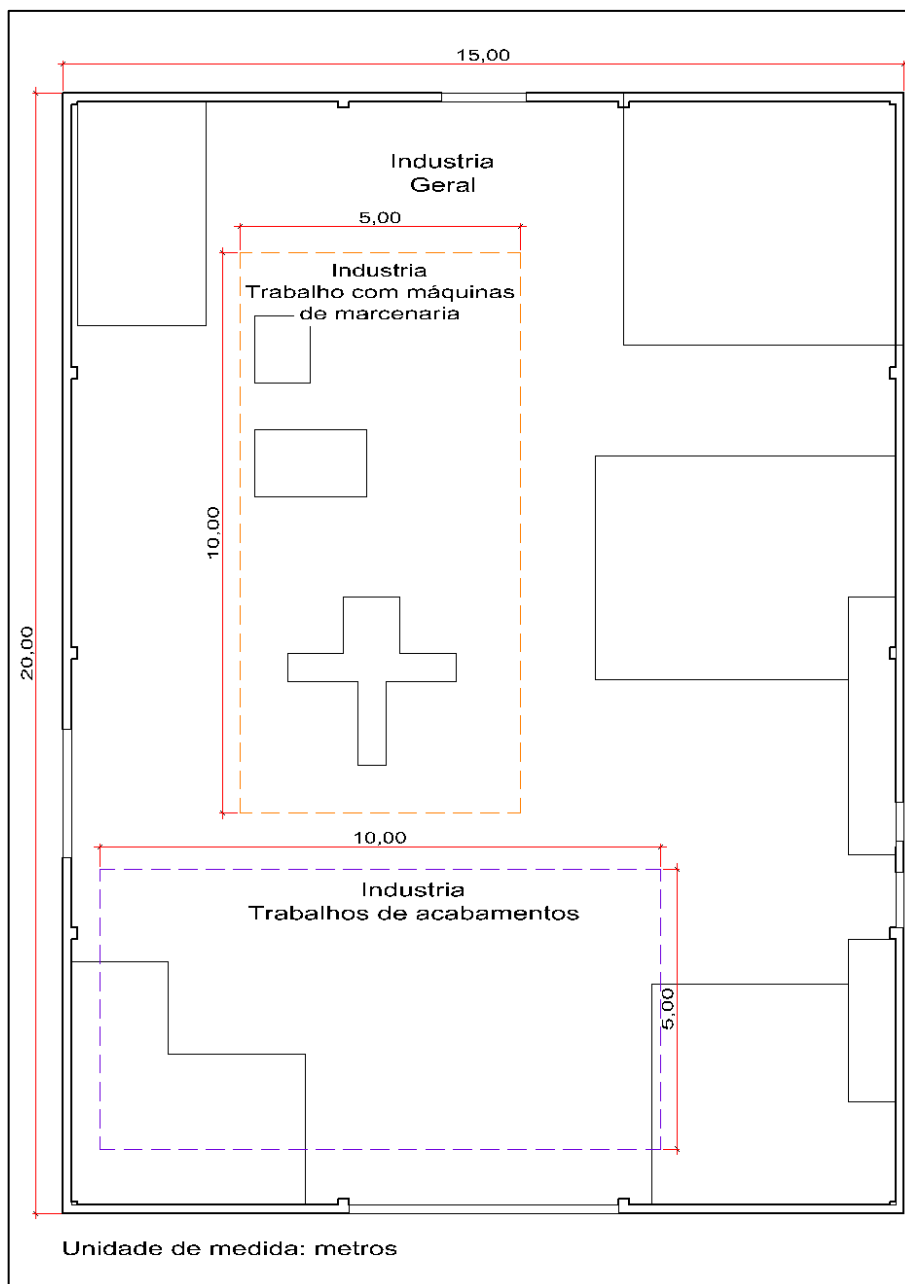


Figura 13: Esboço da área industrial da indústria moveleira.
Fonte: Elaborado pelo autor.

O primeiro ambiente será denominado, neste estudo, como “ambiente industrial geral” que compreende toda a extensão do barracão, é utilizado para os fins industriais e apresentará a iluminação geral do recinto. Na Figura 13 observa-se, ainda, que dentro do barracão existem duas áreas de trabalho com espaço reduzido, a primeira é a área onde se realizam trabalhos com as máquinas de marcenaria, enquanto a segunda área de trabalho verificada é a área de trabalhos de

acabamentos, na qual os móveis são polidos, pintados e recebem os trabalhos de acabamento.

Para facilitar a visualização dos ambientes do barracão foi elaborado o *layout* da edificação e apresentado no Apêndice D – *Layout* da fábrica construído em 12 de dezembro de 2013. As dimensões e posições das áreas de tarefas citadas podem ser verificadas no Apêndice E – Determinação das áreas de tarefa e entorno. A Tabela 6 mostra as características das lâmpadas existentes.

Tabela 6: Dados das lâmpadas existentes em cada ambiente.

Marca	Modelo	Potência	Fluxo luminoso	Eficiência	Temp. de cor	IRC	Vida
Osram	HWL160W	160 W	3.100 lm	17,7 lm/W	3600 K	62	10.000 horas
Osram	CLASSIC A75W	75 W	935 lm	12,46 lm/W	2.700 K	100	1.000 horas
Philips	TLDRS-16W-CO-25	16 W	1070 lm	67 lm/W	4.100 K	66	-

Fonte: Catálogo de produtos Philips® e OSRAM®. Adaptado pelo autor.

As características das lâmpadas foram coletadas nos próprios equipamentos instalados e foram complementados com dados obtidos nos catálogos dos fabricantes.

3.2. MEDIÇÃO DO NÍVEL DE ILUMINAMENTO NOS AMBIENTES

A primeira fase da verificação consistiu na coleta das dimensões do barracão. De posse das dimensões dos ambientes estudados foi possível construir a grade para verificação do nível de iluminância, como pode ser verificado no Apêndice F. O tamanho da matriz depende diretamente da forma e das dimensões do recinto, através da Equação (5).

Para fazer o cálculo da matriz na área industrial, para coleta de dados, foi considerado o fato de o sistema atual ter apenas iluminação geral, sendo então desconsideradas as áreas de tarefa.

Para o escritório e a cozinha, na área executiva, foi utilizado o mesmo princípio, como as dimensões destes ambientes são menores, os valores da matriz também são diferentes. Para representar os valores de dimensão das matrizes

calculadas, as matrizes de cada ambiente foram desenhadas em planta baixa, constantes no Apêndice F deste trabalho.

Para a execução das medições foram utilizados uma trena, para obter as medidas (em metros), e um luxímetro da marca Minipa, modelo MLM-1011, que foi ligado 15 minutos antes do início das medições para que se estabelecessem suas condições normais de funcionalidade. Durante o período de estabilização do equipamento, iniciou-se a marcação dos pontos de medição anteriormente dimensionados. Os resultados obtidos foram plotados em planta baixa, conforme apresentado no apêndice G.

Alguns pontos gerados na matriz de cálculo não foram medidos, uma vez que a presença de objetos muito mais altos que a área de trabalho impediu a medição, como pode ser verificado nos apêndices D (que apresenta o layout da fabricada em 12 de dezembro de 2013, data na qual a medição fora realizada) e G (onde são observados pontos sem valor registrado).

Com os valores de iluminância medidos em cada ambiente foi calculada a iluminância média, encontrada pela média aritmética simples de todas as medições, conforme apresentado na Equação (7) de cada ambiente.

$$\bar{E}_m = \frac{\sum E_m}{N_p} \quad (7)$$

Na Equação (7) \bar{E}_m é a iluminância média e E_m é a iluminância medida, ambas em Lux. Enquanto N_p é o número de pontos medidos.

Os resultados de iluminância média de cada ambiente foram apresentados em uma tabela comparativa destes valores com os normatizados.

3.3. PROJETO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO DOS AMBIENTES

Outra etapa deste estudo foi elaborar o projeto do sistema de iluminação, utilizando o método de lumens e a legislação vigente, bem como a indicação de

fabricantes sobre os modelos indicados de lâmpadas e luminárias para cada ambiente e tarefa distinta.

Para iniciar o projeto do sistema de iluminação foram determinadas as áreas de tarefa e áreas de entorno, conforme a legislação vigente. Dentre estas as áreas de entorno foram consideradas como uma faixa na borda de cada ambiente com dimensão igual a 0,5 m. Estas áreas foram apresentadas em planta baixa, conforme o Apêndice E.

A iluminância de interiores foi determinada para cada ambiente da indústria com base nas áreas (de trabalho e de entorno) estabelecidas. Sendo os valores apresentados pela ABNT/NBR ISO 8995-1/2013. Uma tabela, no capítulo de resultados, mostra os valores escolhidos para cada ambiente.

A escolha das lâmpadas implicou outro item da norma vigente, o atendimento ao índice de reprodução de cores (IRC), fator este que varia conforme a tarefa executada em um ambiente. Este dado também foi apresentado na forma de tabela para facilitar a visualização e comparação dos dados. Uma vez definidos o nível desejado de iluminamento e o conjunto de lâmpadas e luminárias para atender os requisitos supracitados o método de Lumens foi aplicado a cada ambiente.

Sendo os resultados apresentados na forma de tabelas e quadros que apresentam os dados técnicos das luminárias e das lâmpadas, também os dados do ambiente projetado, o cálculo luminotécnico e a matriz de distribuição das luminárias com as distâncias de instalação.

Uma comparação entre os valores de iluminância medidos, projetados e necessários normatizados em cada ambiente é feita, no capítulo de resultados, na forma de quadro comparativo.

3.4. ANÁLISE FINANCEIRA DA PROPOSTA

A análise financeira do projeto consistiu no levantamento dos valores de aquisição do material, análise do consumo de energia elétrica dos sistemas de iluminação existente e proposto, bem como a construção dos indicadores

econômicos que representem o custo unitário da energia elétrica e também da energia luminosa dos dois sistemas luminosos analisados.

Considerou-se que a empresa trabalha em tempo integral, ou seja, 8 horas por dia de segunda à sexta-feira e meio período, 4 horas aos sábados. Sendo utilizado para os cálculos um total de 44 horas semanais e 4 semanas por mês, totalizando 176 horas mensais de trabalho.

A empresa faz parte do grupo B3, que são os consumidores que recebem baixa tensão, até 300 kW por mês. Considerando que a tarifa pesquisada no período do estudo é de R\$ 0,39631 por kWh consumido.

Nesta etapa da pesquisa foram levantados os valores de material para a instalação do novo sistema de iluminação, também foi realizada a análise do consumo de energia elétrica.

Uma comparação entre os sistemas de iluminação, ao atual e o projetado, foi realizada e um indicador que relaciona a quantidade de energia elétrica necessária para produzir o nível de iluminamento desejado em norma foi criado. Desta forma o sistema atual teve sua potência elétrica extrapolada, por regra de três simples, simulando que o sistema atual produzisse o nível de iluminância desejado em cada ambiente. Este cálculo foi denominado Indicador Econômico de Eficiência Luminosa (IEEL).

Como o sistema proposto foi projetado para atender a exigência luminotécnica, a potência elétrica projetada atende o requisito citado. Assim, a análise principal da viabilidade econômica foi feita pela comparação do IEEL do sistema de iluminação existente (extrapolado para atender os quesitos luminotécnicos) e o IEEL do sistema de iluminação projetado. Verificando este estudo, a relação entre eles e apontando a melhor solução para a fábrica, dentre estas: adequar o sistema atual ou adotar o sistema projetado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta os dados coletados na empresa, demonstrando a situação atual do sistema de iluminação em 12 de dezembro de 2013. A medição de iluminância foi realizada com sucesso pondo em prática os métodos de medição citados no Capítulo 3.

O projeto luminotécnico foi realizado conforme descrito no Capítulo 3, apresentando os níveis de iluminamento médio necessário, iluminamento médio existente e o iluminamento médio estimado para o sistema proposto, além das características dos equipamentos utilizados e a disposição das luminárias.

Neste capítulo será apresentada também a análise financeira do sistema de iluminação proposto, bem como a comparação dos indicadores financeiros de ambos os sistemas de iluminação.

4.1. MEDIÇÃO DO NÍVEL DE ILUMINAMENTO NOS AMBIENTES

Conforme apresentado no Capítulo 3, foi definida a matriz de medição considerando a área industrial e segue neste trabalho como Apêndice F – Matriz de Medição da Iluminância. O Quadro 4 apresenta as dimensões das matrizes de medição, por ambiente.

Ambiente	Matriz	Un.
Área Executiva – Banheiros	0,34 x 0,26	m
Área Executiva – Cozinha	0,49 x 0,54	m
Área Executiva – Escritório	0,54 x 0,5	m
Área Industrial – Ilum. Geral	1,5 x 1x53	m

Quadro 4: Dimensionamento da matriz de medição de cada ambiente

Fonte: Elaborado pelo autor

No caso do escritório, que possui superfície de referência não retangular, o tamanho da grade pode ser determinado através de um retângulo adequado

circunscrito, então foram consideradas as maiores medidas do escritório e desconsiderados os pontos de medição que ficaram fora dos limites do ambiente.

A Tabela 7 apresenta a comparação entre a iluminância que é determinada pela normativa vigente e a iluminância medida na empresa.

Tabela 7: Comparação entre os níveis de iluminância medido no ambiente e o necessário normatizado.

Ambiente	Iluminância média medida (atual)	Iluminância necessária⁽¹⁾
Banheiros	43 (WC 1) e 53 (WC 2) lux	200 lux
Cozinha	63 lux	200 lux
Escritório	71 lux	500 lux
Indústria – Geral		300 lux
Indústria – Trabalho com máquinas de marceneiro	31 lux	500 lux
Indústria – Trabalhos de acabamentos		750 lux

Fonte: Elaborado pelo autor

⁽¹⁾: Segundo a ABNT/NBR ISO 8995-1/2013

É possível observar pela Tabela 7 que os ambientes possuem iluminância inferior à exigida pela norma, justificando o estudo luminotécnico da indústria.

4.2. PROJETO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO DOS AMBIENTES

O projeto do sistema de iluminação dos ambientes consistiu na execução do roteiro estabelecido no Capítulo 3.

Para o ambiente dos banheiros optou-se pelo uso de lâmpadas fluorescentes compactas da marca PHILIPS, modelo PLW TWIST 15 W 220V B. Sendo dispensado o uso de luminária, utilizando-se, para fazer a fixação da lâmpada, um soquete fixo de teto da marca Decorlux ® modelo MT2223.

Para a cozinha e o escritório foi escolhida a luminária TBS 263 EcoFIX Slim, da PHILIPS, na versão 2 lâmpadas TL5 com as dimensões 1250x200 mm. Pois apresenta características estéticas agradáveis e *louvers* que têm a função de reduzir os efeitos do ofuscamento direto.

Na área industrial, tanto no barracão (iluminação geral) como na área específica de trabalho com máquinas de marcenaria, as luminárias escolhidas foram da marca PHILIPS, modelo TCW 016 Pendente, que comportam duas lâmpadas de 58 W. A luminária escolhida apresenta grau de proteção IP 65 (hermético com proteção contra jatos d'água, conforme ABNT NBR IEC-60529/2005) tendo sido verificada a necessidade de proteção contra poeira própria do trabalho de marcenaria, possuindo ainda difusor prismático – um redutor do nível de ofuscamento.

Já na área específica de trabalho de acabamentos optou-se por instalar as luminárias do tipo Tecnowatt modelo FCS2/E27 fixada em calha pela parte superior com suporte para duas lâmpadas TL5 (20 a 45 W). Esta luminária também apresenta grau de proteção IP 65, visando proteger as lâmpadas contra poeira e umidade e conta também com difusor prismático.

As lâmpadas foram escolhidas levando-se em conta a eficiência luminosa, o IRC, a tensão de trabalho, o fluxo luminoso emitido e a compatibilidade com a altura da instalação. A Tabela 8 apresenta as características técnicas das lâmpadas escolhidas para cada ambiente, sendo estas, compatíveis com as luminárias adotadas.

Tabela 8: Dados das lâmpadas escolhidas para cada ambiente.

Ambiente	Marca	Modelo	Potência W	Tensão V	Fluxo luminoso lm	Eficiência Luminosa lm/W	Temp. de cor K	IRC	vida média horas
Banheiros	PHILIPS	PLD TWIST	15	220	1.000	67	2.700	82	8.000
Cozinha	PHILIPS	TL5-54W-HO/850	54	220	4.250	93	4.000	85	24.000
Escritório	PHILIPS	TL5-54W-HO/850	54	220	4.250	93	4.000	85	24.000
Indústria Geral	PHILIPS	TL5-58W-840ECO	58	220	5.200	90	4.000	85	15.000
Indústria Marcenaria	PHILIPS	TL5-58W-840ECO	58	220	5.200	90	4.000	85	15.000
Indústria Acabamento	PHILIPS	TWIST	45	220	2.850	63	6.500	80	10.000

Fonte: Catálogo de produtos Philips®. Adaptado pelo autor.

A justificativa para a instalação de lâmpadas diferentes na área de acabamento da indústria a necessidade de luminárias com dimensões menores, logo, optou-se pelo uso de lâmpadas fluorescente compactas. Como na área de

acabamento as tarefas exigem maior fidedignidade à cor real do objeto trabalhado foi escolhida uma lâmpada que, dentro das limitações de dimensão, atendesse ao IRC mínimo estabelecido pela normativa vigente, mesmo apresentando esta lâmpada menor eficiência luminosa, apenas 63 lm.W^{-1} .

O Quadro 5 apresenta o resumo dos dados técnicos usados para o projeto luminotécnico dos ambientes.

Dados técnicos	Área executiva			Área industrial			UN
	Banheiro	Cozinha	Escritório	Iluminação Geral	Marcenaria	Acabamentos	
Comprimento (C)	2.00	4.3	4.3	20	10	5	m
Largura (L_a)	1.30	2.45	3.75	15	5	10	m
Altura útil (h)	1,25	1,25	1,25	3,25	2,75	3,25	m
Área (S)	2,60	10,54	16,125	300	50	50	m^2
Teto escuro (RT)	10%	10%	10%	30%	30%	30%	* ¹
Paredes escuras (RP_a)	30%	30%	50%	30%	30%	30%	* ¹
Piso escuro (RP_i)	20%	20%	20%	20%	20%	20%	* ¹
Fator do local calculado (k)	0,39	0,78	1,001	2,63	1,21	1,025	* ²
Fator do local escolhido (k')	0,35	1,00	1,00	3,00	1,25	1,00	* ²
Coeficiente de Utilização (u)	1	0,53	0,55	0,5	0,34	0,3	* ²
Fator de depreciação (F_{dl})	0,80	0,91	0,91	0,8	0,8	0,8	* ²

Quadro 5: Dados técnicos do projeto luminotécnico dos ambientes existentes.

Fonte: Elaborado pelo autor

Notas *¹ = de refletância

*² = Adimensional

Os dados utilizados nos cálculos, como dimensões dos ambientes, cores das superfícies e níveis de iluminamento do sistema de iluminação instalado foram coletados na empresa estudada neste trabalho, os valores utilizados para a realização dos cálculos pelo método de lumens, como o fator local e o fator de depreciação foram determinados pelo uso de tabelas pertinentes à situação.

O Quadro 6 apresenta o dimensionamento luminotécnico dos ambientes com ênfase no número escolhido de luminárias necessárias.

(Continua)

Dados técnicos	Área executiva			Área industrial			Um
	Banheiro	Cozinha	Escritório	Iluminação Geral	Marcenaria	Acabamentos	
Iluminância média mínima (E_m)	200	300	500	300	200	450	lux
Fluxo da luminária	1.000	8.500	8.500	10.400	10.400	5.700	lm

(Conclusão)

Dados técnicos	Área executiva			Área industrial			Un.
	Banheiro	Cozinha	Escritório	Iluminação Geral	Marcenaria	Acabamentos	
Fluxo no ambiente	650	6.553	16.109	225.000	36.765	93.750	lm
Número mínimo de luminárias	1	1	2	22	4	17	*1
Número de Luminárias escolhido	1	1	2	24	4	18	*1
Iluminância Média projetado	307,7	389,1	527,7	332,8	226,3	492,5	Lux

Quadro 6: Dimensionamento luminotécnico dos ambientes existentes.**Fonte: Elaborado pelo autor.**

Notas *1 = luminárias

Os níveis de iluminação das áreas de tarefa com máquinas de marcenaria e de acabamento foram calculados subtraindo-se do valor total necessário o nível de iluminação (de 300 lux) que será gerado através da iluminação geral da indústria. A iluminação geral da indústria deve alcançar nível mínimo de iluminação de 300 lux, então a área de tarefa de trabalho com máquina de marcenaria que segundo a normativa necessita de 500 lux, terá seu cálculo efetuado de maneira a apenas incrementar os 300 lux já gerados pela iluminação geral, o mesmo vale para a área de tarefas de acabamentos, que precisa de um total de 450 lux segundo a norma ABNT/NBR ISSO 8995-1/2013.

O número de luminárias escolhido diferiu, em alguns ambientes, do número mínimo necessário em virtude da formação da matriz de distribuição das luminárias que, conforme a norma vigente deve caracterizar a difusão da luz e o baixo índice de ofuscamento visual.

Do Quadro 6 verifica-se que os dois banheiros existentes na área executiva necessitam uma única lâmpada fluorescente compacta, cada, com potência individual de 15 W. A cozinha, por sua vez, necessita uma luminária composta por duas lâmpadas fluorescente tubulares de 54 W enquanto o escritório necessita duas luminárias e, por conseguinte, quatro lâmpadas fluorescentes tubulares com potência elétrica igual. A potência instalada em iluminação, na área executiva, conforme projeto, considerando lâmpadas e reatores, será de 369,3 W.

Na área industrial são necessárias 24 luminárias com duas lâmpadas fluorescentes cada, cuja potência elétrica é de 58 W para fazer a iluminação geral do barracão, que será de 332,8 lux, nesta configuração. Na área de trabalho denominada como marcenaria serão adicionadas 4 luminárias iguais com

incremento de 226,3 lux. Desta forma a marcenaria apresentará iluminância projetada de 559,1 lux. Estes valores de iluminância são, aproximadamente, 12% superiores ao valor indicado na norma ABNT/NBR ISO 8995-1/2013 sendo, portanto, aceitáveis, conforme a norma vigente.

Na área de tarefa considerada para a atividade de acabamentos serão acrescentadas 18 luminárias, 36 lâmpadas fluorescentes econômicas. Com este sistema complementar a iluminância projetada para este ambiente será de 825,3 lux, representando uma iluminância 10% superior à normatizada.

Com os dados obtidos nos itens 4.1 e 4.2 do Capítulo 4 foi possível comparar o nível de iluminância existente no ambiente com o projetado, relacionando-os à norma vigente, esta comparação é apresentada na Tabela 9.

Tabela 9: Comparação entre os níveis de iluminância medido no ambiente, o necessário normatizada e o proposto neste estudo.

Ambiente	Iluminância necessária⁽¹⁾	Iluminância média medida (atual)	Iluminância média da proposta (inicial)
Banheiros	200 lux	43 e 53 lux	307,7 lux
Cozinha	200 lux	63 lux	389,1 lux
Escritório	500 lux	71 lux	527,7 lux
Indústria – Geral	300 lux	31 lux	332,8 lux
Indústria – Trabalho com máquinas de marceneiro	500 lux		559,1 lux
Indústria – Trabalhos de acabamentos	750 lux		825,3 lux

Fonte: Elaborado pelo autor

⁽¹⁾: Segundo a ABNT/NBR ISO 8995-1/2013

Da Tabela 9 nota-se que a iluminância medida mostrou que todos ambientes apresentam valores abaixo da norma, enquanto a proposta adéqua esta irregularidade. Havendo a intenção de padronizar os conjuntos de lâmpadas e luminárias, a fim de facilitar a manutenção e compra de materiais de reposição, alguns dos ambientes estudados acabaram por apresentar níveis de iluminação acima dos níveis mínimos estabelecidos em norma.

O Quadro 7 apresenta a forma de distribuição das luminárias nos ambientes estudados, denominada como matriz de distribuição de luminárias.

Dados técnicos	Área executiva			Área industrial			Un.
	Banheiro	Cozinha	Escritório	Il. Geral	Marcenaria	Acabamento	
Matriz de luminárias (linhas)	1	1	2	6	2	6	*1
Distância longitudinal entre Luminárias (b)			2,15	3,33	5,00	1,67	m
Distância longitudinal da Luminária à parede (b/2)	1,00	2,15	1,08	1,67	2,50	0,83	m
Matriz de luminárias (colunas)	1	1	1	4	2	3	*2
Distância transversal entre Luminárias (a)				3,75	2,50	1,67	m
Distância transversal da Luminária à parede (a/2)	0,65	1,23	1,68	1,88	1,25	0,83	m

Quadro 7: Matriz de distribuição das luminárias nos ambientes

Fonte: Elaborado pelo autor

Notas *1 = linhas
*2 = colunas

Como mostrado no Quadro 7 os banheiros e a cozinha apresentam, cada ambiente, apenas uma luminária. Na Figura 14 é apresentado o esquema de instalação da luminária nestes ambientes e a distância medida entre o centro geométrico da luminária e as paredes.

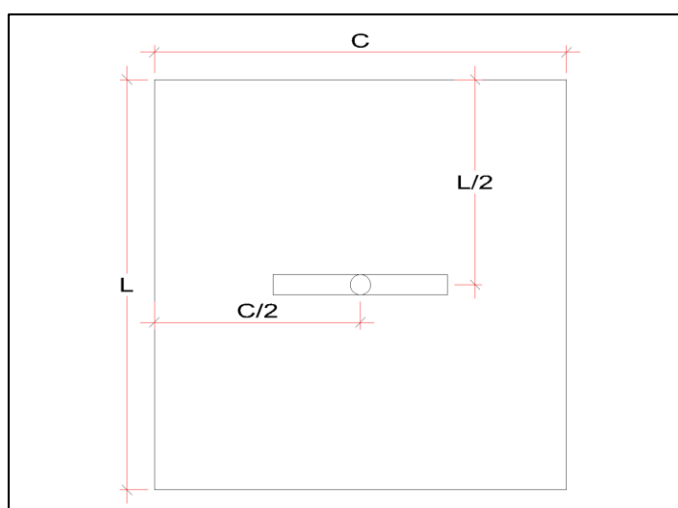


Figura 14: posicionamento de uma luminária em um ambiente de trabalho.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Onde C é o comprimento do ambiente, em m, e L é a largura do ambiente, em m. “C/2”, assim como “L/2”, é a distância entre a parede e a luminária.

Do Quadro 7 verifica-se que os outros ambientes possuem duas ou mais luminárias, cuja distribuição deve seguir a Figura 15.

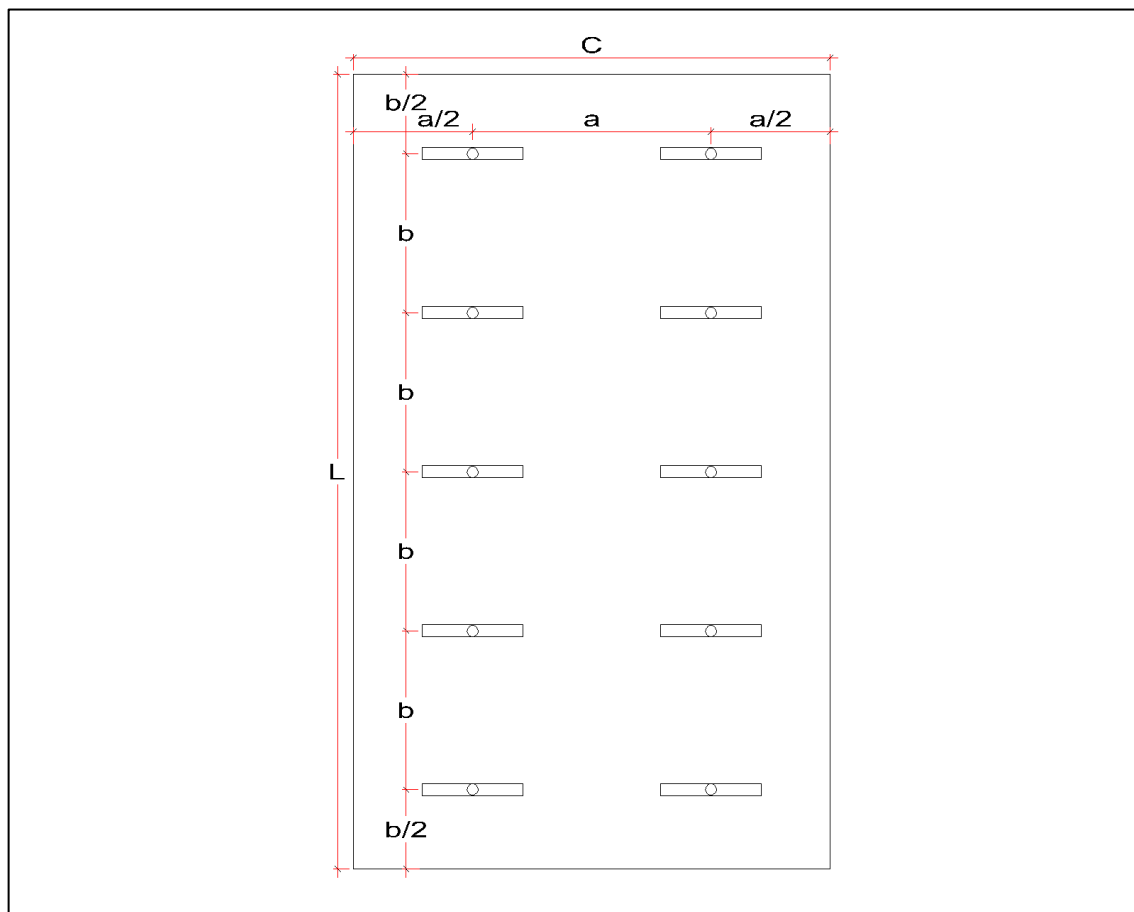


Figura 15: Posicionamento de várias luminárias em um ambiente.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Como observado na Figura 15 “a” e “b” são as distâncias medidas entre duas luminárias, enquanto “a/2” e “b/2” são as medidas, em m, entre as luminárias e as paredes. Também é possível observar que “a” é a medida tomada no sentido transversal do ambiente (aquelas medições realizadas ao longo da largura do ambiente). A grandeza “b”, por sua vez, é a medida tomada no sentido longitudinal do ambiente (aquelas medições realizadas ao longo do comprimento do ambiente).

O layout da indústria com o sistema de iluminação projetado consta no Apêndice H – Layout do Sistema de Iluminação Proposto para a Indústria de Móveis.

4.3. ANÁLISE FINANCEIRA DA PROPOSTA

O Quadro 8 apresenta as características técnicas das luminárias projetadas e seus valores de aquisição.

Área	Marca	Modelo luminária	Qtd.	Preço unitário R\$	Preço total R\$
Banheiros	Decorlux	MT 2223	2	2,50	5,00
Cozinha	Philips	TBS263	1	105,00	105,00
Escritório	Philips	TBS263	2	105,00	210,00
IND. geral	Philips	TCW016	24	111,00	2.664,00
IND. Marcenaria.	Philips	TCW016	4	111,00	444,00
IND. acabamentos	Tecnowatt	FCS 2 E27	18	70,00	1.260,00
				Total:	4.688,00

Quadro 8: Especificação das luminárias propostas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O projeto do sistema de iluminação contemplou 51 luminárias de três marcas diferentes totalizando um investimento de R\$ 4.688,00.

O Quadro 9 traz as características técnicas das lâmpadas escolhidas, bem como seus valores para aquisição.

Área	Marca	Modelo	Qtd.	Potência	Preço unitário R\$	Preço total R\$
Banheiros	Philips	PLWTWIST 15W220B	2	27 W	11,20	22,40
Cozinha	Philips	TL5 HO/850	2	54 W	11,35	22,70
Escritório	Philips	TL5 HO/850	4	54 W	11,35	45,40
Ind. – geral	Osram	L58W/840	48	58 W	14,90	715,20
Ind. – Máq.	Osram	L58W/840	8	58 W	14,90	119,20
Ind. - acabamentos	Philips	TWIST54W 220V865	36	54 W	50,69	1.824,84
					Total	2.749,74

Quadro 9: Especificação das lâmpadas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O Quadro 9 apresenta duas marcas diferentes de lâmpadas, com três tipos de lâmpadas e respectivas potências elétricas. O sistema de iluminação projetado possui 100 lâmpadas e um investimento na aquisição de R\$ 2.749,74.

As lâmpadas tubulares necessitam reatores para o correto funcionamento, neste projeto são necessários reatores nas lâmpadas da cozinha, do escritório, da área geral da indústria e, também da área de máquinas para marcenaria. Desta

forma foram escolhidos os reatores da marca PHILIPS, modelo EL 1/254A 26 para a cozinha e o escritório. Estes reatores possuem fator de potência (FP) igual a 0,98, preço unitário de R\$ 86,48 e consomem uma potência elétrica de 5,1 W.

Os ambientes industriais (geral e marcenaria) foram projetados com reatores da marca Osram modelo QTl DALI DIM, com potência elétrica de 8,12 W e valor comercial de R\$ 74,50 cada.

Desta forma, o investimento necessário para trocar o sistema de iluminação atual pelo projetado é de R\$ 9.783,18.

4.3.1. Consumo e Fatura da Energia Elétrica e Indicadores Econômicos

A indústria apresenta baixo nível de iluminamento devido ao reduzido número de luminárias instaladas, a indústria conta com uma lâmpada incandescente de 75 W no banheiro, uma lâmpada de vapor misto de 160W na cozinha e no escritório e na área industrial encontram-se instaladas 12 lâmpadas fluorescentes E-27 de 16 W cada e três lâmpadas de vapor misto com potência individual de 160 W.

Já os ambientes projetados apresentam maior número de lâmpadas e luminárias para que a iluminância média permaneça dentro da norma vigente. Estão projetadas uma lâmpada fluorescente compacta de 15 W em cada banheiro, duas lâmpadas fluorescentes tubulares T5 com potência de 54 W na cozinha e quatro no escritório. Enquanto que na área industrial são 48 lâmpadas fluorescentes tubulares

O Quadro 10 apresenta as lâmpadas de cada ambiente, de forma comparativa.

(Continua)

Ambiente	Reatores Existentes	Lâmpadas Existentes		Reatores Propostos	Lâmpadas da Proposta	
Banheiro (2 un.)	-	1 x 75 W	Incandescente	-	1 x 15 W	Fluorescente compacta
Cozinha	-	1 x 160 W	Vapor misto	1 x 5,1	2 x 54 W	Fluorescente tubular
Escritório	-	1 x 160 W	Vapor misto	2 x 5,1	4 x 54 W	Fluorescente tubular
Indústria Geral	6 x 3,7 W	12 x 16 W + 3 x 160 W	F. compacta + Vapor misto	24 x 8,12	48 x 58 W	Fluorescente tubular

(Conclusão)						
Ambiente	Reatores Existentes	Lâmpadas Existentes		Reatores Propostos	Lâmpadas da Proposta	
Indústria marcenaria	-			4 x 8,12	8 x 58 W	Fluorescente tubular
Indústria acabamentos	-	-	-	-	36 x 45 W	Fluorescente compacta
Totais		19 Lâmpadas	1.164,2 W		100 Lâmpadas	5.464,66 W

Quadro 10: Comparação entre os reatores e lâmpadas existentes e propostas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se, do Quadro 10, que a potência elétrica do sistema de iluminação instalado é de 1.164,2 W enquanto a nova potência (projetada) é de 5.464,66 W. Isto produz uma relação entre a potência projetada e a instalada de 4,7, ou seja, a potência elétrica projetada é 4,7 vezes maior que a potência instalada.

Por ter maior número de luminárias o projeto de iluminação apresenta também maior consumo de energia mensal, quando relacionado ao sistema existente.

O fluxo luminoso total projetado foi de 421.300 lm sendo o instalado, atualmente, de 30.210 lm. O que proporciona um aumento do nível de iluminamento de aproximadamente 14 vezes.

Exclusivamente com iluminação na empresa estima-se que sejam gastos atualmente, R\$ 81,20. O consumo total de energia com sistema de iluminação projetado, para um mês é de 961,78 kWh, o que gera uma fatura de energia de R\$ 381,16. O sistema projetado aumentará a fatura mensal da indústria a um fator aproximado de 4,7, aumento expressivo, porém necessário para que a iluminância média dos ambientes permaneça dentro dos limites normatizados.

Realizando a projeção de faturamento expandindo o sistema de iluminação atual, conforme apresentado na metodologia, Capítulo 3, por meio de regra de três simples, constata-se que seria necessária ampliação da potência instalada para 16.235,6 W a fim de que os ambientes alcançasse o fluxo luminoso total de 421.300 lm. Este aumento na potência projetada implicaria uma fatura mensal de R\$ 1.132,45, valor este maior que o projetado. Logo, o sistema de iluminação projetado é mais econômico do que a simples expansão do sistema atual (necessária para que o nível de iluminância seja adequado à norma).

O indicador econômico de eficiência luminosa do sistema instalado atualmente é de $372 \text{ lm.R}\$^{-1}$, o que significa dizer que 372 lumens emitidos custam R\$ 1,00 na planta existente. Calculando o mesmo indicador na hipótese de expansão do sistema atual (projeção referida na metodologia) o valor se mantém constante. Já no projeto luminotécnico proposto o valor do mesmo indicador é de $1.105,3 \text{ lm.R}\$^{-1}$. Implicando dizer que a cada um real gastos são emitidos 1.105,3 lumens, o que representa um ganho de quase 3 vezes na relação financeira.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O sistema atual de iluminação é deficiente em todos os ambientes da indústria analisada, apresentando níveis de iluminância média menores que os valores indicados pela norma vigente. O projeto criado para a indústria moveleira é viável, apresentando maior eficiência luminosa que o sistema atual de iluminação e também menor fatura de energia elétrica quando comparado ao sistema atual extrapolado para o eventual cumprimento da norma.

Para fazer esta demonstração foi apresentada uma comparação entre os níveis de iluminância média dos três sistemas de iluminação, o sistema existente, o sistema proposto e o nível de iluminância recomendada pela normativa vigente.

Além de econômica, o projeto também se mostrou viável tecnicamente, apresentando níveis de iluminância próximos (e não inferiores) aos normatizados, além de utilizar luminárias mais modernas e com design estético nos ambientes cozinha e escritório, luminárias estas construídas com aletas de alumínio para maior aproveitamento da luz da lâmpada minimizando os efeitos de ofuscamento.

Nos ambientes da indústria todas as luminárias projetadas apresentam vedação contra partículas de poeira, possuem difusor em policarbonato prismático que apresentam difusão de luz homogênea e preservam a aparência por original por até 20 anos de uso, segundo o fabricante, e refletor em alumínio anodizado mantendo o nível de reflexão estável pelo maior tempo possível.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BRACIER. **Iluminação com menos consumo.**

Disponível em: <<http://bracier.org.br/brasil/iluminacao-com-menos-consumo>>

Acesso em: 28 de novembro de 2013.

BRASIL. **Graus de proteção para invólucros de equipamentos elétricos, 60529.**

Brasil, 2005. 40 p.

BRASIL. **Iluminação de ambientes de trabalho, 8995-1.** Brasil, 2013. 54 p.

BRASIL. **Instalações elétricas de baixa tensão, 5410.** Brasil, 2008. 209 p.

BRASIL. **Norma regulamentadora: Ergonomia, 17.** Brasil, 2007. 14 p.

COPEL. **Manual de eficiência energética na indústria.** Paraná. Edição: Novembro de 2005.

COPEL. **Taxas e tarifas.**

Disponível em: <<http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2F5d546c6fdeabc9a1032571000064b22e%2F8c04fbf11f00cc5703257488005939be>>

Acesso em: 12 de janeiro de 2014.

COTRIM, ADEMARO A. M. B. **Instalações elétricas** / Ademaro A. M. B. Cotrim. – 3ª ed. – São Paulo: Makron *books*, 1992.

CREDER, HÉLIO. **Instalações elétricas** / Hélio Creder; [coordenação da revisão técnica e atualização Luiz Sebastião Costa]. – 15.ed. – [Reimpr.] – Rio de Janeiro: LTC, 2012.

EPE. **Consumo de energia elétrica no país crescerá 4,8% ao ano até 2020.**

Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/imprensa/PressReleases/201102222.pdf>>

Acesso em: 20 de julho de 2013.

MAMEDE FILHO, JOÃO. **Instalações elétricas industriais** / João Mamede Filho – 8.ed. – [Reimpr.] – Rio de Janeiro: LTC, 2012.

MOREIRA, VINICIUS DE ARAUJO. **Iluminação elétrica** / Vinicius de Araujo Moreira – São Paulo: Edgard Blucher, 1999.

PIERRE, RODRIGUES. **Manual de iluminação eficiente.** Brasil, PROCEL, 2002.

PNUMA. **Novos Países Começam a Reduzir Progressivamente Iluminações Ineficientes.**

Disponível em: <http://www.pnuma.org.br/comunicados_detalhar.php?id_comunicados=218> Acesso em: 05 de novembro de 2013.

QUEIROZ M. T. A., PAGIOLA R. G., FERREIRA W. L., PREIRA P. C. A. e OLIVEIRA G. S. J. F., **Estudo de caso: Impactos da iluminação inadequada em área de internação hospitalar.** VII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 2010.

TAVARES, JOSÉ DA CUNHA **Tópicos de administração aplicada à segurança do trabalho.** 5ª ed.rev. e ampl. – São Paulo: Editora SENAC, São Paulo, 2006.