

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

DAVID PHILIFE ANTUNES

**ANÁLISE LUMINOTÉCNICA DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO DE UMA
INDÚSTRIA METALURGICA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MEDIANEIRA

2013

DAVID PHILIFE ANTUNES

**ANÁLISE LUMINOTÉCNICA DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO DE UMA
INDÚSTRIA METALURGICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo em Tecnologia em Manutenção Industrial, do Curso Superior em Tecnologia de Manutenção Industrial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Me. Evandro André Konopatzki

Co-orientador: Me. Samir de Oliveira Ferreira

MEDIANEIRA

2013



TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISE LUMINOTÉCNICA DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO DE UMA INDÚSTRIA METALÚRGICA

Por:

David Philipe Antunes

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado às 16h00 h do dia 12 de Janeiro 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 argüidos pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho

Prof. Me. Evandro André Konopatzki
UTFPR – *Câmpus* Medianeira
(Orientador)

Prof. Me. Samir de Oliveira Ferreira
UTFPR – *Câmpus* Medianeira
(Co-orientador)

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

Prof. Paulo Dulnik
UTFPR – *Câmpus* Medianeira
(Convidado)

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

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus e a minha família, que me deram força e incentivo para não desanimar durante toda a caminhada acadêmica.

Dedico também a amigos e colegas que durante o curso estiveram lado a lado enfrentando as mesmas dificuldades. Aos professores que com muita paciência e dedicação estiveram nos orientando e instruindo para uma futura carreira profissional.

Em especial, dedico ao Victor Hugo Prestes Martins, colega de classe que somente no final do curso acabamos nos aproximando para auxiliar e trocar informações durante o TCC.

Ainda em especial, dedico as amigas Andriele Lorencini e a amiga Cicera Rolim, que também estiveram passando por processo de término de graduação e me deram apoio e não me deixaram desanimar.

Dedico também a uma pessoa muito especial em minha vida, que vibrou quando entrei para a UTFPR e esteve ao meu lado durante quase todo o período acadêmico. Dedico à Camila Alves da Silva, apesar de todos os pesares, sei que sempre esteve torcendo por mim.

Aos demais amigos e colegas, agradeço por cada oração e por cada voto de confiança.

AGRADECIMENTOS

Sei que um simples “Obrigado!” não seria o bastante, e que o que tenho pra dizer não expressa a metade da minha gratidão.

Mas, venho agradecer primeiramente a Deus por me dar a oportunidade de viver e enfrentar os obstáculos, a minha família por estar sempre ao meu lado, dedicando-se para minha felicidade. Aos amigos e colegas por estar sempre à disposição e dando força e animo para seguir nesta caminhada.

Aos Professores, um muito obrigado. Cada trabalho, cada prova, cada dúvida tirada, cada novo conteúdo, cada visita técnica e até mesmo pelos cafés durante as aulas. Muito obrigado.

Ao orientador, Professor Evandro André K. e co-orientador Samir de Oliveira Ferreira, meu agradecimento pela orientação, pelas conversas, dicas e ideias oferecidas, ajudas essas que jamais serão esquecidas.

À todos, muito obrigado.

*“Life's tragedy is that we get old too soon and wise too late”
(Benjamin Franklin)*

“A tragédia da vida é que ficamos velhos cedo demais e sábios tarde demais” (Benjamin Franklin)

RESUMO

ANTUNES, David Philipe. **Análise Luminotécnica do Sistema de Iluminação de uma Indústria Metalúrgica**. 2013. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso Superior em Tecnologia de Manutenção Industrial. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2013.

A iluminação artificial foi desenvolvida para simular a iluminação natural e foi aprimorada para ser utilizada em diversos ambientes e de várias formas. A importância da iluminação foi acentuada com a promulgação das normas regulamentadoras que visaram condições salubres aos trabalhadores. Este trabalho analisou as condições luminotécnicas encontradas no barracão de uma indústria metalúrgica situada no Município de Foz do Iguaçu – PR e indicou melhorias no sistema de iluminação atual de quatro formas. A primeira análise foi a instalação de mais conjuntos de luminárias e lâmpadas idênticos aos instalados atualmente. As outras três análises consistiram no cálculo luminotécnico da instalação de três novos sistemas de iluminação compostos por três diferentes lâmpadas. Foram realizadas análises técnica e econômica das quatro análises onde duas mostraram-se viáveis técnica e economicamente sendo a instalação de lâmpadas fluorescentes H.O. tubulares de 54 W a opção indicada neste estudo, considerando menor PB e maiores TIR e VPL.

Palavras chaves: Iluminação. Luminotécnica. Viabilidade técnico-econômica. Conforto visual.

ABSTRACT

ANTUNES, David Philipe. **Analysis of Technical Lighting System in a Metallurgical Industry**. 2013 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso Superior em Tecnologia de Manutenção Industrial. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2013.

Artificial lighting developed to simulate natural lighting and has been enhanced to used environments and forms different. The regulatory standards was important enactment lighting for workers' healthy conditions. This study analyzed the lighting conditions of a metallurgical industry in the city of Foz do Iguaçu - PR and indicated improvements at lighting system current to four different options. The first analysis was more sets currently luminaires' installation. The other three luminotechnical analysis consisted in new lighting systems calculating of three composed of different lamps. Technical and economic feasibility of four analyzes where two proved to be technically and economically viable with the installation of HO fluorescent lamps were made tubes of 54 W the option indicated in this study, considering lower CP and higher IRR and NPV.

Keywords: Lighting, Illumination. Technical and economic feasibility. Visual comfort.

LISTA DE ABREVIACOES

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CIE	Comissão Internacional de Iluminação (<i>Comission Internationale de clairage</i>)
ISO	Organização Internacional para Padronização (<i>International Organization for Standardization</i>)
LED	Diodo Emissor de Luz (<i>Light Emitting Diode</i>)
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
PB	<i>Payback</i>
TIR	Taxa Interna de Retorno
UGR	Indice de Ofuscamento Unificado (<i>Unified Glare Rating</i>)
UV	Ultra Violeta
VPL	Valor Presente Liquido

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – COMPARATIVO ENTRE TIPOS DE LÂMPADAS	19
TABELA 2 – ÍNDICES DE REFLEXÃO DAS SUPERFÍCIES	24
TABELA 3 – FATOR DE DEPRECIÇÃO.....	26
TABELA 4 – FATOR DE UTILIZAÇÃO	37
TABELA 5 - CÁLCULO LUMINOTÉCNICO DO BARRACÃO UTILIZANDO AS LÂMPADAS INSTALADAS NO SISTEMA ATUAL.....	43
TABELA 6 - CÁLCULO LUMINOTÉCNICO DO BARRACÃO UTILIZANDO AS LÂMPADAS DE VAPOR DE MERCÚRIO HPL-N 400 W EM LUMINÁRIA HDK 742	45
TABELA 7 - CÁLCULO LUMINOTÉCNICO DO BARRACÃO UTILIZANDO AS LÂMPADAS FLUORESCENTES MASTER TL5 HO 54 W EM LUMINÁRIAS TCW 060A.....	47
TABELA 8 - CÁLCULO LUMINOTÉCNICO DO BARRACÃO UTILIZANDO AS LÂMPADAS LED MASTER LED TUBE INS STD 24.W EM LUMINÁRIAS TCW 060A.....	50
TABELA 9 - DADOS ECONÔMICOS DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO E AS PROPOSTAS DE SUBSTITUIÇÃO.....	51

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO.....	15
Figura 2 – DIREÇÃO DA LUZ A PARTIR DA FONTE.....	16
Figura 3 – CURVA DE DISTRIBUIÇÃO LUMINOSA.....	18
Figura 4 – LÂMPADA DE VAPOR DE MERCÚRIO	20
Figura 5 – LÂMPADA FLUORESCENTE	20
Figura 6 – LÂMPADA FLUORESCENTE TIPO TUBO	21
Figura 7 – LÂMPADA LED TIPO TUBO.....	21
Figura 8 – FLUXOGRAMA PARA CÁLCULO LUMINOTÉCNICO E DETERMINAÇÃO DO NUMERO MINIMO DE LUMINARIAS EM UM AMBIENTE	22
Figura 9 – EXEMPLO DE DEFINIÇÃO DO FATOR DE UTILIZAÇÃO (η) PARA FATOR DE LOCAL (K) IGUAL A 0,49 EM AMBIENTE COM TETO CLARO, PAREDES CLARAS E PISO ESCURO.....	25
Figura 10 -LUXÍMETRO	29
Figura 11 -DIMENSIONAMENTO DA MALHA	30
Figura 12 -ESBOÇO DO BARRACÃO INDUSTRIAL	35
Figura 13 -ESBOÇO DO BARRACÃO COM MALHA DEMARCADA PARA MEDIÇÃO	41
Figura 14 -ESBOÇO DO BARRACÃO COM ILUMINÂNCIA MÉDIDA EM CADA PONTO.....	42
Figura 15 -ESBOÇO DO BARRACÃO COM AS 12 LUMINÁRIAS HDK 742 E LÂMPADAS DE VAPOR DE MERCÚRIO HPL 250 W, NECESSÁRIAS PARA ILUMINAMENTO MÍNIMO NORMATIZADO.....	44
Figura 16 -ESBOÇO DO BARRACÃO COM 8 LUMINÁRIAS HDK 742 E LÂMPADAS DE VAPOR DE MERCÚRIO HPL-N 400 W, NECESSÁRIAS PARA ILUMINAMENTO MÍNIMO NORMATIZADO.....	46
Figura 17 -ESBOÇO DO BARRACÃO COM AS 15 LUMINÁRIAS TCW 060A E LÂMPADAS FLUORESCENTES MASTER TL5 HO 54 W, NECESSÁRIAS PARA ILUMINAMENTO MÍNIMO NORMATIZADO.....	48
Figura 18 -ESBOÇO DO BARRACÃO COM AS 35 LUMINÁRIAS TCW 060A E AS LÂMPADAS LED MASTER LED TUBE INS STD 24 W, NECESSÁRIAS PARA ILUMINAMENTO MÍNIMO NORMATIZADO	49

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1	LUZ COMO ENERGIA RADIANTE	14
2.1.1	Intensidade Luminosa e Fluxo Luminoso	15
2.1.2	Quantidade de Luz e Emitância Luminosa	17
2.2	LÂMPADAS	18
2.2.1	Lâmpadas de Vapor de Mercúrio	19
2.2.2	Lâmpadas Fluorescentes	20
2.2.3	Lâmpadas LED.....	21
2.3	DIMENSIONAMENTO LUMINOTÉCNICO - MÉTODO DE LUMENS	22
2.4	METROLOGIA DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO.....	28
2.4.1	Metodologia de Medição da Iluminância Média - ABNT-ISO 8995-1/2013.....	29
2.5	ENGENHARIA ECONÔMICA	31
2.5.1	Payback.....	31
2.5.2	Valor Presente Líquido (VPL).....	32
2.5.3	Taxa Interna de Retorno (TIR)	33
3	METODOLOGIA.....	34
3.1	APRESENTAÇÃO DA EMPRESA	34
3.2	MEDIÇÃO DA ILUMINÂNCIA MÉDIA DO BARRACÃO.....	36
3.3	CÁLCULO DE LUMINÁRIAS NECESSÁRIAS PARA MANUTENÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ATUAL	36
3.4	CÁLCULO DE LUMINÁRIAS NECESSÁRIAS PARA SUBSTITUIÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ATUAL	38
3.5	PROJETO DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA MANUTENÇÃO OU SUBSTITUIÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO INSTALADO	39
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
4.1	MEDIÇÃO DA ILUMINÂNCIA MÉDIA DO BARRACÃO.....	41
4.2	CÁLCULO DE LUMINÁRIAS NECESSÁRIAS PARA MANUTENÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ATUAL	42
4.3	CÁLCULO DE LUMINÁRIAS NECESSÁRIAS PARA SUBSTITUIÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ATUAL	44
4.3.1	Projeto do Sistema de Iluminação com Lâmpadas de Vapor de Mercúrio, Modelo HPL-N 400 W Instaladas em Luminárias Modelo HDK 742	45
4.3.2	Projeto do Sistema de Iluminação com Lâmpadas Fluorescentes Master TL5 HO 54 W em Luminárias TCW 060A	46
4.3.3	Projeto do Sistema de Iluminação com Lâmpadas LED Master LED Tube INS STD 24 W em Luminárias TCW 060A	48
4.4	ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA manutenção ou SUBSTITUIÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO INSTALADO.....	50
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	54
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

1 INTRODUÇÃO

O conceito moderno de iluminação no interior dos ambientes é abordado como uma forma de decorá-los. Podem ser feitas combinações entre as cores e os tipos de lâmpadas para proporcionar o conforto visual e estético esperado ao ambiente. Nos ambientes de trabalho, por sua vez, a iluminação é vista como critério benéfico às condições laborais e, por este motivo, está relacionada à segurança e saúde dos trabalhadores.

Segundo Cavalin (1999) o ser humano tende a construir seu futuro em função dos resultados obtidos em suas pesquisas e descobertas tecnológicas. Prova disso foi a experiência Hawthorne, realizada entre os anos de 1924 e 1927 na Western Electric Co., que evidenciou o aumento na produtividade e diminuição dos riscos de acidentes quando trabalhado o conforto visual aos operários.

Conforme explicado por Negrisoli (1987), o homem é um ser totalmente dependente da luz solar. Sem a luz – observou o autor – a nitidez, o reconhecimento das diferenças de claridade, a visão de profundidade e distância tornam-se praticamente inválidas, isto tudo devido à dificuldade para enxergar algo com exatidão e com nitidez.

Com a evolução do homem e conseqüente extensão da sua jornada diária, surgiu a necessidade de haver visibilidade mesmo quando o sol se punha. Foi desenvolvido, então, o sistema de iluminação artificial que iniciou-se pelo fogo, evoluiu para lampiões e lamparinas, e atualmente consiste nas lâmpadas, que são capazes de simular a luz solar, oferecendo ao observador a luz necessária para que o mesmo possa realizar suas atividades.

Para tal é importante determinar como deve ser o sistema de iluminação em cada tipo de ambiente e para cada atividade executada. A norma brasileira que aborda este assunto é a ABNT/NBR ISO 8995-1/2013. Norma na qual é possível encontrar valores de iluminância (lux) de cada tipo de ambiente onde as atividades laborais são presumidas.

O ambiente de estudo é um barracão industrial de uma indústria metalúrgica situada na cidade de Foz do Iguaçu, Paraná. A hipótese deste estudo foi a de que este barracão (objeto do estudo) apresentava nível de iluminância média abaixo daquela especificada na norma referida. Este estudo visou calcular o número mínimo

de luminárias e lâmpadas necessárias para que a iluminância média do ambiente permanecesse dentro dos valores aceitáveis da norma.

Desta forma o objetivo geral do estudo foi analisar o sistema de iluminação atualmente instalado no barracão industrial que é integrante de uma indústria metalúrgica situada na cidade de Foz do Iguaçu – Paraná, comparando-o a três sistemas de iluminação alternativos, usando lâmpadas diferentes.

Os objetivos específicos consistiram em: medir a iluminância no barracão industrial com o sistema de iluminação atualmente instalado; desenvolver três propostas de sistemas de iluminação usando lâmpadas de diferentes tecnologias; e comparar os sistemas propostos à adequação do sistema atual, deixando à disposição da empresa a proposta mais viável.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Luminotécnica é o estudo técnico que consiste na aplicação da iluminação artificial em ambientes internos e externos. Para tal aplicação, é preciso realizar um estudo a respeito do ambiente, verificando a atividade que será executada no ambiente e a forma na qual o ambiente ficará exposto a essa iluminação. A luminotécnica envolve conceitos básicos da iluminação assim como noções da realização das medições e dos cálculos para dimensionamento de luminárias e lâmpadas. Sendo este conteúdo abordado nos próximos subcapítulos.

2.1 LUZ COMO ENERGIA RADIANTE

A luz é a quantidade da energia radiante que um observador humano constata pela sensação visual, a faixa das radiações eletromagnéticas capazes de serem percebidas pelo olho humano se situa entre os comprimentos de onda 3.800 a 7.600 Å (Angstroms) (CREDER, 2000).

No olho humano a íris permite a passagem de luz até o cristalino, que é responsável por focalizar um objeto. As informações recebidas pelo olho, através da luz, são enviadas para o cérebro verificando a percepção visual (imagem). Para que esse processo seja bem sucedido e o observador venha a enxergar com nitidez é importante que a quantidade de luz no ambiente seja adequada. Para tanto se ressalta a importância de um projeto luminotécnico no qual é possível dimensionar a quantidade de luz que o observador precisará em cada tipo de ambiente ou situação.

A cor de um objeto iluminado consta da interação de três fatores: a composição espectral do fluxo luminoso emitido pela fonte luminosa; a refletância espectral do objeto iluminado e da capacidade do observador em detectar e interpretar a composição espectral da luz recebida pelos seus olhos (MOREIRA, 1999).

A cor da luz é determinada pelo comprimento de onda (ou pela frequência de transmissão da energia). Como é possível visualizar na Figura 1 a luz violeta é a de

menor comprimento de onda visível ao espectro, situado entre 3.800 a 4.500 Angstroms. Esta faixa luminosa é a que possui a maior frequência dentre as cores visíveis, por este motivo diz-se que as formas de energia com maior frequência do que a luz violeta são conhecidas como ultravioletas. (CREDER, 2000).

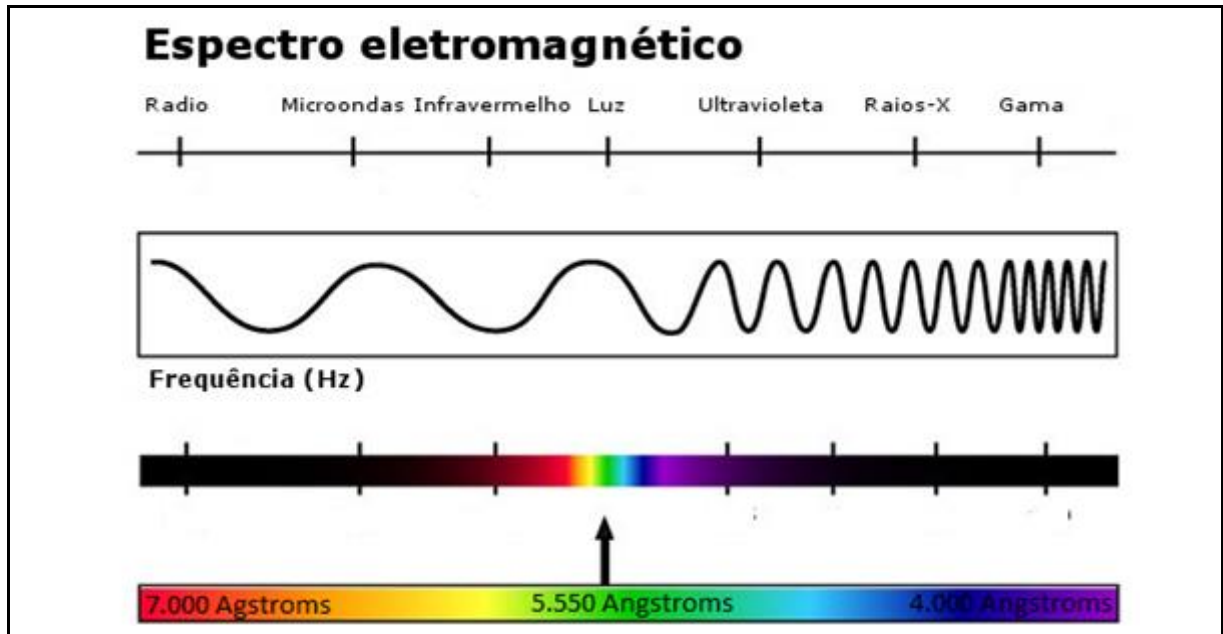


Figura 1 – Espectro Eletromagnético
Fonte: SEBENTAFG (2013).

Já a luz vermelha, por sua vez, é a de maior comprimento de onda visível entre 6.400 a 7.600 Angstroms e, analogamente à luz violeta, possui a menor frequência de transmissão da energia. Por este motivo as energias transportadas em frequência menor que a luz vermelha são conhecidas como infravermelhas.

2.1.1 Intensidade Luminosa e Fluxo Luminoso

A intensidade luminosa é o limite da relação entre o fluxo luminoso em um ângulo sólido, em torno de uma direção dada, e o valor desse ângulo sólido. Quando esse ângulo sólido tende para zero.

Apesar de o fluxo radiante exprimir potência de uma fonte de luz, ele não indica como se distribui a energia irradiada em todas as direções. Assim duas fontes podem ter igual potência e, no entanto, uma delas numa dada direção, emitir muito mais que a outra, Para caracterizar esse fenômeno é necessário distinguir-se, além da potência, a intensidade luminosa da fonte. (MOREIRA, 1999, p.11)

Assim, como é possível observar na Figura 2 (a), a luz emitida pela lâmpada compacta não possui direção fixa, a menos que esta direção seja limitada (definida) através de uma luminária como a exemplificada na Figura 2 (b), por exemplo.

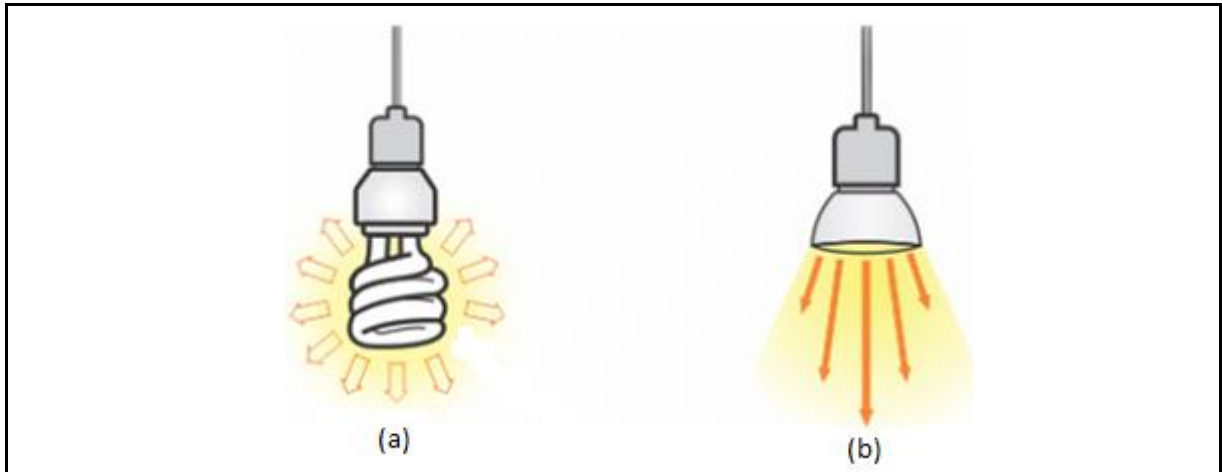


Figura 2 – Direção da luz a partir da fonte, (a) luz sem direção fixa, (b) luz com direção definida pela luminária.

Fonte: Adaptado de ITAIM (2013).

A unidade da intensidade é denominada Candela, que representa a quantidade de luz produzida por um corpo negro à temperatura de solidificação da platina, na direção perpendicular de uma superfície plana de área igual a $1/6 \mu\text{m}^2$ e sob a pressão de 101.325 N.m^{-2} (CREDER, 2000). O nome Candela substitui os antigos nomes “Vela Internacional” e “Vela Nova”.

Conforme Creder (2000), Fluxo luminoso é a quantidade de luz emitida por uma fonte puntiforme de intensidade constante, equivalente à 1 candela, no centro e interior de um ângulo sólido de 1 esferorradiano.

Suponha-se uma esfera de 1 metro de raio, no centro da qual coloca-se uma fonte com intensidade de 1 candela, esta emite luz em todas as direções. O ângulo sólido que subentende uma área de 1 m^2 é o ângulo esferorradiano. O fluxo luminoso medido neste esferorradiano possui como unidade o lúmen.

O fluxo luminoso também pode ser definido como a potência de radiação emitida por uma determinada fonte de luz e avaliada pelo olho humano (MAMEDE FILHO, 2012).

2.1.2 Quantidade de Luz e Emitância Luminosa

A emitância luminosa de uma fonte superficial também é conhecida por Iluminamento. O Iluminamento possui o LUX como unidade de medida, a emitância luminosa é a representação da quantidade de luz que ilumina uma superfície de 1m^2 a 1m de distância de uma fonte puntiforme instalada na direção normal à referida superfície, assim têm-se um fluxo luminoso de 1 lm (lúmen), uniformemente distribuído (CREDER, 2000).

Observando as especificações técnicas de uma lâmpada é possível encontrar a quantidade de luz que esta lâmpada emite em um período de tempo (segundo). A energia luminosa que uma lâmpada é capaz de emitir está relacionada à potência elétrica que esta lâmpada consome. Denomina-se, a este termo, eficiência luminosa de lâmpada. Lâmpadas comerciais apresentam esta relação pela unidade lm.W^{-1} , uma lâmpada incandescente, por exemplo. Consome 100 Watts e emite cerca de 1.600 lúmens de fluxo luminoso por segundo ao ambiente apresentando, neste caso, uma eficiência luminosa de 16 lm.W^{-1} (PHILIPS, 2013).

Outro exemplo com uma lâmpada incandescente de 60 Watts que apresenta um fluxo luminoso de 864 lm e possui eficiência luminosa $14,4\text{ lm.W}^{-1}$. Já para uma lâmpada fluorescente compacta de 15 W , que possui um fluxo luminoso de 900 lm apresentará eficiência luminosa de 60 lm.W^{-1} (PHILIPS, 2013).

A curva de distribuição luminosa é a maneira pela qual os fabricantes de luminárias representam a distribuição da intensidade luminosa nas diferentes direções. Trata-se de um diagrama polar no qual a luminária é reduzida a um ponto, no centro deste diagrama. A Figura 3 mostra os valores de intensidade luminosa, em função do ângulo formado entre a luminária e a vertical. Como o fluxo luminoso inicial das lâmpadas depende do tipo de luminária escolhido, as curvas de distribuição luminosa são feitas para fontes puntiformes de 1.000 lm sendo necessário que o projetista calcule os valores corretos caso escolha lâmpadas com diferentes intensidades luminosas, ou seja, para outros valores do fluxo luminosos de lâmpada, basta multiplicar por sua relação a 1.000 lm . (CREDER, 2000).

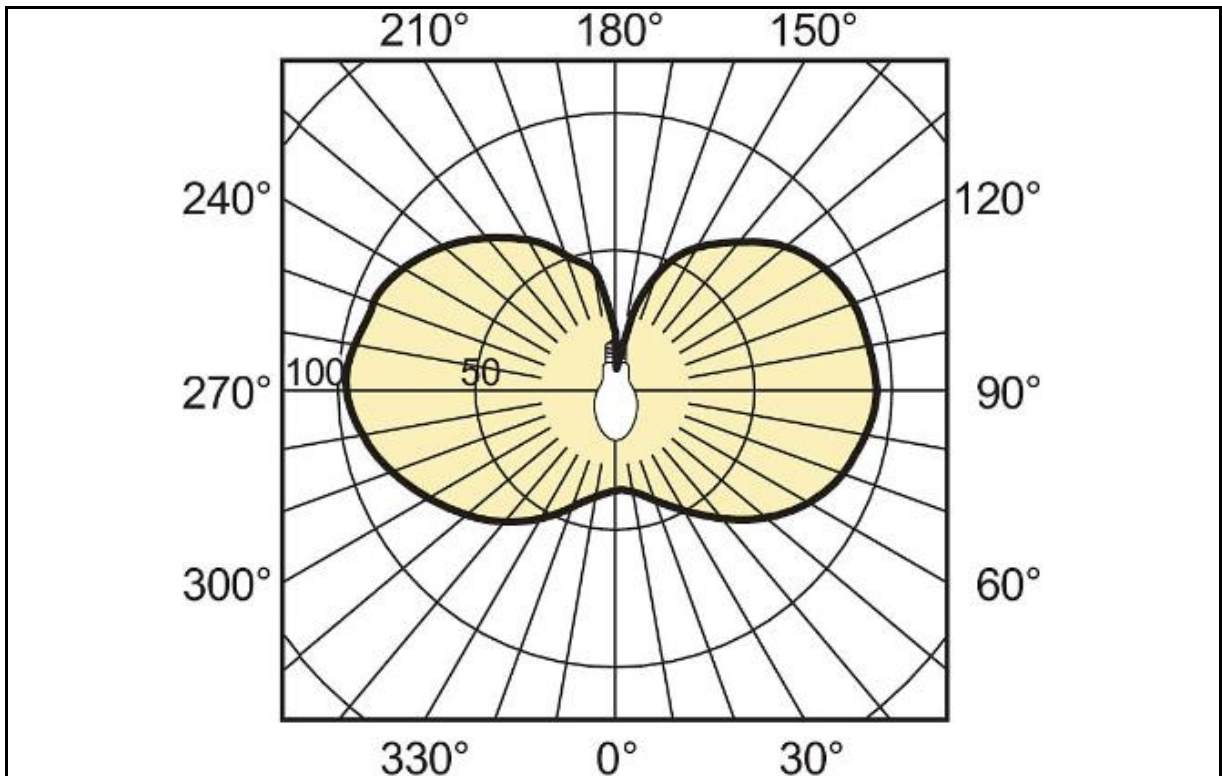


Figura 3 – Curva de distribuição luminosa
Fonte: PHILIPS (2013).

2.2 LÂMPADAS

As lâmpadas são fontes de luz artificial e, desde sua invenção, em 1854, por Heirinch Goebel, despertaram interesse de vários pesquisadores e inventores como, por exemplo, Joseph Wilson Swan em 1878, e por Thomas Alva Edison em 1879. Edison realizou uma série de experiências a respeito da incandescência dos filamentos que desencadearam no uso comercial da lâmpada.

Em 1898 Auer Von Welsbach, através de experiências, conseguiu substituir o filamento de carvão pelo filamento metálico (ósmio). Em 1907, o filamento de ósmio foi substituído pelo filamento de tungstênio, que é utilizado nas lâmpadas incandescentes. No ano de 1913, os filamentos passaram a ser fabricados em forma de espiral, aumentando consideravelmente seu rendimento luminoso.

Inúmeras experiências foram realizadas, gerando inovações e melhoramentos na lâmpada.

No ano de 1934 surgiu a primeira lâmpada fluorescente, a qual é muito empregada na indústria, comércio e em residências. Segundo Niskier (1992), as

lâmpadas usadas em iluminação se classificam em lâmpadas incandescentes e lâmpadas de descarga. Recentemente surgiram as lâmpadas construídas por *Light-Emitting Diode* (LED), estas lâmpadas são constituídas por arranjos modulares de LEDs individuais montados em placas de circuito impresso e apresentam a compactação e longa durabilidade como vantagens comerciais (OSRAM, 2013).

Dentre as diversas lâmpadas de descarga destacam-se as lâmpadas de vapor de mercúrio, instaladas no barracão industrial objeto deste estudo e as fluorescentes, por apresentarem opção de instalação em barracões industriais.

A Tabela 1 apresenta o fluxo luminoso, a potência, a temperatura, o tempo de vida útil e o valor aproximado, em Reais (R\$), de quatro lâmpadas diferentes tomadas como exemplo.

Tabela 1 – Comparativo entre tipos de lâmpadas

TIPO DA LÂMPADA	FLUXO LUMINOSO (lm)	POTÊNCIA (W)	TEMPERATURA (K)	VIDA ÚTIL (h)	VALOR ⁽¹⁾ (R\$)	EFICIÊNCIA LUMINOSA (lm/W)
Vapor de Mercúrio	12.700	250	4.200	16.000	31,00	50,8
Vapor de Mercúrio	22.000	400	4.200	16.000	35,00	55
Fluorescente	5.000	36	6.200	19.000	20,00	89
LED MasterLED	2.000	25	4.000	40.000	98,00	86

Fonte: O Autor

Notas (1): Valores orçados em um comércio do município de Foz do Iguaçu no dia 10/01/2014.

Como é possível observar na Tabela 1, as lâmpadas fluorescentes e as lâmpadas LED apresentadas possuem alta emitância luminosa com baixa potência instalada, mostrando boa eficiência luminosa (lm.W^{-1}).

2.2.1 Lâmpadas de Vapor de Mercúrio

Nas lâmpadas denominadas “de descarga”, a energia é emitida sob forma de radiação, que provoca uma excitação de gases ou vapores metálicos, devido a tensão elétrica entre eletrodos especiais (NISKIER, 1992).

A lâmpada de vapor de mercúrio, também conhecida como lâmpada de descarga de alta intensidade, é constituída por um bulbo de quartzo para suportar altas temperaturas, tendo em suas extremidades eletrodos de tungstênio recoberto por material transmissor de elétrons.

A lâmpada de vapor de mercúrio é muito utilizada para iluminação industrial e também para iluminar ambientes externos. Na Figura 4 é possível visualizar uma lâmpada de vapor de mercúrio com base de rosca E27.



Figura 4 – Lâmpada de Vapor de Mercúrio
Fonte: INDUSPAR (2013).

2.2.2 Lâmpadas Fluorescentes

As lâmpadas fluorescentes são lâmpadas de descarga de baixa pressão, onde a luz é produzida por substâncias fluorescentes que são ativadas pela radiação ultravioleta (UV) da descarga. Estas lâmpadas têm, normalmente, o formato do bulbo tubular longo com um eletrodo em cada extremidade, conforme apresentado na Figura 5.

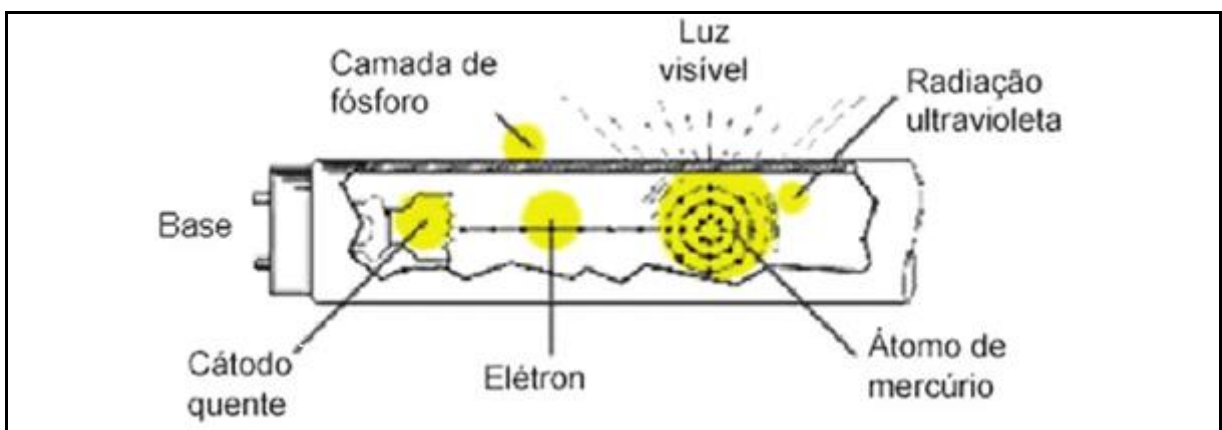


Figura 5 – Lâmpada fluorescente
Fonte: SBQ (2013).

O interior do bulbo, contém vapor de mercúrio em baixa pressão com uma pequena quantidade de gás inerte para facilitar a partida. O bulbo é recoberto internamente com um pó fluorescente (fósforo), que compostos determinam a cor e a quantidade de luz emitida (GARCIA JR., 1996).

A descarga deve ser estabilizada com um reator (ligação indutiva). A ignição da lâmpada requer, em geral, um pulso de tensão, que se consegue mais facilmente com um dispositivo de partida (*starter*) em conjunto com o reator. Funções estas embutidas nos reatores eletrônicos acoplados às luminárias. A vida útil média de uma lâmpada fluorescente é de 7.000 horas (NEGRISOLI, 1987 p. 25).

A Figura 6, apresenta algumas características impressas no tubo de uma lâmpada fluorescente, por exemplo, o fabricante, a potência e a temperatura da luz.



Figura 6 – Lâmpada Fluorescente tipo Tubo
Fonte: PHILIPS (2013).

2.2.3 Lâmpadas LED

A iluminação com lâmpadas LED possibilita a economia de energia, diversidade de cenários com recursos de dimerização que controlam a intensidade da luz e também devido à variedade de cores.

A Figura 7, mostra um exemplo de lâmpada LED com algumas informações impressas em seu tubo, como a potência da lâmpada, tensão elétrica e frequência de operação e, ainda, a temperatura da cor.



Figura 7 – Lâmpada LED tipo Tubo.
Fonte: PHILIPS (2013).

2.3 DIMENSIONAMENTO LUMINOTÉCNICO - MÉTODO DE LUMENS

O método dos lumens é utilizado para calcular o número de lâmpadas e luminárias necessárias em um ambiente levando em conta as dimensões, o uso e as características construtivas do mesmo.

A Figura 8 apresenta um fluxograma que sintetiza o roteiro apresentado pelo método de lúmens.

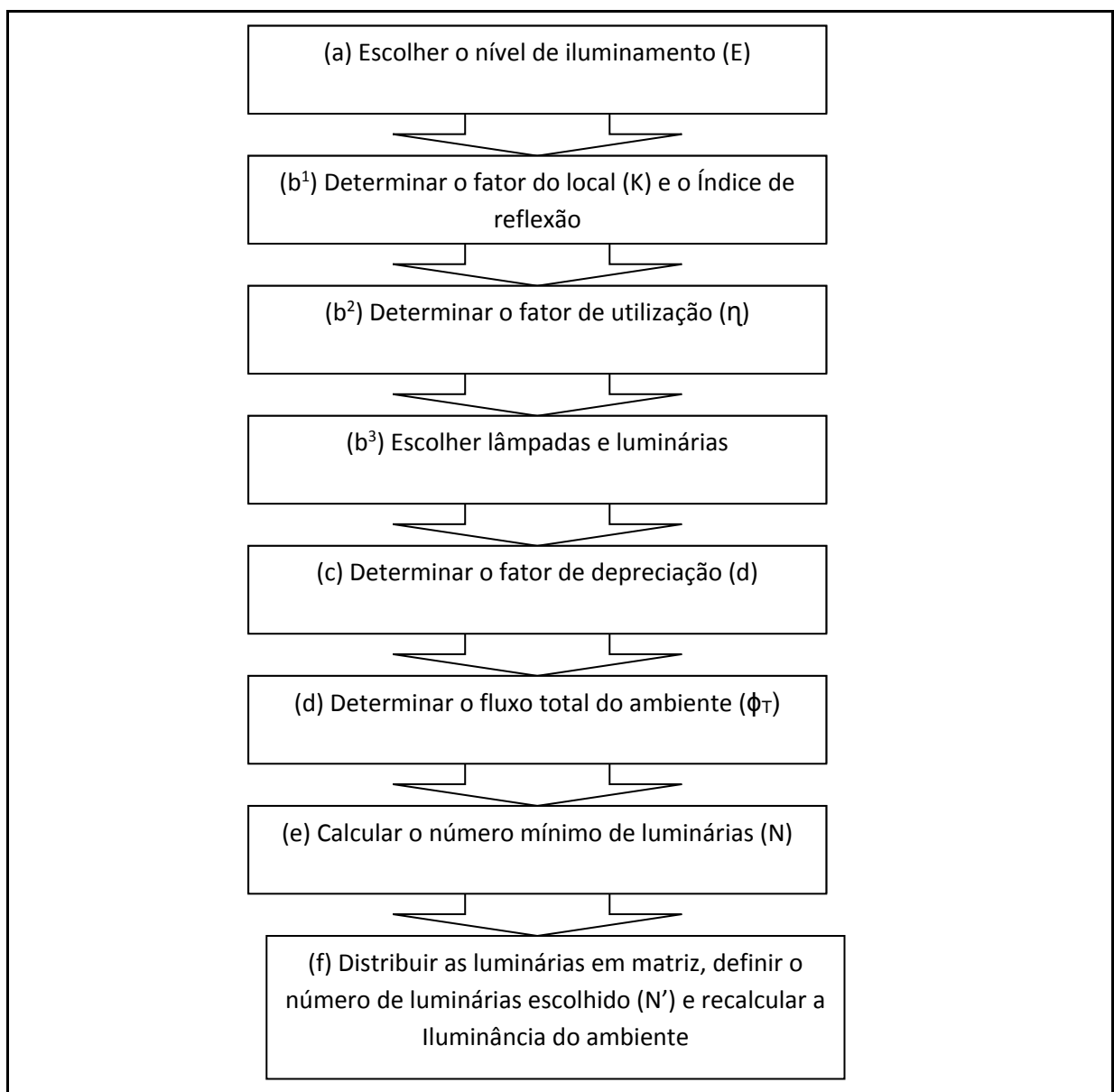


Figura 8 – Fluxograma para cálculo luminotécnico e determinação do número mínimo de luminárias em um ambiente

Fonte: O Autor.

Como mostra o fluxograma, o método de lúmens possui oito passos importantes que serão abordados em seguida.

a) Escolher o nível de iluminamento (E):

A primeira providência é escolher o nível de iluminamento desejado ($E_{\text{Média}}$) A iluminância desejada é encontrada na ABNT/NBR ISO 8995-1/2013.

A ABNT/NBR ISO 8995-1/2013, tem como objetivo estabelecer valores de iluminância média mínima em serviço para iluminação artificial em interiores, sendo aplicada, por exemplo, a atividades de comércio, indústria, ensino, esporte, entre outras.

O barracão industrial (objeto deste estudo) se enquadra nas atividades apresentadas pelo item 18 do capítulo 5º da referida norma, sendo este nominado “Trabalho em ferro e aço”. Mais especificamente no subitem “Instalações de produção com operação manual e contínua”.

b¹) Determinar o fator do local (K) e o Índice de Reflexão

A segunda providência é determinar o fator do local. Este passo depende das dimensões físicas do ambiente estudado.

É preciso ter os valores das dimensões do ambiente, comprimento, largura e altura em que as luminárias serão instalas em relação ao plano de trabalho. Para obter o fator do local (K), utiliza-se a Equação (1).

$$K = \frac{(C \cdot L)}{((C + L) \cdot A)} \quad (1)$$

Onde; C é o comprimento do ambiente medido em metros, L é a largura do ambiente medido em metros; e, A represente a distância vertical entr; a luminária e o plano de trabalho, medido em metros.

O fator do local (K) é utilizado em tabelas de fabricantes de luminárias para a obtenção do fator de utilização (η). Estas tabelas apresentam valores específicos de K e, quando o valor de K calculado pela Equação (1) não coincidir com o K apresentado na tabela do fabricante, admite-se o valor mais próximo.

O índice de reflexão é outro fator utilizado na referida tabela de fabricantes, este índice apresenta as reflexões médias do teto, das paredes e do piso. O método de Lúmens apresenta os critérios da Tabela 2:

Tabela 2 – Índices de Reflexão das superfícies

Índice	Reflexão
1 – superfície escura	10% de reflexão
3 – superfície média	30% de reflexão
5 – superfície clara	50% de reflexão
7 – superfície branca	70% de reflexão

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

Desta forma um ambiente que apresente, por exemplo, teto em cor clara, paredes em cores médias e piso em cor escura terá o índice de reflexão dado pela sequência 531. Outro exemplo de um ambiente com; teto, paredes e piso construídos em superfícies branca, branca e clara (respectivamente) apresentará índice de reflexão de cores igual a 775.

É importante verificar as condições do ambiente estudado para que este índice seja corretamente definido.

b²) Determinar o fator de utilização (η)

Pode-se definir fator de utilização como sendo a razão do fluxo útil (aquele que incide efetivamente sobre um plano de trabalho) para o fluxo total emitido. Este fator depende da distribuição de luz no ambiente, do rendimento da luminária, também da reflexão do teto, das paredes, do piso e, por fim, do fator do local (K).

O fator de utilização é fornecido pelos fabricantes de luminárias, uma vez que a forma construtiva da luminária interfere na difusão dos raios de luz. A Figura 9 apresenta um exemplo de tabela de definição do fator de utilização, fornecida pelo fabricante OSRAM.

K	751	731	711	551	531	511	331	311
0,6	0,32	0,28	0,26	0,31	0,28	0,26	0,28	0,25
0,8	0,39	0,36	0,33	0,39	0,35	0,33	0,35	0,35
1,0	0,44	0,41	0,39	0,43	0,40	0,38	0,40	0,38
1,25	0,48	0,45	0,43	0,47	0,45	0,42	0,44	0,42
1,5	0,51	0,48	0,45	0,49	0,47	0,45	0,46	0,45
2,0	0,54	0,52	0,50	0,53	0,51	0,49	0,50	0,49
2,5	0,55	0,54	0,52	0,55	0,53	0,52	0,52	0,51
3,0	0,57	0,55	0,54	0,56	0,54	0,53	0,54	0,52
4,0	0,58	0,57	0,56	0,57	0,56	0,55	0,53	0,54
5,0	0,60	0,58	0,57	0,58	0,57	0,56	0,56	0,55

Figura 9 – Exemplo de definição do fator de utilização (η) para fator de local (k) igual a 0,49 em ambiente com teto claro, paredes claras e piso escuro.

Fonte: OSRAM (2013, pg. 9)

b³) Escolher Lâmpadas e Luminárias

Neste passo é preciso escolher que tipo de lâmpada e luminária será utilizado no projeto. É importante levar em consideração fatores como, a adequada iluminação do plano de trabalho, custo de instalação e de manutenção das luminárias e também o impacto no consumo de energia elétrica da edificação. Para tal, é importante analisar dados técnicos, geralmente fornecidos pelos fabricantes, como: a potência elétrica da lâmpada; o número de lâmpadas por luminária; a eficiência luminosa da lâmpada; o fluxo luminoso do conjunto luminária-lâmpada(s); o consumo de energia elétrica; a curva fotométrica para escolha da luminária adequada; além de informações sobre como aproveitar melhor seu desempenho. Esta etapa do projeto, quando bem planejada, colabora para que não sejam feitas associações ineficientes entre lâmpadas e luminárias.

c) Determinar o fator de depreciação (d)

O Fator de Depreciação é a razão do iluminamento médio no plano de trabalho, após um período de uso da iluminação, para o iluminamento médio obtido nestas condições com a instalação nova.

Com o tempo e uso do sistema de iluminação constatar-se-á que o piso, as paredes e o teto ficarão sujos ou desbotados, em função da atividade e do envelhecimento do material a eles aplicado (tinta, por exemplo) tendo o valor do índice de reflexão alterado. Também os equipamentos de iluminação (lâmpadas e luminárias) acumularão poeira e, por conseguinte, as lâmpadas fornecerão menor quantidade de luz. Este conjunto de fatores fará com que o ambiente apresente menor intensidade luminosa e o plano de trabalho terá, neste caso, menor iluminância quando comparada às condições iniciais do edifício, ou às condições projetadas.

Alguns desses fatores poderão ser eliminados por meio de manutenção. Conforme apresentado na ABNT/NBR ISO 8995-1/2013, para amenizar os efeitos danosos desses fatores o projeto deve admitir esta perda pelo chamado fator de depreciação, que aborda o período de manutenção que será adotado pelo projetista. O autor Garcia Jr. (1996) adota que, em edificações nas quais ocorre manutenção periódica semestral, podem-se adotar os fatores de depreciação de 0,90 para ambientes limpos; 0,8 para ambientes médios e 0,60 nos ambientes sujos.

Já o autor Cotrim (2009) relaciona o tipo de ambiente com o período de manutenção (em horas de uso) construindo uma tabela que apresenta os fatores extremos de $d = 0,95$ para ambiente limpo com manutenção periódica de 2.500 h e $d = 0,57$ para ambientes sujos e manutenção periódica de 7.500 h.

Segundo Creder (2007) é evidente que, quanto melhor e mais frequente for a manutenção das luminárias, onde se incluem limpeza e substituição de lâmpadas e luminárias, maior será o fator de depreciação. A Tabela 3 apresenta possíveis valores de depreciação a serem adotados pelo projetista, valores estes em função de critérios a serem definidos, como o tempo de manutenção ou o estado de conservação considerado ao sistema (lâmpadas e luminárias).

Tabela 3 – 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, 2007, 15ª Ed. (adaptada pelo autor).

- d) Determinar o fluxo total do ambiente (ϕ_T)

Fluxo luminoso total, ou apenas fluxo total é a soma de toda a luz emitida pelas luminárias instaladas em um ambiente, representa a quantidade de energia luminosa necessária para iluminar um determinado ambiente proporcionando no plano de trabalho a iluminância desejada.

Para determinar o fluxo total pode-se utilizar a expressão apresentada na Equação (2).

$$\phi_T = \frac{Em \cdot S}{\eta \cdot d} \quad (2)$$

Onde, Em é a Iluminância média; S representa a área do ambiente medido em m^2 ; η é o fator de utilização; e, d é o fator de depreciação.

- e) Calcular o número de luminárias e o fluxo luminosos de cada luminária (ϕ_L)

Cada lâmpada fornece um fluxo luminoso relacionado às características de sua tecnologia construtiva. O fluxo luminoso de uma lâmpada é dado pela potência elétrica da lâmpada (W) e o rendimento luminoso da mesma ($lm.W^{-1}$).

As luminárias podem ser compostas por uma ou várias lâmpadas, assim, cada luminária apresenta um fluxo luminoso que é a soma dos fluxos luminosos individuais da(s) lâmpada(s) à luminária acoplada.

A relação entre o fluxo luminoso total necessário em um ambiente e o fluxo luminoso liberado por cada luminária indica a quantidade mínima de luminárias que será(ão) necessária(s) no referido ambiente para iluminá-lo adequadamente, assim como indica a Equação (3).

$$N^{\circ} \text{ de luminárias} = \frac{\phi_T}{\phi_L} \quad (3)$$

Onde, ϕ_T é o fluxo luminoso total de um ambiente, medido em Lumens, e ϕ_L é o fluxo luminoso emitido por uma luminária.

f) Distribuir as luminárias

O espaçamento entre as luminárias depende de sua altura ao plano de trabalho e da distribuição de luz. De acordo com a ABNT/NBR ISO 8995-1/2013, uma relação entre a altura útil (medida como a distância vertical entre a luminária e o plano de trabalho) e a distância horizontal de instalação das luminárias é de 1:1 ou maior, não excedendo a relação 4:1. Este fator pode ser adotado para que o limite de ofuscamento seja inferior a 25%, conforme apresentado no item 18 do capítulo 5º da referida norma.

O valor de ofuscamento desconfortável (UGR, do inglês *Unified Glare Rating*) é calculado pela Equação (4), apresentada como Metodologia Tabular do Índice de Ofuscamento Unificado oferecida pela norma complementar CIE 117/1995.

$$UGR = 8 * \log \left(\frac{0,25 * \sum(L^2 * \omega)}{L_b * \rho^2} \right) \quad (4)$$

Onde: L é a iluminância da parte luminosa de cada luminária na direção do olho do observador; L_b é a iluminância de fundo; ω é o ângulo sólido da parte luminosa de cada luminária junto ao olho do observador; ρ é o índice de posição de Guth de cada luminária individualmente relacionado ao seu deslocamento a partir da linha de visão.

Conforme a norma ABNT/NBR ISO 8995-1/2013, o limite de ofuscamento unificado (UGR_L) pode ser encontrado pelo método de tabulação, com auxílio de softwares especializados, ou pelo cálculo da UGR para diferentes posições do observador.

2.4 METROLOGIA DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

Para realizar as medições fotométricas é preciso utilizar um aparelho chamado fotômetro ou Luxímetro. Segundo Moreira (1999), os fotômetros mais antigos eram, simplesmente, aparelhos comparadores que nos permitiam avaliar

visualmente uma grandeza quando comparado com um padrão. Os fotômetros atuais, fotoelétricos, baseiam-se em fotocélulas e, sendo calibrados, nos permitem a leitura direta da grandeza medida.

Com a existência da célula fotoelétrica, não se utiliza mais os Luxímetros foto comparadores, devido ao fato de com as fotocélulas as medições terem maior precisão e agilidade. Por sua vez, as fotocélulas são dispositivos que conseguem transformar as variações do fluxo luminoso em grandezas elétricas.

A Figura 10 apresenta um luxímetro semelhante ao utilizado para realizar as medições deste trabalho. Com este aparelho é possível medir a iluminação natural e artificial.

Assim como mostra a Figura 10, o luxímetro possui três elementos fundamentais: o display, que indica o iluminamento do ponto medido; os botões de configuração que servem para ajustar a escala de medida; e o sensor ou fotocélula, que é o principal elemento deste aparelho, pois é através deste sensor que é possível fazer a leitura e medida do iluminamento do local.



Figura 10 – Luxímetro

Fonte: Minipa, 2013 (adaptado pelo autor).

Para realizar as medições necessárias neste trabalho, foi utilizado o Luxímetro Digital MLM-1011 da Minipa, com faixa de medida que pode variar de 1 à 100.000 Lux.

2.4.1 Metodologia de Medição da Iluminância Média - ABNT-ISO 8995-1/2013

De acordo com a ABNT-ISO 8995-1/2013, para realizar as medições de iluminância e cálculo da iluminância média do ambiente é necessário construir uma

malha no ambiente, distribuindo uniformemente os pontos de leitura. A malha pode ser definida utilizando-se a Figura 11, na qual se traça um linha vertical iniciada no valor do comprimento do ambiente, definido na figura como “Dimensão do plano de referência”.

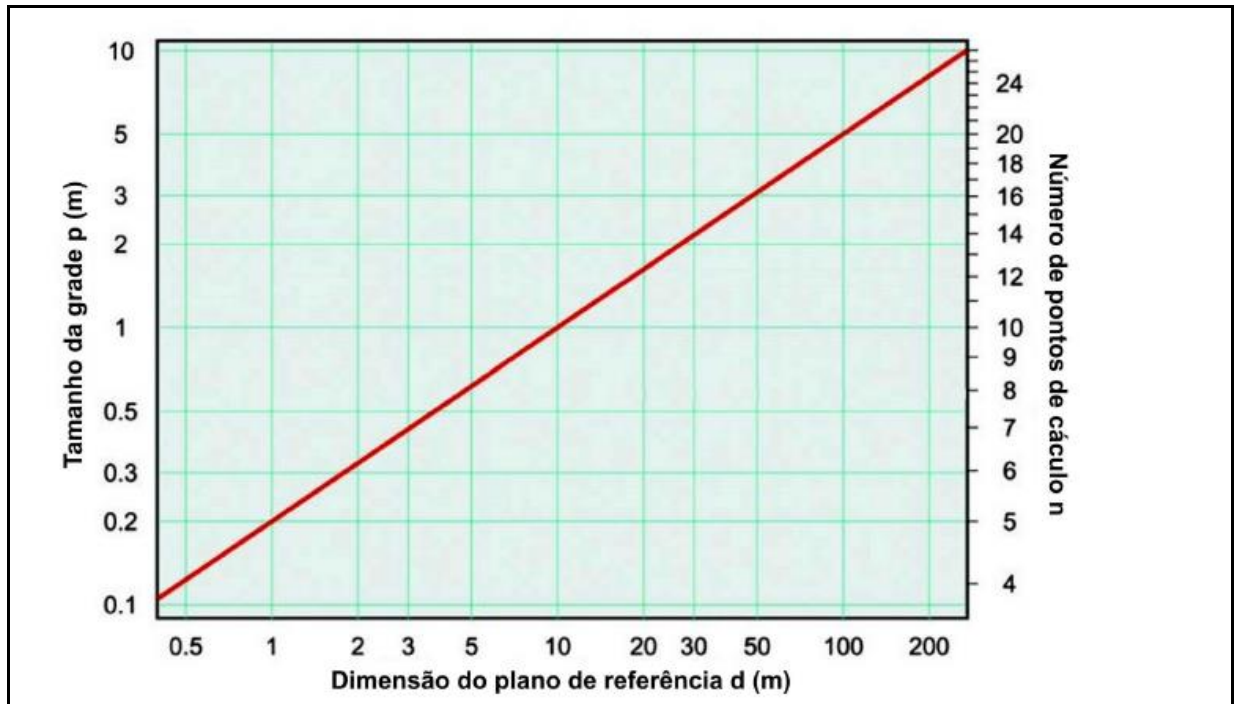


Figura 11 – Dimensionamento da malha
Fonte: ABNT-ISO 8995-1/2013.

Quando a linha vertical traçada coincidir com a curva vermelha da figura, a projeção horizontal à esquerda apresentará o tamanho da grade e à direita o número de pontos de medição.

Usando um ambiente de 50 m de comprimento, por exemplo, ter-se-á grades com tamanho aproximado de 3 m que perfarão 16 pontos de medição. Este valor pode ser usado também para a largura do ambiente, formando uma grade de quadrada, uma vez que a relação entre o comprimento e a largura permaneça entre 0,5 e 2. Caso a relação seja diferente da apontada anteriormente, o processo para definição de pontos e grades na dimensão da largura será similar ao formado para a dimensão comprimento, formando, neste caso, uma grade retangular.

Cita a norma referida, ainda, no seu capítulo 6º item 6.1, que a grade de pontos deve ser a mesma utilizada para o cálculo e para a medição dos valores de iluminância média, bem como a mesma para medições repetidas.

Para encontrar a iluminância média do ambiente deve ser calculada a média simples de todos os pontos identificados na matriz de medições, respeitando-se as áreas de diferentes tarefas, como áreas de trabalho e áreas de entornos.

2.5 ENGENHARIA ECONÔMICA

A engenharia econômica visa analisar possíveis propostas e compará-las quanto ao custo e ao tempo necessário para que cada uma delas tenha o valor investido transformado em benefícios.

Os estudos sobre engenharia econômica iniciaram nos Estados Unidos em 1887, quando Arthur Wellington publicou seu livro "The Economic Theory of Railway Location", texto que sintetizava análise de viabilidade econômica para ferrovias. Engenharia econômica é importante para todos que precisam decidir sobre propostas tecnicamente corretas, e seus fundamentos podem ser utilizados tanto para empresas privadas como estatais. Todo o fundamento da engenharia econômica se baseia na matemática financeira, que se preocupa com o valor do dinheiro no tempo. (PAMPLONA, 2013, p. 3).

Os indicadores mais utilizados comumente na engenharia econômica são o *Payback* (PB), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Valor Presente Líquido (VPL), que serão abordados a seguir.

2.5.1 Payback.

O *Payback*, ou prazo de recuperação do investimento, é uma das técnicas de análise de investimentos mais utilizadas. Esta técnica visa analisar propostas onde o prazo de recuperação de investimento deve ser menor que o prazo de vida útil do

investimento. Quando o prazo de recuperação é menor que o prazo de vida útil, o investimento torna-se viável, caso contrário a proposta analisada é considerada inviável. (LUNELLI, 2013)

Ao analisar duas ou mais propostas, é importante comparar o tempo percentual de investimento e de retorno. A proposta que apresentar um percentual de retorno maior será a proposta mais viável.

Para investimentos prolongados deve-se considerar o valor do dinheiro no tempo, a forma de fazer esta consideração é usar o *payback* composto. Este indicador apresenta sua relação dada a juros compostos, fato este que compensa o tempo prolongado de investimento, considerando todos os valores lançados como presentes.

2.5.2 Valor Presente Líquido (VPL)

VPL também é uma função utilizada para análise de viabilidade de projetos de investimentos, esta função encontra o valor presente líquido, para tanto é feita a somatória dos valores dos fluxos de caixa (entradas ou saídas) estimados de uma aplicação, quando estes são trazidos para o valor presente, calculados a partir de uma taxa dada de seu período de duração (LUNELLI, 2013)

Dependendo da entrada e saída de caixa, os fluxos estimados podem ser positivos ou negativos, caso o VPL seja negativo, o projeto será considerado inviável. A taxa que é fornecida à função representa o rendimento percentual esperado do projeto e pode ser comparada à taxas de juros comerciais ou bancárias. A Equação (5) apresenta o cálculo do Valor Presente Líquido (VPL).

$$VPL = I + \sum_{t=1}^n \left(\frac{R_t}{(1+k)^t} \right) + \frac{Q}{(1+k)^n} \quad (5)$$

Onde VPL é valor presente líquido, I é o investimento de capital, R_t é o retorno depois de descontados os juros, k é a taxa de juros decimal, Q o valor residual e t o tempo em anos. Se a análise do VPL tomar como tempo n a vida útil do sistema

avaliado, o valor residual Q é considerado nulo, tendo parte da expressão anulada e resultando, o valor presente líquido, na Equação (6).

$$VPL = I + \sum_{t=1}^n \left(\frac{R_t}{(1+k)^t} \right) \quad (6)$$

Sendo VPL o valor presente líquido, I o investimento de capital, R_t o retorno depois de descontados os juros, k é a taxa de juros decimal.

2.5.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

A Taxa Interna de Retorno (TIR), que vem do inglês *Internal Rate of Return* (IRR), representa a rentabilidade gerada por determinado investimento, ou seja, representa uma taxa de juro, tal que, se o capital investido tivesse sido colocado a essa taxa, obter-se-ia exatamente a mesma rentabilidade final.

Assim como o *Payback*, a TIR serve para análise de viabilidade de um investimento, visando a economia gerada em função do tempo. A TIR trata os valores a juros compostos, o que considera a valorização do dinheiro no tempo, ideal para analisar investimentos de longo prazo (LUNELLI, 2013)

A Equação (7) apresenta o cálculo do Valor Presente Líquido (VPL)

$$0 = VPL = I + \sum_{t=1}^n \left(\frac{R_t}{(1+TIR)^t} \right) + \frac{Q}{(1+TIR)^n} \quad (7)$$

Onde, VPL é valor presente líquido; TIR é a taxa interna de retorno; I é o investimento de capital; R_t é o retorno depois de descontado o juro referencial; Q o valor residual e, t o tempo em meses.

Sendo assim, é possível afirmar que o projeto que apresentar indicadores positivos, visando o melhor custo benefício, é a melhor proposta de investimento. O capítulo 3º, a seguir, abordará a metodologia do trabalho em estudo, onde será apresentada a empresa, a medição do ambiente e os dimensionamentos luminotécnicos dos três sistemas de iluminação propostos.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo uma breve apresentação da empresa é realizada no item 3.1. Os dados levantados na medição da iluminância média do barracão e também os cálculos realizados para verificar a quantidade de luminárias necessária para adequar o sistema atual, são mostrados na seção 3.2. Finalmente são dimensionados os três diferentes tipos de lâmpadas, a fim de analisar a viabilidade técnico econômica da substituição do sistema de iluminação do barracão industrial estudado.

3.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

A empresa referente a este estudo foi fundada no ano de 1994 e atua no ramo de metalurgia e comunicação visual. Com matriz em Foz do Iguaçu, Paraná, e filial em *Ciudad Del Este*, Paraguai, atende seus clientes independentemente do porte do serviço, realizando desde fabricação de grandes estruturas metálicas para indústrias até pequenas estruturas para residências.

Na matriz, em Foz do Iguaçu, a empresa está dividida em três setores: metalúrgica, funilaria e comunicação visual. A estrutura física comporta dois barracões, um da funilaria e comunicação visual e o outro da metalúrgica, sendo este segundo barracão o objeto do estudo.

O barracão em estudo possui dimensões de 20 metros de comprimento e 20 metros de largura totalizando uma área de 400 m², e possui pé direito de 8 metros. Como o estudo é sobre iluminação, a altura de instalação das luminárias (em relação ao plano de trabalho), denominada H_{LP}, é uma informação fundamental para o projeto de iluminação, sendo essa igual a 5 metros. O plano de trabalho considerado neste estudo é de 1 metro do piso, devido à presença de cavaletes nos quais as barras são apoiadas para a realização do trabalho, conforme entrevista realizada com o proprietário.

A estrutura física do barracão é construída em alvenaria e o piso é feito em cimento bruto. As paredes são pintadas em cores de média refletância e o piso é

pintado de cinza escuro. A estrutura que sustenta o telhado é toda feita em metal e as telhas são de zinco, o barracão não possui forro, sendo as luminárias instaladas nas “tesouras” de sustentação estrutural do barracão. O sistema de iluminação atualmente instalado consiste em seis luminárias do tipo refletor com lâmpadas de Vapor de Mercúrio de 250 W cada uma, dispostas em duas colunas de três luminárias produzindo luz difusa. A Figura 12 mostra o esboço do barracão com as dimensões citadas e a localização das luminárias instaladas.

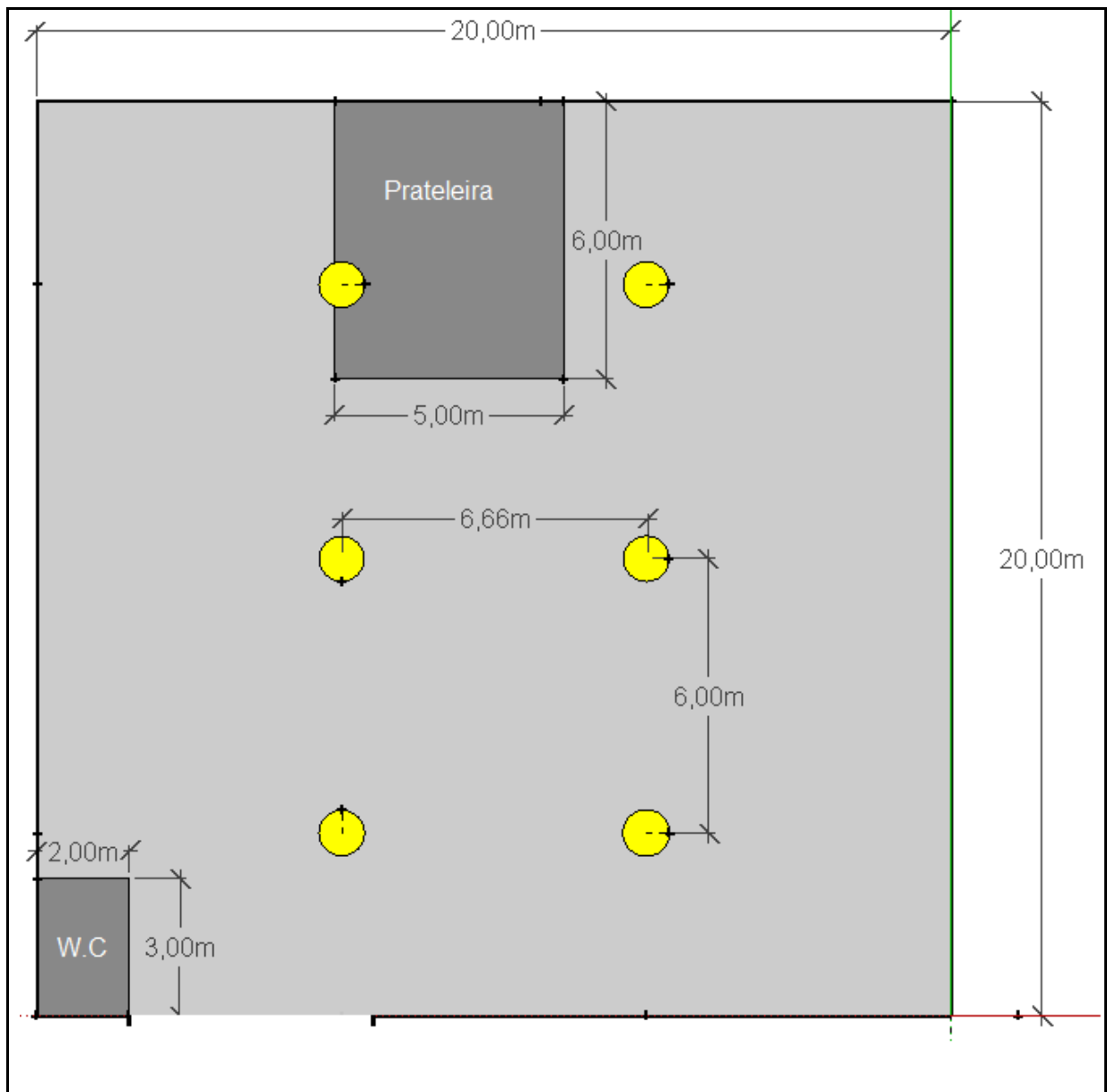


Figura 12 – Esboço do Barracão industrial estudado

Fonte: O autor

Conforme apresentado na Figura 12, no barracão há um banheiro com 6 m² de área, com pé direito de 3 metros. Também se percebe, em uma das laterais do

barracão, uma prateleira para armazenamento de barras metálicas e outros materiais, com uma área de 30 m² e com altura de 4,5 metros de altura. Nestes dois locais (banheiro e prateleira) não foram realizadas as medições, foram considerados como obstruções no plano de trabalho.

Por se tratar de um ambiente onde são feitas atividades de corte, solda e dobra de barras metálicas, utilizadas para a fabricação de estruturas, o ambiente foi considerado como sujo, neste estudo.

3.2 MEDIÇÃO DA ILUMINÂNCIA MÉDIA DO BARRACÃO

A malha que definiu os pontos de medição foi construída usando a Figura 11 conforme especificado no item 2.4.2, foram desconsiderados o espaço destinado à prateleira e ao banheiro. A malha apresenta 130 pontos de medição distantes 1,58 m entre si. Os pontos próximos às laterais estão distantes 0,79 m das paredes, respeitada a faixa marginal de 0,5 m.

As medições foram realizadas a uma altura de 1m do solo pois os cavaletes montados para execução das tarefas possuem esta altura.

As medições foram realizadas no dia 26/09/2013 entre às 19h00 e às 23h00 e, com estas, calculou-se o valor do iluminamento médio encontrado pela média simples das medições realizadas.

Os resultados são apresentados no capítulo 4^o, na forma de figuras que indicam cada uma das medições de iluminância realizada em cada ponto indicado pela metodologia.

3.3 CÁLCULO DE LUMINÁRIAS NECESSÁRIAS PARA MANUTENÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ATUAL

O sistema atualmente instalado no barracão é composto por seis lâmpadas de vapor de mercúrio, modelo HPL-N 250W E40 HG 1SL. Estas lâmpadas estão instaladas em luminárias tipo RPF-8 A. Este conjunto de lâmpada e luminária

apresenta as seguintes características: Vida Útil de 16.000 horas; Fluxo Luminoso de 12.700 Lm por luminária; e Temperatura da cor de 4.100 K.

A metodologia aplicada para o cálculo do número de luminárias necessárias para a manutenção do sistema de iluminação atual considerou as luminárias existentes no barracão foi o método de Lúmens, conforme o item 2.3, sendo adotado o fluxograma apresentado na Figura 8.

O nível de iluminamento (E), especificado no item a, da Figura 8, foi encontrado na norma ABNT/NBR ISO 8995-1/2013.

Para determinação do item b¹, adotou-se a Equação (1) para calcular o fator do local (K). As cores de teto, parede e piso foram consideradas de tonalidades escuras na definição do índice de reflexão de cores.

Para definição do fator de utilização foi adotada a Tabela 4 que segue, proposta por Lumicenter (2013).

Tabela 4 – Fator de Utilização

(K)	Fator de Utilização (η) (%)								
	751	731	711	551	531	511	331	311	000
0	84	84	84	81	81	81	77	77	77
1	76	74	72	73	71	70	71	69	68
2	69	65	62	66	63	60	64	61	59
3	62	57	53	60	56	53	58	54	52
4	56	51	47	54	50	46	53	49	46
5	51	46	42	49	45	41	48	44	41
6	46	41	37	45	40	37	44	40	37
7	43	37	34	42	37	33	41	36	33
8	39	34	30	39	34	30	38	33	30

Fonte: Lumicenter, adaptada pelo autor.

A determinação do fator de depreciação abordado no item c da Figura 8 foi realizada conforme a metodologia apresentada por (Garcia, 1996).

Para o cálculo do fluxo luminoso no ambiente foi utilizada a Equação (2), enquanto o número de luminárias foi calculado pela Equação (3).

A etapa seguinte consistiu na determinação da matriz de distribuição das luminárias que, conforme a norma vigente, devem ser equidistantes e difusas. Com

a matriz de distribuição definida, o número de luminárias foi revisto e a iluminância média do ambiente foi recalculada.

Os resultados desta etapa foram apresentados em uma figura que mostra o fluxograma e os dados parciais. Por fim, foram definidas as distâncias entre as paredes e as luminárias, também entre as próprias luminárias e apresentado o esboço de instalação do sistema.

3.4 CÁLCULO DE LUMINÁRIAS NECESSÁRIAS PARA SUBSTITUIÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ATUAL

Nesta seção são apresentados três diferentes tipos de lâmpadas que são propostos como alternativas na substituição do sistema atual de iluminação. A metodologia aplicada para o cálculo do número de luminárias necessárias foi o método de Lúmens, conforme apresentado no capítulo 2^o, sendo adotado o fluxograma apresentado na Figura 8. Os dados do ambiente, bem como das luminárias e lâmpadas propostas são usados da mesma forma abordada na seção 3.3 deste capítulo.

O nível de iluminação (E), especificado no item a, da Figura 8 foi encontrado na norma ABNT/NBR ISO 8995-1/2013.

A Equação (1) foi utilizada para calcular o fator do local (K) e as cores de teto, parede e piso foram consideradas de tonalidades escuras na definição do índice de reflexão.

O fator de utilização foi estabelecido utilizando a Tabela 4 proposta por Lumicenter (2013), de forma análoga à estabelecida no item 3.3 deste capítulo.

A determinação do fator de depreciação foi realizada conforme a metodologia apresentada por (GARCIA JR., 1996).

Para o cálculo do fluxo luminoso no ambiente foi utilizada a Equação (2), onde cada lâmpada proposta apresentou resultado diferente e, por conseguinte, diferente número de luminárias, que foi calculado pela Equação (3)

As etapas seguintes consistiram na determinação da matriz de distribuição das luminárias que, em alguns casos alteraram o número de luminárias e, por este motivo, a iluminância média do ambiente foi recalculada sendo observada a sua

proximidade à iluminância normatizada (como sugerido na norma ABNT/NBR ISO 8995-1/2013).

Os resultados desta etapa foram apresentados na forma de tabela. Posteriormente foram definidas as distâncias entre as paredes e as luminárias, também entre as próprias luminárias e apresentados três esboços de instalação do sistema, uma para cada lâmpada escolhida.

3.5 PROJETO DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA MANUTENÇÃO OU SUBSTITUIÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO INSTALADO

Após realizar as medições do sistema de iluminação atualmente instalado, calcular o iluminamento médio e o número de luminárias para as quatro opções ofertadas, foi realizada a análise econômica de cada proposta.

Para verificar a viabilidade econômica de cada proposta foi levado em conta o valor de aquisição (material) e de instalação (mão de obra). A fatura de energia elétrica ao longo da vida útil das lâmpadas propostas, neste cálculo foi considerado (conforme informado pelo proprietário) que a empresa trabalha 10 horas diárias e que as lâmpadas ficam ligadas todo este tempo.

Com base na proposta de melhoria do sistema atual foram analisadas, comparativamente, as propostas de substituição do sistema de iluminação. Isto porque o sistema atual não se apresenta adequado às normas luminotécnicas vigentes. Assim, neste estudo, será chamado de sistema de iluminação de referência o resultado do estudo feito para adequar o sistema de iluminação atual (que conta com seis lâmpadas de vapor de mercúrio de 250 W). O sistema de referência que utiliza lâmpadas de vapor de mercúrio 250 W, mas em número maior que o atualmente instalado.

Desta forma o custo de aquisição de cada sistema diferente foi deduzido do valor necessário para adequar o sistema.

Da mesma forma, foram comparadas as faturas mensais de energia elétrica, a diferença no consumo de energia e no valor das faturas mensais foram usadas como valores de análise do investimento.

Para encontrar a viabilidade econômica foi elaborada uma tabela que apresenta o valor investido em cada proposta, o indicador PB construído em planilha eletrônica por lançamentos mensais, e os indicadores VPL e TIR, de cada proposta, por meio das equações (6) e (7), respectivamente.

Os critérios de determinação da viabilidade foram comparativos, sendo a melhor opção aquela proposta de menor tempo de retorno (PB). Como critério classificatório de viabilidade, o PB deve ser menor ou igual à metade da vida útil do sistema de iluminação. Neste estudo foi adotado, ainda, maior TIR positivo e maior VPL positivo para adoção do sistema ideal de iluminação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 MEDIÇÃO DA ILUMINÂNCIA MÉDIA DO BARRACÃO

A malha de pontos de medição é apresentada na Figura 13. A figura é um esboço do barracão com os pontos nos quais foram realizadas as leituras.

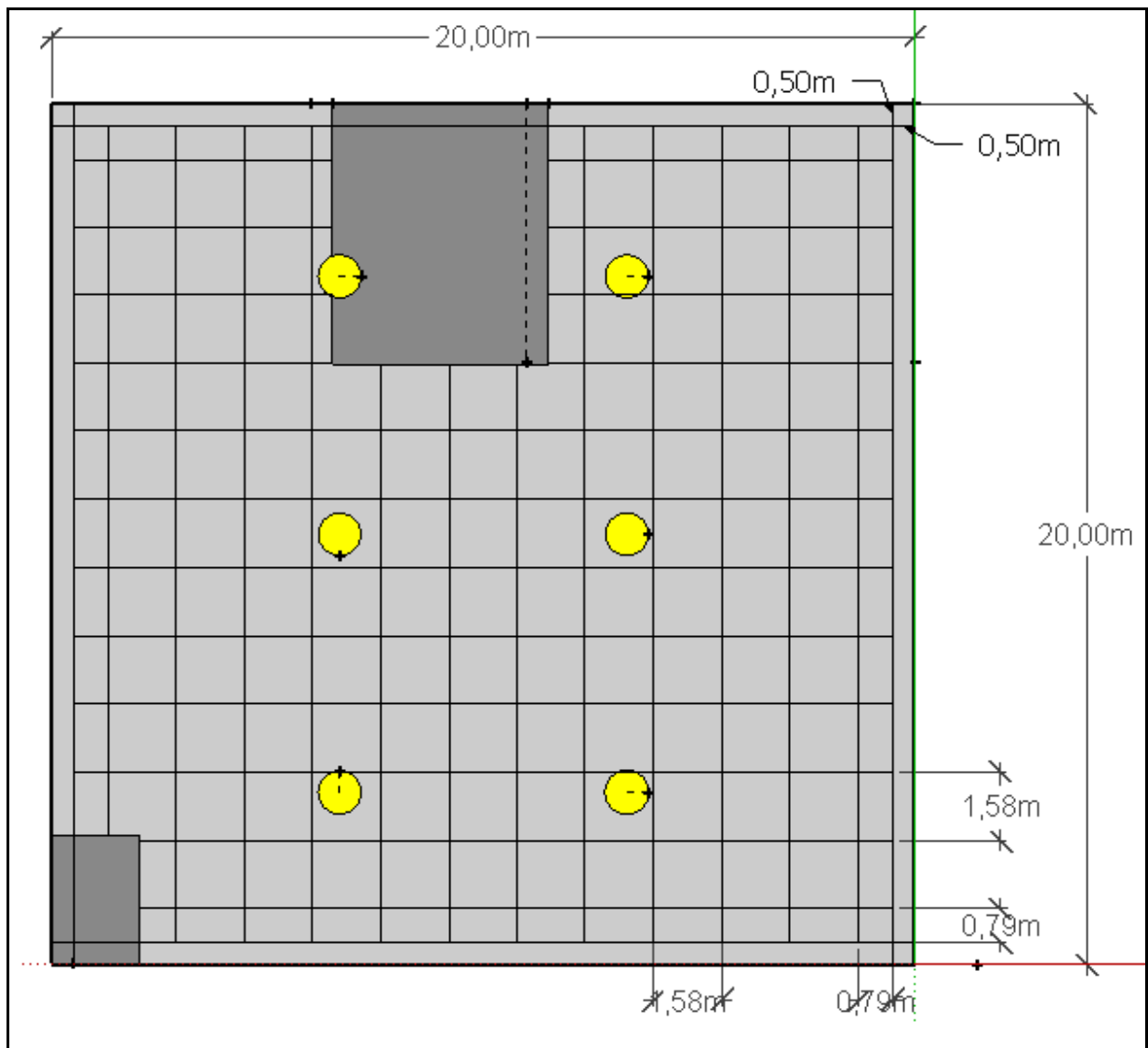


Figura 13 - Esboço do barracão com malha demarcada para medição
Fonte: O Autor.

A medição da iluminância em cada ponto do barracão é apresentada na Figura 14.

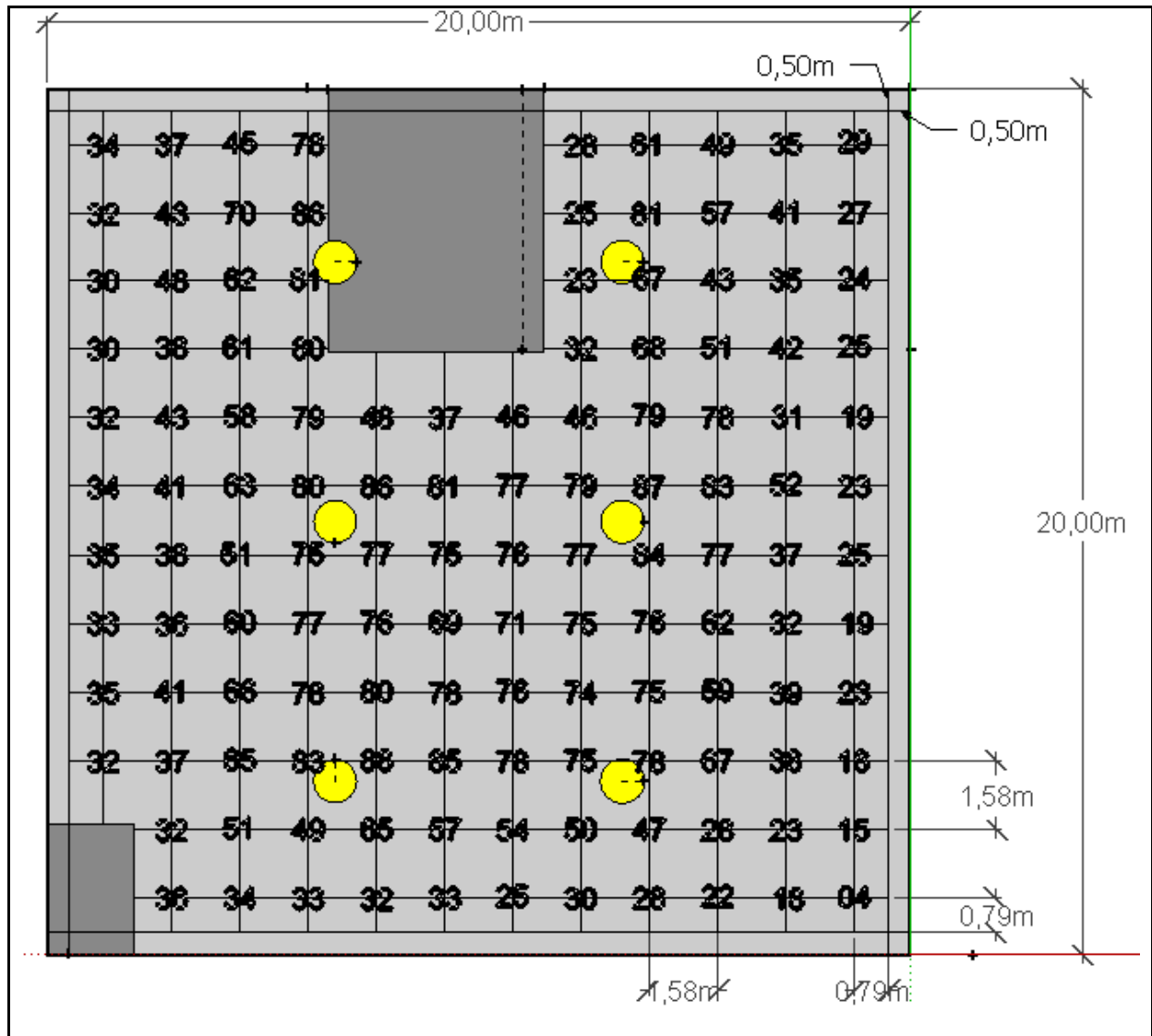


Figura 14 – Esboço do barracão com a Iluminância medida em cada ponto.
Fonte: O autor

Com os dados apresentados na Figura 14 foi calculada a Iluminância Média do ambiente, que resultou no valor de 51,7 lux. A iluminância média do barracão está abaixo da indicada pela ABNT/NBR ISO 8995-1/2013, que é de 200 lux.

4.2 CÁLCULO DE LUMINÁRIAS NECESSÁRIAS PARA MANUTENÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ATUAL

Esta etapa do estudo visou calcular o número de luminárias necessárias para a manutenção do sistema de iluminação atual. A Tabela 5 apresenta os resultados do cálculo de Lúmens adotado neste item. O fator de utilização (η) igual a 0,64 foi

encontrado com base na Tabela 4 utilizando os critérios $K = 2$ e índice de reflexão 331. Como citado no item c da seção 2.3 deste trabalho, o fator de depreciação (d) adotado é igual 0,90, devido a manutenção e a instalação de lâmpadas e luminárias novas e limpas.

Tabela 5 - Cálculo luminotécnico do barracão utilizando as lâmpadas instaladas no sistema atual

	Unidade	Valor
Nível de iluminamento (E)	Lux	200
Fator do local (K)	***	2
Índice de reflexão de cores do ambiente	***	331
Fator de utilização (η)	***	0,64
Luminária e lâmpada(s)	***	Vapor de mercúrio HPL-N 250 W E40 HG 1SL em Luminária HDK 742 c/ GDK 742 400 W
Vida útil da lâmpada	Horas	16.000
Fator de depreciação (d)	***	0,90
Fluxo total do ambiente (ϕ_T)	Lúmen	138,888
Numero mínimo de luminárias (N)	Und.	11
Numero de luminárias escolhido (N')	Und.	12
Iluminância média projetada (E')	Lux	219,5
Matriz de luminárias distribuídas	***	(4 x 3)

Fonte: O Autor.

Conforme apresentado na Tabela 5, serão necessárias mais seis lâmpadas para que o nível de iluminamento seja adequado à norma vigente. O barracão deverá conter doze luminárias instaladas em uma matriz 4 x 3 m. A iluminância projetada do ambiente nesta configuração será de 219,5 lux.

As distâncias apresentadas na Figura 15 mostram que, no sentido longitudinal, as luminárias ficarão distantes das paredes 2,5 m. A distância entre cada luminária deverá ser de 5 m, medida no centro da luminária.

As distâncias transversais das luminárias, em relação às paredes, serão de aproximadamente 3,3 m. Já as distâncias entre cada luminária serão de 6,7 m, aproximadamente.

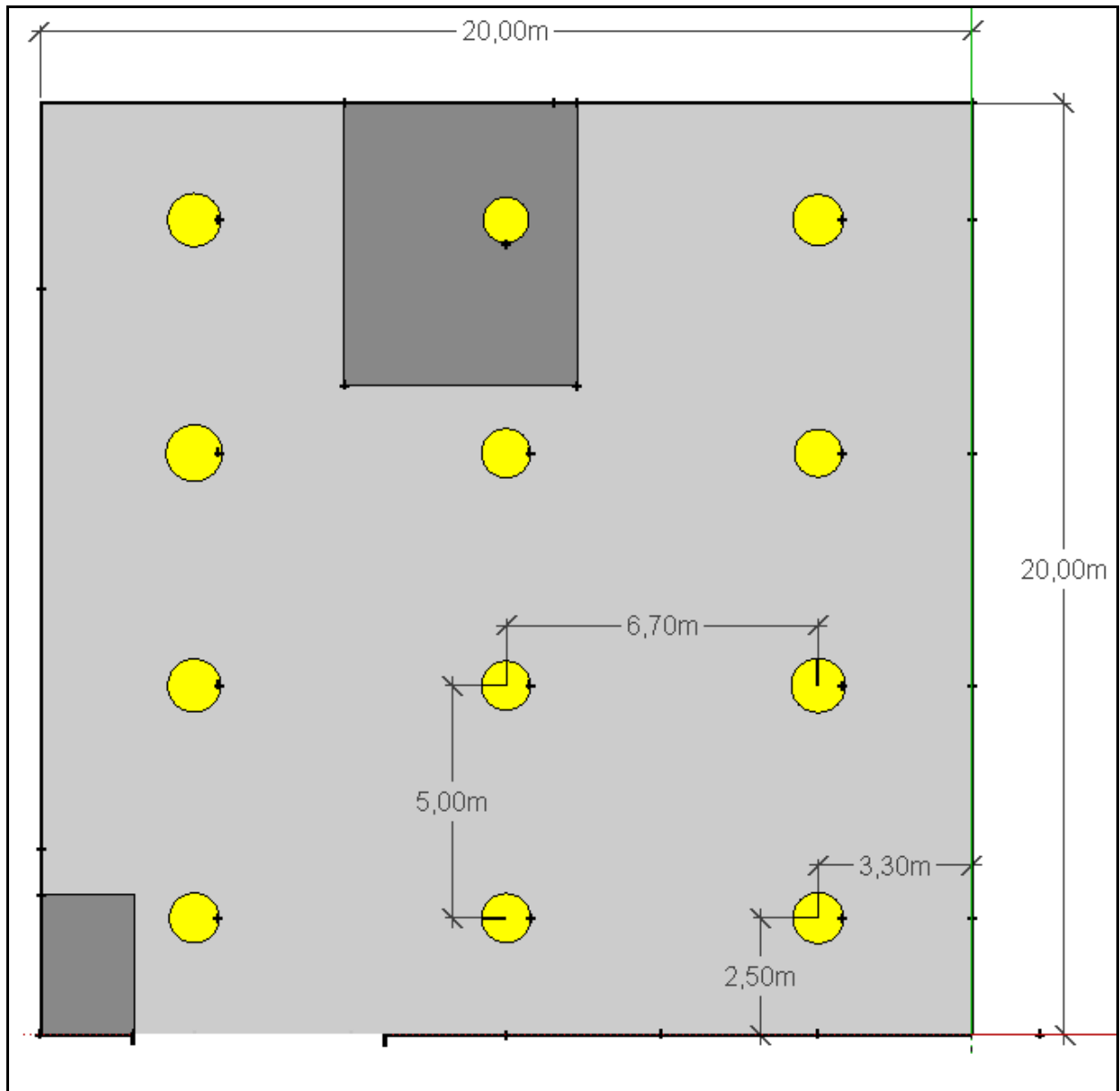


Figura 15 – Esboço do barracão com as 12 luminárias HDK 742 e Lâmpadas de vapor de mercúrio HPL-n 250 W, necessárias para Iluminamento mínimo normatizado.

Fonte: O Autor.

4.3 CÁLCULO DE LUMINÁRIAS NECESSÁRIAS PARA SUBSTITUIÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ATUAL

Nesta seção são apresentados três diferentes tipos de lâmpadas que são propostos como alternativas na substituição do sistema atual de iluminação. O item 4.3.1 contempla o projeto do sistema de iluminação do barracão estudado com lâmpadas de vapor de mercúrio, alta pressão, modelo HPL-N 400 W instaladas em luminárias modelo HDK 742. No item 4.3.2 será projetado o sistema de iluminação

no barracão com as lâmpadas fluorescentes tubulares modelo Master TL5 HO 54 W instaladas em luminárias TCW 060A. Por fim, no item 4.3.3 o sistema de iluminação é projetado com as lâmpadas as LED Master Led Tube INS STD 24 W, também instaladas em luminárias TCW 060A.

4.3.1 Projeto do Sistema de Iluminação com Lâmpadas de Vapor de Mercúrio, Modelo HPL-N 400 W Instaladas em Luminárias Modelo HDK 742

A Tabela 6 apresenta o resultado dos cálculos pelo método de Lumens, para o modelo de lâmpada de Vapor de Mercúrio de alta pressão de 400 W.

Tabela 6 - Cálculo luminotécnico do barracão utilizando as lâmpadas de vapor de mercúrio HPL-N 400 W em luminária HDK 742

	Unidade	Valor
Nível de iluminamento (E)	Lux	200
Fator do local (K)	***	2
Índice de reflexão de cores do ambiente	***	331
Fator de utilização (η)	***	0,64
Luminária e lâmpada(s)	***	Vapor de mercúrio HPL-N 400 W E40 HG 1SL em Luminária HDK 742 c/ GDK 742 400 W
Vida útil da lâmpada	Horas	16.000
Fator de depreciação (d)	***	0,90
Fluxo total do ambiente (ϕ_T)	Lúmen	138,888
Numero mínimo de luminárias (N)	Und.	7
Numero de luminárias escolhido (N')	Und.	8
Iluminância média projetada (E')	Lux	253,4
Matriz de luminárias distribuídas	***	(4 x 2)

Fonte: O Autor.

Conforme apresentado na Tabela 6, serão necessárias 8 luminárias instaladas em uma matriz 4 x 2 m. A tabela indica um numero mínimo de luminárias necessárias, que para este caso são 7 luminárias. Porém a referida norma indica que a iluminância média não pode ser menor que a normatizada. Logo se entende que se a iluminância média for um pouco acima da normatizada não há problema. Então para que o projeto tenha luminárias equidistantes, foi adotado o uso de 8 luminárias, dispostas na matriz 4 x 2 como citado. A iluminância projetada do ambiente nesta configuração será de 253,4 lux. A Figura 16 apresenta o esboço do barracão com este sistema de iluminação projetado.

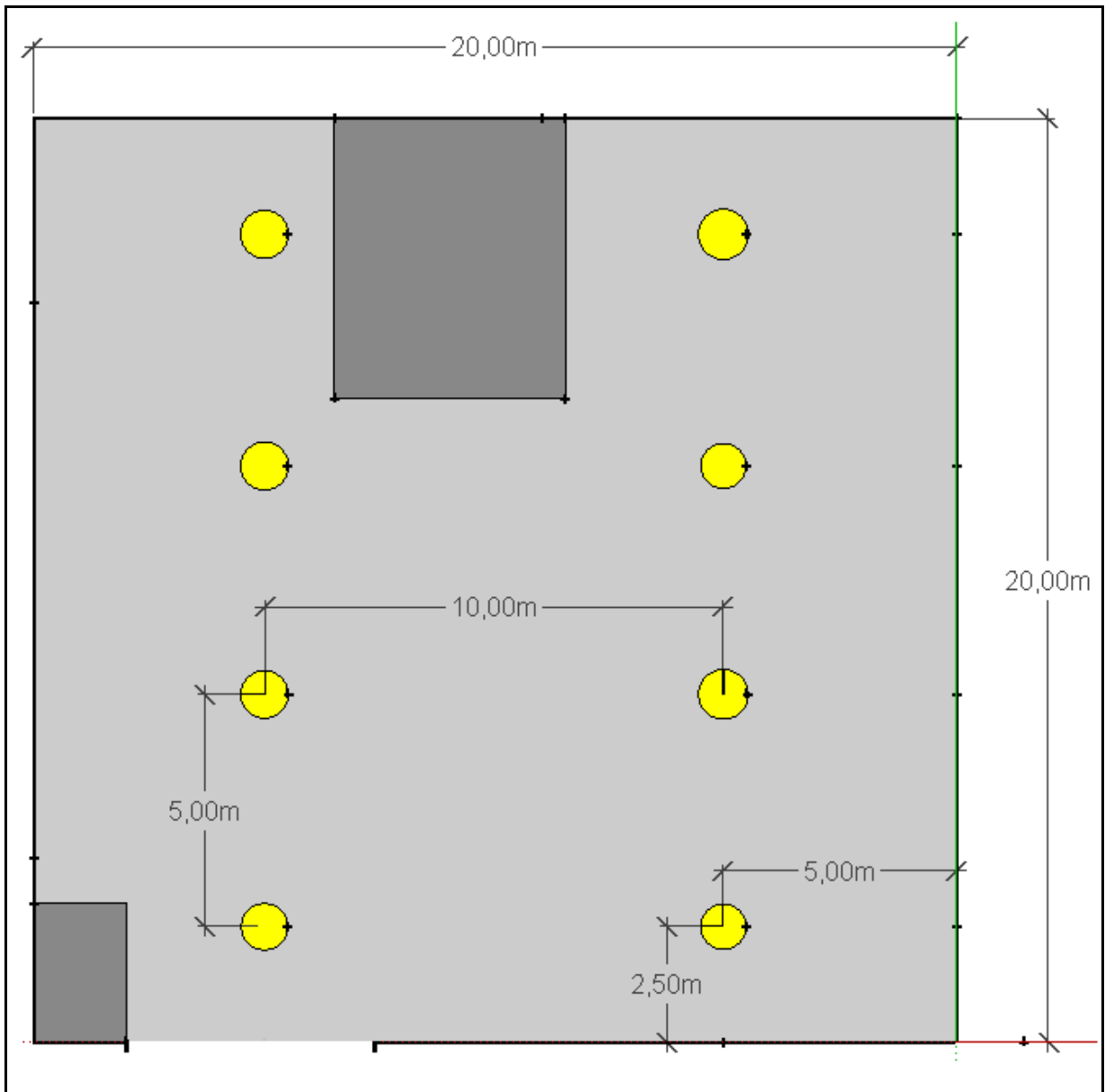


Figura 16 – Esboço do barracão com as 8 luminárias HDK 742 e Lâmpadas de vapor de mercúrio HPL-N 400 W, necessárias para iluminação mínimo normatizado.

Fonte: O Autor.

As distâncias apresentadas na Figura 16 mostram que, no sentido longitudinal, as luminárias ficarão distantes das paredes 2,5 m. A distância entre cada luminária deverá ser de 5 m. Já as distâncias transversais das luminárias, em relação às paredes, serão de 5 m e as distâncias entre cada luminária, neste sentido de instalação, serão de 10 m.

4.3.2 Projeto do Sistema de Iluminação com Lâmpadas Fluorescentes Master TL5

HO 54 W em Luminárias TCW 060A

A Tabela 7 apresenta o resultado dos cálculos pelo método de Lumen adotado no item, para o modelo de lâmpada fluorescente Master TL5 HO 54 W.

Tabela 7 - Cálculo luminotécnico do barracão utilizando as lâmpadas fluorescentes Master TL5 HO 54 W em luminárias TCW 060^a

	Unidade	Valor
Nível de iluminamento (E)	Lux	200
Fator do local (K)	***	2
Índice de reflexão de cores do ambiente	***	331
Fator de utilização (η)	***	0,64
Luminária e lâmpada(s)	***	Fluorescente Master TL5 HO 54 W/840 UNP em Luminária TCW 060A
Vida útil da lâmpada	Horas	19.000
Fator de depreciação (d)	***	0,90
Fluxo total do ambiente (ϕ_T)	Lúmen	138,888
Numero mínimo de luminárias (N)	Und.	14
Numero de luminárias escolhido (N')	Und.	15
Iluminância média projetada (E')	Lux	216
Matriz de luminárias distribuídas	***	(5 x 3)

Fonte: O Autor.

Conforme apresentado na Tabela 7, serão necessárias 15 luminárias instaladas em uma matriz 5 x 3 m. Assim como explicado no item 4.3.1, o número mínimo de luminárias para este caso é de 14 luminárias, mas para que estas luminárias fiquem dispostas de forma equidistantes, adotou-se 15 luminárias, formando a matriz 5 x 3. A iluminância projetada do ambiente nesta configuração será de 216 lux. A Figura 17, apresenta o esboço do barracão com este sistema de iluminação projetado.

As distâncias apresentadas na Figura 17 mostram que, no sentido longitudinal, as luminárias ficarão distantes das paredes 2m. A distância entre cada luminária deverá ser de 4 m. Já as distâncias transversais das luminárias, em relação às paredes, serão de, aproximadamente 3,3 m e as distâncias entre cada luminária, neste sentido de instalação, serão de 6,7 m (aproximadamente).

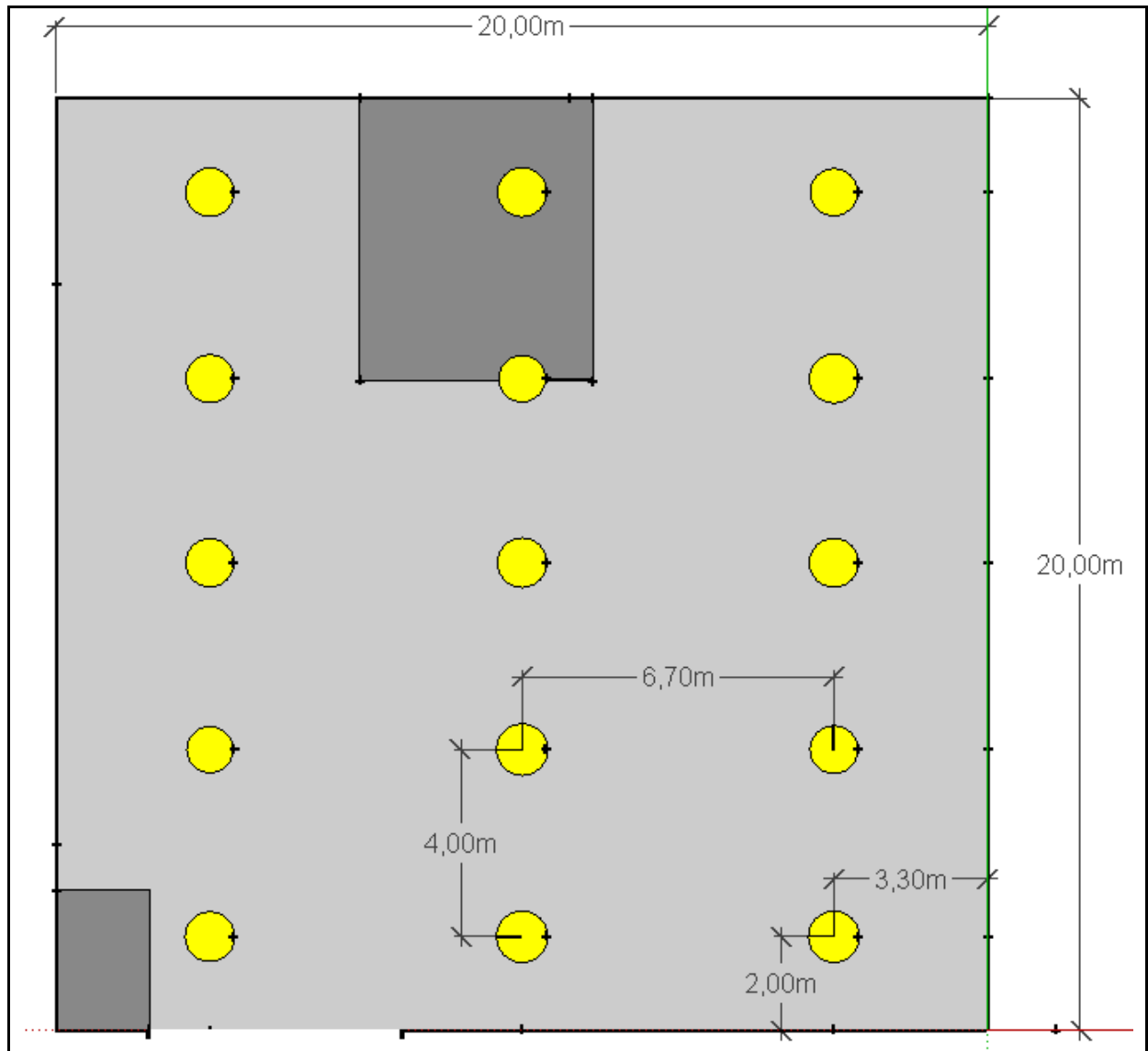


Figura 17 - Esboço do barracão com as 15 luminárias TCW 060A e Lâmpadas fluorescentes Master TL5 HO 54 W, necessárias para iluminação mínimo normatizado.

Fonte: O Autor.

4.3.3 Projeto do Sistema de Iluminação com Lâmpadas LED Master LED Tube INS STD 24 W em Luminárias TCW 060A

A Figura 18 apresenta o esboço do barracão com este sistema de iluminação projetado. As distâncias apresentadas na Figura 18 mostram que, no sentido longitudinal, as luminárias ficarão distantes das paredes 1,4m, aproximadamente, enquanto a distância entre cada luminária deverá ser de, aproximadamente, 2,9 m.

Já as distâncias transversais das luminárias, em relação às paredes, serão de 2 m e as distâncias entre cada luminária, neste sentido de instalação, serão de 4 m.

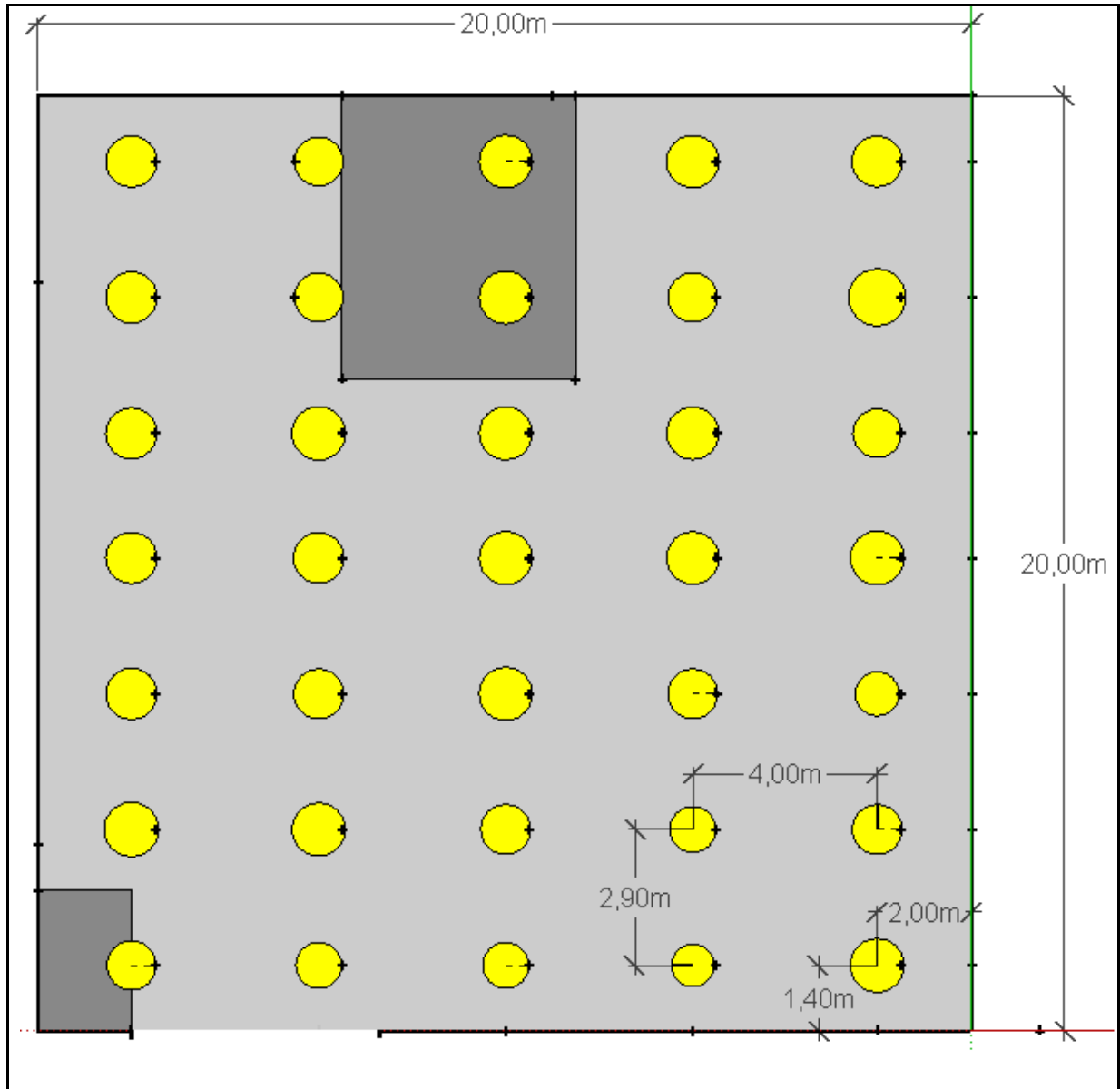


Figura 18 - Esboço do barracão com as 35 luminárias TCW 060A e as lâmpadas LED Master Led Tube INS STD 24 W, necessárias para Iluminamento mínimo normatizado.

Fonte: O Autor.

Os dados utilizados na construção da Figura 18 estão apresentados na Tabela 8 que mostra o resultado dos cálculos pelo método de Lumens adotado no item, para o modelo de lâmpada LED Led Tube 24 W.

Conforme apresentado na Tabela 8, serão necessárias 35 luminárias, uma à cima do mínimo calculado, para que assim fiquem dispostas de forma equidistantes

e instaladas em uma matriz 7 x 5 m. A iluminância projetada do ambiente nesta configuração será de 208,2 lux.

Tabela 8 - Cálculo luminotécnico do barracão utilizando as lâmpadas LED Master Led Tube INS STD 24 W em luminárias TCW 060^a

	Unidade	Valor
Nível de iluminação (E)	Lux	200
Fator do local (K)	***	2
Índice de reflexão de cores do ambiente	***	331
Fator de utilização (η)	***	0,64
Luminária e lâmpada(s)	***	LED Master LedTube INS STD 24 W/840 AP I em Luminária TCW 060A
Vida útil da lâmpada	Horas	40.000
Fator de depreciação (d)	***	0,90
Fluxo total do ambiente (Φ_T)	Lúmen	138,888
Numero mínimo de luminárias (N)	Und.	34
Numero de luminárias escolhido (N')	Und.	35
Iluminância média projetada (E')	Lux	208,4
Matriz de luminárias distribuídas	***	(7 x 5)

Fonte: O Autor.

4.4 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA MANUTENÇÃO OU SUBSTITUIÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO INSTALADO

Para definir o valor de cada investimento, foram considerados os valores unitários da luminária HDK742, usada para sustentar as lâmpadas de vapor de mercúrio de 250 W e também de 400 W custam R\$ 68,00. O valor unitário da luminária TCW 060A é de R\$ 48,00 sendo esta luminária utilizada para assentar as lâmpadas tubulares fluorescente e LED usadas neste estudo.

As lâmpadas de vapor de mercúrio de 250 W, de 400 W, a fluorescente H.O. de 54 W e a LED tubular de 24 W custam, respectivamente, R\$ 31,00; R\$ 35,00; R\$ 20,00 e R\$ 98,00. As lâmpadas de vapor de mercúrio utilizam reator com valor unitário de R\$ 12,30 e, por fim, o reator conectado a duas lâmpadas fluorescentes custa R\$ 5,10. Vale comentar que a lâmpada LED não necessita reator. Os valores foram cotados em loja de materiais elétricos do município de Foz do Iguaçu no dia 10/01/2014.

A mão de obra necessária para instalar cada luminária seria de R\$ 35,00, sem distinção do tipo de luminária, conforme o electricista montador. Valor orçado no município de Foz do Iguaçu, em 10/01/2014.

A viabilidade econômica de cada proposta segue na Tabela 9 onde a parcela da fatura atual de energia elétrica, despendida para o sistema de iluminação, consideradas 10 horas diárias de funcionamento, é de R\$ 133,40. Com a adequação do sistema de iluminação utilizando o mesmo tipo de lâmpadas instaladas (vapor de mercúrio com potência de 250 W) serão necessárias seis luminárias (além das seis já instaladas) o custo desta adequação seria de R\$ 877,80 e a parcela da fatura passaria para R\$ 266,80 mensais. Este valor foi considerado como valor de referência.

Tabela 9 - Dados econômicos do sistema de iluminação e as propostas de substituição

Especificação	UN	Proposta			
		1ª (250 W)	2ª (400 W)	3ª (2x45 W)	4ª (2x24 W)
Preço Luminária	R\$	68.00	68.00	48.00	48.00
Preço Lâmpada	R\$	31.00	35.00	20.00	98.00
Preço Reator	R\$	12.30	12.30	5.10	0.00
Mão de obra por luminária	R\$	35.00	35.00	35.00	35.00
Valor de aquisição do sistema (todo)	R\$	877.80	794.40	1,921.50	9,765.00
Eficiência Luminosa	Lm/W	50,8	55	89	86
Potência 1 Luminária (lâmpadas + reatores)	W	255	405	112	48
Potência sistema de iluminação proposto	W	3060	3240	1680	1680
Tempo de funcionamento diário	h	10	10	10	10
Tempo de funcionamento mensal (22 dias úteis)	h	220	220	220	220
Tempo de funcionamento pela VIDA ÚTIL	h	16000	16000	19000	40000
Expectativa mensal de vida	meses	72	72	86	181
Energia gasta mensalmente	kW.h	673.2	712.8	369.6	369.6
Fatura mensal	R\$	266.80	282.49	146.48	146.48
Energia gasta durante a vida útil	kW.h	4080	6480	2128	1920
Gasto na fatura pela Vida Útil	R\$	48.960	51.840	31.920	67.200
Payback (PB)	Mês	Referência	Inviável	16	81
Relação PB / Vida Útil	%	Referência	Inviável	19%	45%
Taxa interna de Retorno (TIR)	%	Referência	Inviável	6.23%	1.04%
Valor Presente Líquido (VPL)	R\$	Referência	Inviável	8.426,00	21.777,87

Fonte: O autor.

A análise da viabilidade econômica de cada proposta segue na Tabela 9 onde PB é o *Payback* composto, TIR é a taxa interna de retorno do investimento e VPL o valor presente líquido contados entre o valor investido para aquisição de cada sistema proposto e a economia gerada nas faturas mensais de energia elétrica. Considerando, ainda, uma taxa de juros mensal igual a 1%_{a.m.}.

O valor do kWh para consumidores tipo convencional B (conforme COPEL 15/01/2014) é de 0,39631 R\$.kWh⁻¹.

Na proposta de substituição do sistema por lâmpadas de vapor de mercúrio com potência de 400 W, serão necessárias duas novas luminárias para assentar as oito lâmpadas novas. Tendo aproveitamento das seis luminárias existentes, assim o valor de aquisição deste novo sistema será de R\$ 794,40, a de menor investimento para aquisição, apresenta uma representação na fatura mensal de R\$ 282,49. Neste sistema, a diferença entre a fatura proposta e a referência é negativa em R\$ 15,69, isto implica dizer que esta proposta apresentará maior consumo de energia elétrica do que a simples adequação do sistema, sendo esta proposta de substituição inviável.

A proposta de substituição do sistema de iluminação por outro com lâmpadas fluorescentes tubulares T5 custará R\$ 1.921,50 e apresentará uma parcela na fatura mensal de R\$ 146,48. Este sistema apresentará uma economia na fatura mensal de R\$ 120,32 e, por conta disso, terá o *payback* composto em 16 meses. A vida útil deste sistema de iluminação é prevista para 86 meses, desta forma o PB acontece aos 19% da vida útil do sistema. A taxa TIR foi de 6% e o VPL desta proposta foi de R\$ 8.426,00.

Por fim, ao propor a substituição do sistema atual pelo constituído com lâmpadas LED tubulares, o custo de aquisição será de R\$ 9.765,00. Este sistema apresentará uma parcela da fatura de energia elétrica idêntica ao sistema fluorescente, isto porque a relação entre o número de lâmpadas e a potência elétrica foi igual. Sendo a parcela de R\$ 146,48. Análise similar à economia na fatura mensal, que também será de R\$ 120,32. O *payback* composto desta proposta é 81 meses, 45% da vida útil estimada em 181 meses. A taxa TIR foi de 1% e o VPL desta proposta foi de R\$21.777,87.

Com esses dados pode-se concluir que, a TIR de 6% do projeto 3, bem maior que o custo do capital de 1%_{a.m.}, aponta o fato da viabilidade dessa opção de

investimento, mas não serve para comparar com as outras opções, uma vez que são investimentos de escalas diferentes.

A TIR de 1,04%a.m. do projeto em lâmpadas LED, por sua vez, mostra que esse projeto é marginalmente viável. Ou seja, um custo de capital um pouco mais elevado ($k > 1,04$) resultaria na inviabilidade do projeto.

Já o VPL positivo de ambos os projetos também concorda com a análise da TIR, mas mostra que ao longo da vida útil da lâmpada LED, que é bem maior, é gerada, apesar de mais lentamente, uma maior economia.

Todavia, analisando os três indicadores em conjunto, o projeto 3 é o mais atraente, mesmo tendo um VPL menor que o projeto 4 (lâmpadas LED), visto que o retorno se dá em uma fração do tempo que leva o projeto 4.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este estudo mostrou que a Iluminância média do ambiente, medida conforme procedimento apresentado pela norma ABNT/NBR ISO 8995-1/2013, foi de 51,7 lux, abaixo dos 200 lux recomendados. Para adequar o sistema atual, que é composto por seis luminárias e lâmpadas de vapor de mercúrio 250 W, serão necessárias mais seis lâmpadas que formarão uma matriz 4 x 3 m e apresentarão iluminância de 219,5 lux. Avaliando as três propostas de substituição do sistema de iluminação atual percebeu-se que serão necessárias 8 luminárias com lâmpadas de vapor de mercúrio 400 W instaladas em uma matriz 4 x 2 m (obtendo uma iluminância de 253,4 lux) ou 15 luminárias com duas lâmpadas tubulares fluorescentes cada em uma matriz 5 x 3 m (com iluminância de 216 lux) ou, ainda, 35 luminárias contendo duas lâmpadas tipo LED em uma matriz 7 x 5 m (obtendo uma iluminância de 208,2 lux).

A análise de viabilidade econômica mostrou que o custo para adequação do sistema atual será de R\$ 877,80 com acréscimo na fatura mensal de R\$ 133,40. Considerando estes valores como referência para substituição do sistema de iluminação, verificou-se que substituir o sistema atual por outro com lâmpadas de vapor de mercúrio com potência de 400 W custará R\$ 794,40 porém com aumento de R\$ 15,69 em relação ao valor de referência, isto implica dizer que esta proposta apresentará maior consumo de energia elétrica do que a simples adequação do sistema, sendo esta proposta de substituição inviável.

As propostas de substituição do sistema de iluminação por outros com lâmpadas fluorescentes tubulares e LED mostraram-se viáveis. O sistema composto por lâmpadas fluorescentes apresentou custo de aquisição de R\$ 1.921,50, *payback* composto de 16 meses (19% da vida útil), taxa TIR foi de 6% e o VPL desta proposta foi de R\$ 8.426,00. Já o sistema composto por lâmpadas LED apresentou custo de aquisição de R\$ 9.756,00, *payback* composto de 81 meses (45% da vida útil), A taxa TIR foi de 1% e o VPL desta proposta foi de R\$ 21.777,87.

Conforme critérios apresentados na metodologia, o sistema de iluminação recomendado foi o composto por lâmpadas fluorescentes tubulares por apresentar os menores valores de *payback* (menor que dois anos), 6%a.m. de taxa interna de retorno, comparada à taxa mensal de custo de capita de 1% e VPL positivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR ISO 8995-1/2013. **Iluminação de ambientes de trabalho.**

CAVALIN, Geraldo; Severino CERVELIN. **Instalações Elétricas Prediais**, 1999, 2ª edição. Ed. Érica, São Paulo – SP.

COPEL. **Tarifação Aplicável em 2013.** Disponível em < www.copel.com > Visualizado em 13/01/2014.

COMTREL. Disponível em < www.comtel.com.br > Visualizado em 13/02/2013.

COTRIM, Ademaro M. B. **Instalações elétricas**, 2009, 5ª edição. Ed. Pearson Prentice Hall, São Paulo – SP.

CREDER, Hélio. **Instalações Elétricas**, 2000, 14ª edição. Ed. LTC, Rio de Janeiro – RJ.

CREDER, Hélio. **Instalações Elétricas**, 2007, 15ª edição. Ed. LTC, Rio de Janeiro – RJ.

GARCIA JR., Eraldo. **Luminotécnica**, 1996. Ed. Érica, São Paulo – SP.

INDUSPAR, **Lâmpada de Vapor de Mercúrio.** Disponível em: <www.induspar.com> Visualizado em 02/09/2013.

ITAIM. Itaim Iluminação. Disponível em: <www.itaimiluminacao.com.br> Visualizado em: 07/08/2013.

LUMICENTER, **Lumisoft.** Disponível em:< www.lumicenteriluminacao.com.br >. Visualizado em 15/11/2013.

LUNELLI, Reinaldo Luiz. Análise de investimentos. Disponível em < www.portaldecontabilidade.com.br > Visualizado em 22/10/2013

MAMEDE, Filho. **Instalações Elétricas Industriais**, 2012, 8ª edição. Ed. LTC, Rio de Janeiro – RJ.

MINIPA, **Luxímetro.** Disponível em:< www.minipa.com.br > Visualizado em 21/08/2013.

MOREIRA, Vinicius de Araujo. **Iluminação Elétrica**, 1999, 1ª edição. Ed. Edgard Blucher LTDA, São Paulo – SP.

MSPC. **Informações técnicas.** Disponível em: <www.mspc.eng.br> Visualizado em: 25/06/2013.

NEGRISOLI, Manoel Eduardo Miranda. **Instalações Elétricas, projetos prediais em baixa tensão**, 1987, 3ª edição. Ed. Edgard Blucher LTDA, São Paulo – SP.

NISKIER, Julio; A. J. MACINTYRE. **Instalações Elétricas**, 1992, 2ª edição. Ed. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro – RJ.

OSRAM. **Leds**. Disponível em: < www.osram.com.br >, visualizado 29/07/2013

PAMPLONA, Edson de Oliveira. **Engenharia Econômica I**. Disponível em: < www.iepg.unifei.edu.br/edson/download/Apostee1.PDF > Visualizado em: 20/08/2013.

PHILIPS. **Conceito de iluminação**. Disponível em: < www.lighting.philips.com.br >, visualizado 25/06/2013.

PORTAL.SÃO.FRANCISCO. Disponível em: < www.portalsaofrancisco.com.br > Visualizado em: 28/05/2013.

SBQ. **A questão do mercúrio em lâmpadas fluorescentes**. Disponível em: < qnint.sbq.org.br > Visualizado em: 26/06/2013.

SEBENTAFG. Disponível em: < sebentafq.blogspot.com.br >. Visualizado em 28/05/2013.