

UNESP
Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

GUARATINGUETÁ
2013

VINICIUS CREMONESI VOLPONI

ESTUDO SOBRE ILUMINAÇÃO E BANCO DE CAPACITORES DE UMA TÍPICA
INDÚSTRIA METALÚRGICA.

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Henrique César Sampaio

Guaratinguetá
2013

V933e	Volponi, Vinicius Cremonesi Estudo sobre iluminação e banco de capacitores de uma típica indústria metalúrgica / Vinicius Cremonesi Volponi . – Guaratinguetá : [s.n], 2013 80 f. : il. Bibliografia : f. 78-80 Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2013 Orientador: Prof. Dr. Henrique César Sampaio 1. Iluminação 2. Fator de potencia I .Título. CDU 628.9
-------	--

ESTUDO SOBRE ILUMINAÇÃO E BANCO DE CAPACITORES DE UMA
TÍPICA INDÚSTRIA METALÚRGICA

VINICIUS CREMONESI VOLPONI

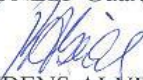
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO
COMO PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
GRADUADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

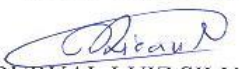
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO
DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Prof. Dr. Leonardo Mesquita
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. HENRIQUE CESAR SAMPAIO
Orientador/UNESP Guaratinguetá


Prof. Dr. RUBENS ALVES DIAS
UNESP Guaratinguetá


Prof. Dr. DURVAL LUIZ SILVA RICCIULLI
UNESP Guaratinguetá

Dezembro de 2013

DADOS CURRICULARES

VINICIUS CREMONESI VOLPONI

NASCIMENTO	25.04.1986 – CAMPINAS/SP
FILIAÇÃO	Anselmo Volponi Marcia Aparecida Cremonesi Volponi
1997/2000	Ensino Fundamental SESI, Campinas
2001/2002	Colégio Técnico SENAI “Prof. Dr. Euryclides de Jesus Zerbini”, Campinas
2001/2003	Ensino Médio EE “Adalberto Nascimento”, Campinas
2007/2013	Curso de Graduação em Engenharia Elétrica Universidade Estadual Paulista – UNESP – <i>Campus</i> de Guaratinguetá

Dedico este trabalho de maneira especial aos meus pais Anselmo e Marcia, que me apoiaram durante toda minha formação, à minha irmã Camila, à minha avó Marina e a minha namorada Bruna.

AGRADECIMENTOS

De maneira muito especial agradeço, primeiramente, a Deus pelo dom da vida e por nunca ter me abandonado durante os meus estudos na faculdade, e a Nossa Senhora da Graças, que sempre me deu forças nos momentos em que mais precisei.

Aos meus queridos pais, *Anselmo e Marcia*, que sempre me proporcionaram uma educação de qualidade, me ensinaram o sentido do que é ser família e nunca deixaram que me faltasse amor e carinho.

Ao meu orientador, *Prof. Henrique César Sampaio*, pela disposição e pelos ensinamentos profissionais transmitidos durante o período de estágio e trabalho de graduação. Pela sabedoria e experiência transferida em todas as nossas conversas.

Ao meu supervisor Ivan Rana, por me apoiar profissionalmente durante todo o período de estágio na empresa Liebherr Brasil.

À minha namorada *Bruna*, pela paciência e compreensão em relação ao tempo dedicado à faculdade.

À *República Palace II*, inclusive à *Célia*, que preencheu durante todos esses anos a distância da minha família. Agradeço pela amizade de cada um e por cada momento que passamos juntos.

E, também, agradeço aos membros da banca examinadora, *Prof. Rubens Alves Dias* e *Prof. Durval Luiz Silva Ricciulli*, pelo conhecimento transferido nas aulas, sempre com muita transparência e ótimo relacionamento com os alunos.

“Tenham coragem de nadar contracorrente e de não deixar que a esperança lhes seja roubada.”

Papa Francisco

VOLPONI, V. C. Estudo sobre a iluminação e análise do fator de potência para uma unidade industrial. 2013. 80 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

RESUMO

A utilização da energia elétrica para a obtenção de luz vem sendo um assunto bastante discutido atualmente, seja através de novas tecnologias que estão surgindo, pela busca de uma maior eficiência, diminuição do desperdício ou uso racional. Esse trabalho contempla um projeto luminotécnico aplicado a uma indústria metalúrgica baseado na Norma Brasileira 5413 que faz menção a níveis de iluminamento para interiores e, no caso desse trabalho, para uma cabine de jateamento. São discutidas maneiras para se melhorar o local de trabalho quanto à luminosidade apresentada antes do projeto e, também, depois de sua execução. Tecnologias são escolhidas pautadas em cálculos técnicos segundo os valores iluminância que se deseja atingir para o ambiente estudado. Todas as características pertinentes ao projeto são analisadas e discutidas criticamente, e no final propostas são apresentadas, relacionando umas com as outras em um quadro comparativo, para que a melhor solução seja aplicada de maneira prática no recinto. Resultados também são apresentados referentes à manutenção de um banco de capacitores para a correção do fator de potência, para a empresa metalúrgica estudada.

PALAVRAS-CHAVE: Projeto luminotécnico. Iluminação. Fator de potência. Grandezas luminotécnicas.

VOLPONI, V. C. Study on the analysis of lighting and power factor for one industry. 2013. 80 f. Graduate Work (Graduate in Electrical Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

ABSTRACT

The use of electricity for obtaining light has been quite an issue currently discussed, either through new technologies that are emerging, the quest for greater efficiency, reduced waste and rational use. This work comprises a lighting design applied to a metallurgical based Brazilian Standard 5413 which mentions levels of luminance for interior and, in the case of this work, for a sandblasting booth. Ways to improve the workplace and luminosity presented before the project and also after its implementation are discussed. Technologies are chosen guided by technical calculations according to the illuminance values they want to reach for the environment studied. All pertinent design features are critically analyzed and discussed, and at the end proposals are presented, relating to each other in a comparative framework, so the best solution is applied in a practical way in the enclosure. Results are also presented concerning the maintenance of a bank of capacitors to correct the power factor for the metals studied company.

KEYWORDS: Lighting Project. Lighting. Power factor. Lighting design quantities.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Iluminação pública no Brasil por região.....	18
Figura 2.2 – Iluminância.....	21
Figura 2.3 – Diferença entre a iluminância e luminância.....	22
Figura 2.4 – Relação entre as grandezas luminosas.....	23
Figura 3.1 – Cabine de Jateamento.....	39
Figura 3.2 – Curva de sensibilidade do olho humano.....	41
Figura 3.3 – Medidas da cabine de jateamento.....	45
Figura 3.4 – Luminária Itaim 4811 FA.....	49
Figura 3.5 – Gráfico de intensidade luminosa.....	55
Figura 3.6 – Gráfico de intensidade luminosa para luminárias variadas.....	55
Figura 3.7 – Comparação entre eficiência das lâmpadas.....	57
Figura 3.8 – Temperatura de cor.....	58
Figura 3.9 – Lâmpada Osram de vapor de sódio.....	58
Figura 3.10 – Distribuição de luminárias no teto.....	61
Figura 3.11 – Distribuição das luminárias para a cabine de jateamento.....	62
Figura 4.1 – Relação entre energia ativa e reativa.....	64
Figura 4.2 – Onda de tensão e corrente em fase.....	65
Figura 4.3 – Onda de corrente atrasada em relação à onda de tensão.....	66
Figura 4.4 – Onda de corrente adiantada em relação a onda de tensão.....	67
Figura 4.5 – Triângulo de potência.....	68
Figura 4.6 – Curva de carga reativa e capacitiva.....	70
Figura 5.1 – Período de ponta e fora de ponta.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Grandezas luminotécnicas.....	24
Tabela 2.2 – Iluminâncias por classe de tarefas visuais.....	26
Tabela 2.3 – Fatores determinantes da iluminância adequada.....	27
Tabela 2.4 – Iluminâncias por tipo de atividade.....	28
Tabela 2.5 – Fatores determinantes da iluminância adequada.....	30
Tabela 2.6 – Iluminâncias por classe de tarefas visuais.....	30
Tabela 2.7 – Iluminâncias por tipo de atividade.....	31
Tabela 2.8 – Índices de iluminância para laboratórios.....	32
Tabela 2.9 – Fatores determinantes da iluminância adequada.....	32
Tabela 2.10 – Iluminâncias por classe de tarefas visuais.....	33
Tabela 2.11 – Iluminâncias por tipo de atividade.....	34
Tabela 2.12 – Fatores determinantes da iluminância adequada.....	35
Tabela 2.13 – Iluminâncias por classe de tarefas visuais.....	36
Tabela 2.14 – Iluminâncias por tipo de atividade.....	36
Tabela 3.1 – Fatores determinantes da iluminância adequada.....	40
Tabela 3.2 – Iluminância por classe de tarefas visuais.....	42
Tabela 3.3 – Iluminâncias por tipo de atividade.....	43
Tabela 3.4 – Fator de depreciação.....	46
Tabela 3.5 – Fator de depreciação em relação ao período de limpeza.....	47
Tabela 3.6 – Fator de depreciação indicado pelos fabricantes Philips e Itaim.....	47
Tabela 3.7 – Valores de refletância em relação a cor.....	48
Tabela 3.8 – Valores de refletância em relação ao teto, parede e piso.....	50
Tabela 3.9 – Valores de refletância em relação ao teto, parede e chão.....	51
Tabela 3.10 – Interpolação para se achar o fator de utilização.....	51
Tabela 3.11 – Comparativo entre lâmpadas, segundo potência e fluxo luminoso.....	53
Tabela 3.12 – Comparação entre lâmpadas incandescentes, mistas e mercúrio.....	59
Tabela 3.13 – Comparação entre lâmpadas fluorescentes.....	59
Tabela 3.14 – Comparação entre lâmpadas de sódio e vapor metálico.....	60
Tabela 3.15 – Resultados.....	63
Tabela 5.1 – Fator de potência para o mês de fevereiro.....	72
Tabela 5.2 – Fator de potência para o mês de março.....	73

Tabela 5.3 – Fator de potência para o mês de abriu.....	74
Tabela 5.4 – Fator de potência para o mês de maio.....	75

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	Balanço Energético Nacional
ELETRONBRAS	Centrais Elétricas Brasileiras S.A
MIG/TIG	<i>Metal Inert Gas/Tungsten Inert Gas</i>
NBR 5413	Norma Brasileira 5413
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
RMS	<i>Root Mean Square</i> (Raiz Quadrática Média).
VM	Vapor de Mercúrio/Vapor Metálico.

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Comprimento do recinto	[m]
a	Distância longitudinal entre luminárias	[m]
B	Largura do recinto	[m]
b	Distância latitudinal entre luminárias	[m]
dA	Área da superfície iluminada	[m ²]
dI	Intensidade luminosa	[cd]
E	Iluminância	[lux]
F	Fluxo luminoso	[lm]
F_p	Fator de potência	[-]
F_{dl}	Fator de depreciação de serviço da luminária	[-]
F_u	Fator de utilização do local	[-]
H_{lp}	Altura da fonte de luz até o plano de trabalho	[m]
I	Corrente	[A]
T	Temperatura	[K]
K	Eficiência	[-]
L	Luminância	[cd/m ²]
$N_{lumin\ rias}$	Número de luminárias	[-]
$N_{l\ mpadas/lumin\ ria}$	Número de lâmpadas por luminária	[-]
P_{Ativa}	Potência ativa	[W]
$P_{Aparente}$	Potência reativa	[VA]
S	Área da superfície	[m ²]
U	Fator de utilização	[-]
V	Tensão	[V]
$\psi_{l\ mpada}$	Fluxo luminoso por lâmpada	[lm]
ψ	Fluxo luminoso	[lm]
	Ângulo entre a superfície iluminada e a vertical	[°]
$\eta_{Lumin\ ria}$	Eficiência da luminária	[-]
φ	Ângulo entre a potência ativa e aparente	[°]

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	ILUMINAÇÃO	17
2.1	Os sistemas de iluminação no Brasil	17
2.2	A NBR 5413.....	20
2.2.1	Conceitos básicos	20
2.2.2	Comentários	24
2.2.3	Tabelas de iluminância.....	25
2.2.3.1	Iluminância por classe de tarefa visual.....	25
2.2.3.2	Seleção da iluminância	27
2.2.3.3	Iluminância por tipo de atividade.....	27
2.2.4	A NBR 5413 para a indústria metalúrgica em estudo	28
2.2.4.1	Escritórios	29
2.2.4.2	Caldeiraria e Solda	32
2.2.4.3	Usinagem	34
3	ESTUDO APLICADO DE ILUMINAÇÃO	38
3.1	Comentários iniciais	38
3.2	Cabine de Jateamento.....	38
3.3	Aplicação da NBR 5410 para a cabine de jateamento	40
3.4	Projeto luminotécnico para a cabine de Jateamento	43
3.5	Cálculo luminotécnico e aprofundamento.....	44
3.6	Escolha das luminárias e disposição no recinto	54
3.7	Especificação da lâmpada	56
3.8	Resultados do sistema proposto de iluminação	60
4	CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA	64
4.1	Fator de potência	67
4.2	Causas do baixo fator de potência	68
4.3	Legislação	69
5	ANÁLISE DOS RESULTADOS DE CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA PARA A INDÚSTRIA METALÚRGICA.....	71

6	CONCLUSÕES	76
	REFERÊNCIAS	78

1 INTRODUÇÃO

Muitas vezes não se é tratada a energia elétrica com a devida importância que ela requer, uma vez que por conta da facilidade com que ela está disponível a todos não se leva tanto em consideração o seu uso racional, a sua conservação e a forma como lidar com esse bem de maneira a extrair o seu melhor rendimento nas atividades, sejam elas as mais distintas possíveis.

Porém, quando se trata da energia elétrica na indústria muito se tem a considerar em relação ao seu uso, sua eficiência e de que maneira ela se comporta frente a toda a sua inter-relação com os equipamentos presentes na empresa.

Seriam precisos estudos longos e aprofundados para se conhecer de maneira geral o seu comportamento e a sua melhor utilização dentro da indústria e, por isso, é abordada a sua relação com a iluminação em um setor industrial específico para o estudo neste trabalho.

O setor industrial que é analisado é o de jateamento, presente em uma indústria metalúrgica onde foram feitos os levantamentos de dados e análises pertinentes às melhorias para esse local de trabalho.

Muitas considerações são feitas baseadas na NBR 5413 e são apresentadas no final do estudo sugestões e comentários para a otimização da iluminação nesse recinto, o qual apresenta características muito peculiares comparadas aos outros setores da empresa. E esse local foi justamente escolhido por oferecer vários desafios quanto à iluminação.

Também são apresentadas considerações acerca do fator de potência, como ocorre em uma instalação elétrica industrial, seu comportamento e como é possível se reverter os efeitos negativos provocados pela sua não conformidade na rede elétrica da indústria metalúrgica.

Tabelas reais do comportamento do fator de potência da empresa ao longo dos meses são apresentadas e considerações expostas de maneira a se comparar os valores antes e, principalmente, depois do funcionamento de um banco de capacitores que não estava em operação.

A utilização da energia elétrica de maneira correta e apropriada para cada tipo de atividade seja ela para iluminar ou abastecer uma indústria reduz o desperdício, além de melhorar a sua eficiência e o rendimento nas atividades. No Capítulo 2 é apresentada, de

maneira geral, a utilização da iluminação no Brasil, sua importância, conceitos básicos de luminotécnica e aplicação básica da norma para alguns dos setores que compõem a empresa em questão.

O Capítulo 3 faz referência ao estudo aplicado para a cabine de jateamento, apresentando análises mais complexas, técnicas e aprofundadas no que tange a iluminação.

São apresentados no Capítulo 4 os conceitos básicos acerca do fator de potência, causas de seu abaixamento, como se corrigem seus problemas e o que a legislação apresenta em termos de seus valores na indústria. E, então, no Capítulo 5 são apresentadas as conclusões após a sua correção efetuada na empresa em estudo.

E, enfim, no Capítulo 6 são apresentadas as conclusões e verificações inferidas de todas as análises e questões apresentadas durante o trabalho.

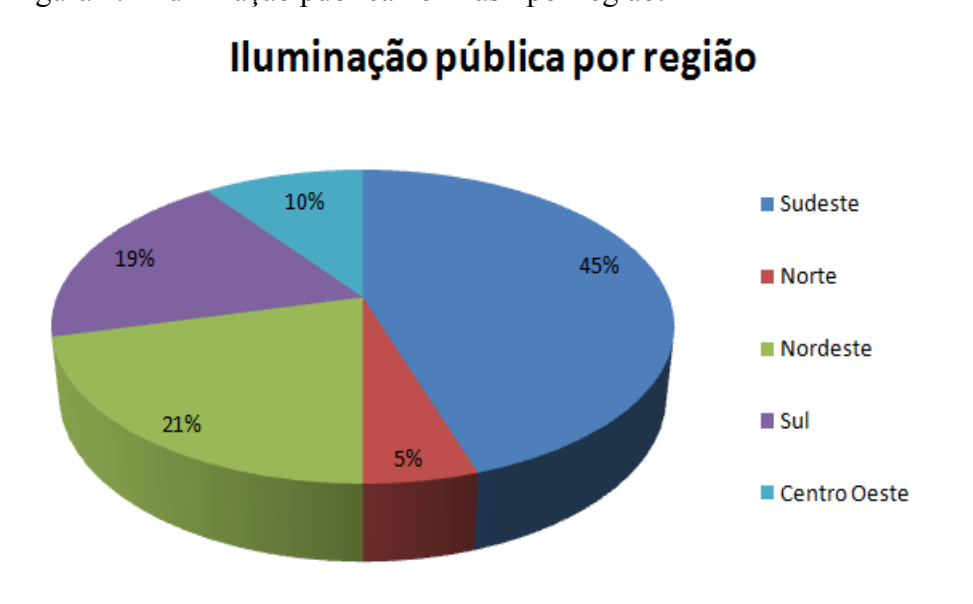
2 ILUMINAÇÃO

2.1 Os sistemas de iluminação no Brasil

O sistema de iluminação no Brasil apresenta números bastante expressivos em termos de consumo de energia elétrica. Cerca de 17% da eletricidade utilizada no país está associada à produção de luz (KOZLOFF, 2000), onde somente a iluminação pública é responsável por absorver cerca de 3,5% de toda energia elétrica consumida, que em 2012 foi de 498,4 TWh, segundo o Balanço Energético Nacional de 2013 (BEN). Dessa forma, tais números não poderiam deixar de ser considerados quando se leva em consideração um consumo mais racional e eficiente da energia voltada à iluminação, principalmente por estar presente em todos os setores do país, desde os mais rentáveis até os de menor expressão. Portanto a utilização da energia elétrica destinada à iluminação representa uma fração de grande valia em âmbito nacional.

De acordo com o último levantamento realizado em 2008 junto às distribuidoras de energia elétrica pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), existem 15 milhões de pontos de iluminação pública instalados no país, onde a distribuição é mostrada segundo a Figura 2.1.

Figura 2.1 Iluminação pública no Brasil por região.



Fonte: PROCEL, 2008.

De acordo com a ELETROBRAS a iluminação pública é essencial à qualidade de vida nos centros urbanos e fundamental à cidadania, permitindo que os habitantes desfrutem, plenamente, de tudo que as cidades e repartições possam fornecer interna ou externamente ao longo das horas do dia. Além disso, a iluminação, pública ou privada, está diretamente ligada à segurança no tráfego de pessoas e veículos, também previne a criminalidade, embeleza as áreas urbanas, destaca e valoriza monumentos, prédios e paisagens, orienta percursos e aproveita melhor as áreas de lazer.

Então para que todas as regiões do país, juntamente com as suas mais variadas atividades (comerciais, industriais e humanas) possam desfrutar de uma iluminação de qualidade são imprescindíveis investimentos em estudos de eficiência energética, e, evidentemente, incentivos ao uso racional da energia elétrica destinada à iluminação.

Os reflexos desses investimentos são visíveis na economia da região, não apenas em relação à conta de energia, mas, também, favorece o turismo, o comércio, a cultura e o lazer noturno, contribuindo, assim, para o desenvolvimento social e econômico da população.

Apenas a iluminação pública corresponde à cerca 4,5% da demanda nacional (SCHULZ, 2010), e, como foi apresentado anteriormente, 3,5% do consumo total de energia elétrica do país. O equivalente um consumo de 9,7 milhões de MWh/ano, ou uma demanda de 2,2 GW.

Já no setor industrial a iluminação corresponde a um consumo de energia de aproximadamente 2% da produção nacional, segundo Mamede Filho (2007), que equivale à produção de energia elétrica da hidrelétrica de Sobradinho instalada no rio São Francisco, de capacidade (potência instalada) de 1.050 MW.

Os ambientes industriais devem apresentar iluminação adequada e suficiente para a execução das mais variadas atividades desenvolvidas pela empresa com o objetivo de promover o melhor rendimento possível nos processos. Também deve ser específica para cada local e operação realizada, e o detalhamento minucioso da atividade exercida em um posto de trabalho específico indicará a iluminação ideal.

No campo industrial iluminação significa produtividade e uma iluminação própria e eficiente mantém as pessoas atentas e focadas em suas atividades, melhora os resultados e a execução de cada tarefa.

Portanto, a iluminação num dado local deve ser baseada em análises criteriosas, em normas técnicas e em métodos próprios de estudo de iluminação, como é visto a diante.

2.2 A NBR 5413

A seguir são examinados alguns elementos indispensáveis ao detalhamento das atividades exercidas em um determinado local, que servem de embasamento necessário para que se possam identificar os níveis ideais de iluminação em um determinado posto de trabalho ou recinto dentro de uma indústria.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) estabelece através da Norma Brasileira 5413 (NBR 5413), referente Iluminância de Interiores (ABNT, 1992), os valores de iluminâncias médias mínimas para iluminação artificial em interiores, onde se realizam atividades de comércio, indústria, ensino, esporte, entre outras.

Então, primeiramente devem-se conhecer algumas grandezas que são fundamentais às análises de iluminâncias para uma indústria metalúrgica, que é o caso a ser abordado.

2.2.1 CONCEITOS BÁSICOS

Antes mesmo de adentrar na análise da norma é necessário se conhecer algumas grandezas fundamentais ao estudo luminotécnico, pois sem o conhecimento de tais elementos seria impossível se fazer uma boa análise, compreensão e discussão dos resultados, além de desenvolver um senso crítico.

A iluminância, primeira e mais importante grandeza a ser considerada, é o “limite da razão do fluxo luminoso (lumen) recebido pela superfície em torno de um ponto considerado, para a área da superfície quando esta tende a zero” (ABNT, 1992, p.1). É uma grandeza de luminosidade, representada pela letra E como indica a equação 2.1.

$$E = \frac{F}{S} \quad (2.1)$$

onde:

E = iluminância (lm/m^2).

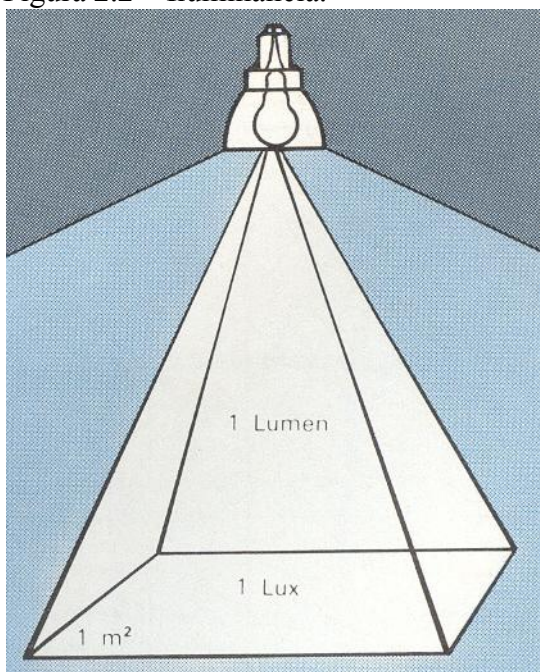
F = Fluxo luminoso (lm).

$S = \text{rea da superf cie(m)}.$

A iluminância também é conhecida como nível de iluminamento e é medido em lux, onde se tem uma fonte de luz com fluxo luminoso de 1 lumen aplicado perpendicularmente em uma região, ou campo de trabalho plana de 1 m^2 , conforme a Figura 2.2.

O campo de trabalho é a “região onde, para qualquer superfície nela situada, exigem- se condições de iluminância apropriadas ao trabalho visual a ser realizado.” (ABNT, 1992, p.1).

Figura 2.2 – Iluminância.

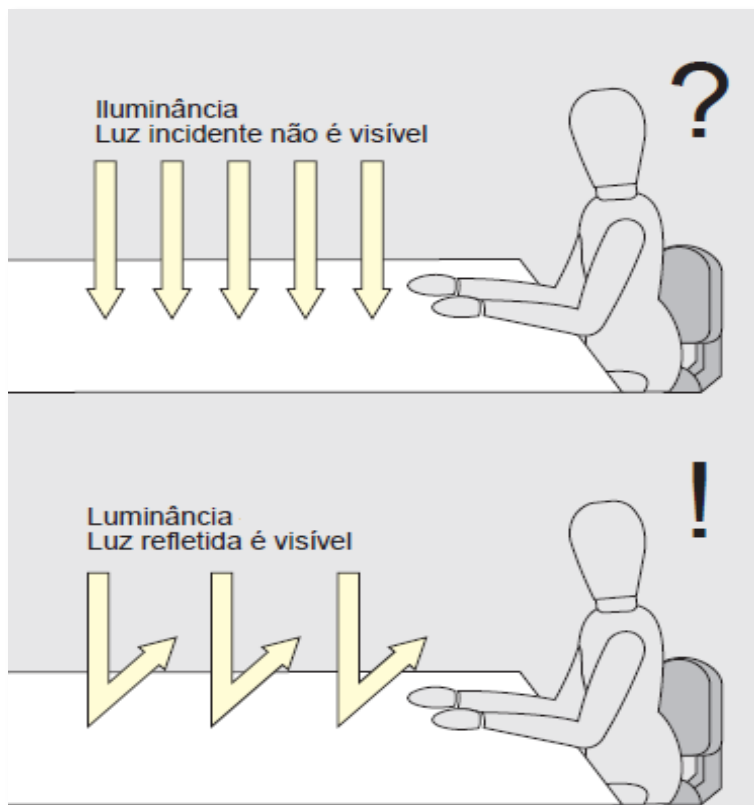


Fonte: Departamento de Acondicionamientos y Servicios, 2012.

O fluxo luminoso é a radiação total emanada em todas as direções por uma fonte luminosa e que produz estímulo visual. Ou seja, segundo a Philips (2013), é o montante de luz emitido a cada segundo por uma fonte luminosa.

É importante, também, não confundir se luminância com iluminância, visto que uma é bastante diferente da outra, como é apresentado na Figura 2.3. Dessas duas grandezas mencionadas, nenhuma é visível, pois os raios de luz não são vistos, a menos que sejam refletidos em uma superfície e aí transmitam a sensação de claridade aos olhos, e essa sensação de claridade é denominada de luminância.

Figura 2.3 – Diferença entre a iluminância e luminância.



Fonte: Osram, 2006.

E então, segundo Mamede Filho (2007), luminância é definida como sendo a razão da intensidade luminosa (dI), incidente em um elemento de superfície que contenha um ponto dado, para a área dA aparente vista pelo observador (área projetada), quando esta área tende a zero, equação 2.2.

$$L = \frac{dI}{dA \cdot \cos(\alpha)} \quad (2.2)$$

onde:

dI = Intensidade luminosa (cd).

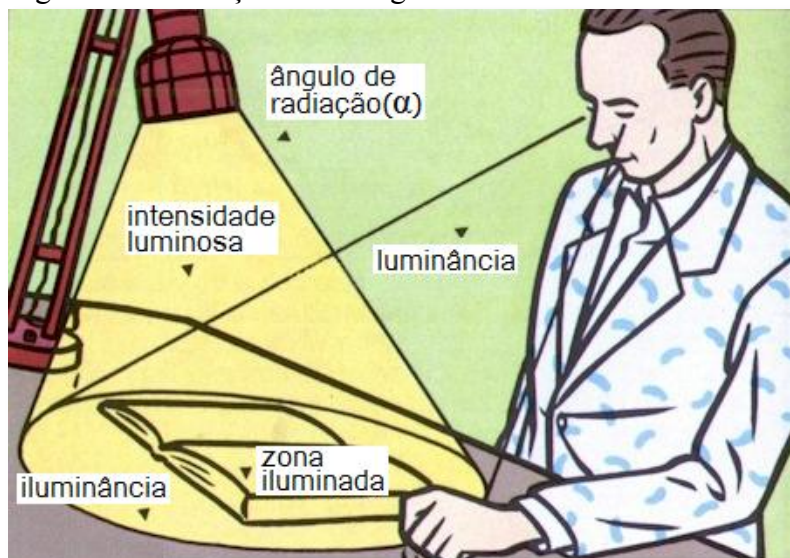
dA = Área da superfície iluminada (m^2).

α = Ângulo entre a superfície iluminada e a vertical($^\circ$).

Também, segundo Mamede Filho (2007), intensidade luminosa pode ser compreendida como sendo a potência de radiação visível apresentada por uma fonte de luz específica em uma direção determinada, e sua unidade é determinada candela (cd) ¹.

E na Figura 2.4 é apresentada a relação entre luminância e iluminância, além de outras grandezas importantes a compreensão.

Figura 2.4 – Relação entre as grandezas luminosas.



Fonte: Escuela Mexicana de Electricidad, 2011.

Algumas grandezas referentes à iluminação podem ser confundidas ou mal compreendidas, como já foi mencionado. Assim, logo abaixo é apresentada a Tabela 2.1, que é um resumo entre as grandezas, com suas unidades, símbolos e abreviaturas como forma de resumo e auxílio.

¹ A candela, cujo símbolo é cd, é a unidade do Sistema Internacional (SI) de intensidade luminosa utilizada para caracterizar fontes de luz. Esta unidade pode ser definida como 1/60 da intensidade luminosa por cm² irradiada por um corpo negro à temperatura de fusão da platina e à pressão de 101325 N/m².

Tabela 2.1 – Grandezas luminotécnicas.

Grandeza	Símbolo	Unidade	Abreviatura
Fluxo luminoso	Φ	lúmen	Lm
Intensidade Luminosa	I	candela	Cd
Iluminância ou Iluminação	E	lux	lx
Luminância, Brilho ou Brilhância	L	candela/m ² ou candela/cm ²	cd/m ² cd/cm ²

Fonte: Lâmpadas e sua grandezas, 2010.

2.2.2 COMENTÁRIOS

A NBR 5413 faz menção aos níveis de iluminâncias dos interiores e indica que cada ambiente requer um valor determinado e ideal dessa grandeza, estabelecida de acordo com as atividades desenvolvidas no recinto, levando-se em conta mais alguns fatores que são discutidos adiante.

De posse da NBR 5413, é possível se fazer algumas observações acerca de suas proposições e aplicá-la à realidade da indústria metalúrgica que é considerada.

Para um projeto de iluminação industrial bem executado se faz necessário um bom entendimento e cumprimento da norma técnica, uma vez que a mesma apresenta resultados indiretos através do melhor aproveitamento da iluminação. Como o retorno econômico (um bom dimensionamento luminotécnico evita desperdício de energia que é refletido na conta de energia), o conforto visual e segurança da pessoa que está inserida no posto de trabalho.

Dessa forma são destacados alguns requisitos iniciais e bastante relevantes a um projeto luminotécnico, levando-se em conta a adequação à norma, e, também, atribuindo perspectivas complementares ao regulamento:

- Não utilizar lâmpadas incandescentes como iluminação predominante.
- Utilizar lâmpadas incandescentes somente em iluminação de emergência, como iluminação decorativa ou onde se exija grande reprodução de cores, por causa de sua baixa eficiência energética.
- A iluminação deve ser a mais homogênea e uniforme possível.

- Escolha apropriada dos equipamentos de iluminação (lâmpadas, luminárias, reatores, entre outros).
- Atenção quanto posicionamento das luminárias em ambientes nos quais se operam pontes-rolantes e talhas.
- Se necessário o projetista deve levar em consideração o bom senso quanto à distribuição de luminárias no interior do recinto (distribuição lógica das luminárias sem deixar o ambiente desequilibrado).

2.2.3 TABELAS DE ILUMINÂNCIA

A norma também conta com subitens (tabelas de iluminâncias) para melhor compreensão e entendimento de suas propostas, apresentando análises de acordo com as características do local, das atividades desenvolvidas e aspectos dos colaboradores inseridos no posto de trabalho.

A seguir é apresentada a análise de tais subitens de acordo com as características citadas anteriormente, onde é possível se identificar para tarefa visual as iluminâncias adequadas conforme proposição da norma em questão.

2.2.3.1 ILUMINÂNCIA POR CLASSE DE TAREFA VISUAL

A Norma Brasileira inicialmente indica índices de iluminância gerais de acordo com três classes de tarefa visual as quais servem de apoio para um projeto luminotécnico (Tabela 2.2).

São elas as classes A, B e C, onde estão presentes vários tipos de ambientes, desde áreas públicas com tarefas visuais simples (índices próximos a 30 lux), até locais onde as atividades visuais são mais específicas, como uma sala cirúrgica (índices de 15.000 lux).

Tabela 2.2 - Iluminâncias por classe de tarefas visuais.

Classe	Iluminância (lux)	Tipo de atividade
A Iluminação geral para áreas usadas interruptamente ou com tarefas visuais simples	20 - 30 - 50	Áreas públicas com arredores escuros
	50 - 75 - 100	Orientação simples para permanência curta
	100 - 150 - 200	Recintos não usados para trabalho contínuo; depósitos
	200 - 300 - 500	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditórios
B Iluminação geral para área de trabalho	500 - 750 - 1000	Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, escritórios
	1000 - 1500 - 2000	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas.
C Iluminação adicional para tarefas visuais difíceis	2000 - 3000 - 5000	Tarefas visuais exatas e prolongadas, eletrônica de tamanho pequeno
	5000 - 7500 - 10000	Tarefas visuais muito exatas, montagem de microeletrônica
	10000 - 15000 - 20000	Tarefas visuais muito especiais, cirurgia

Fonte: ABNT, 1992.

Para cada uma das três classes apresentadas anteriormente existem, também, três valores de iluminância, onde fica a critério do projetista a escolha do valor que mais se enquadra à atividade praticada no recinto.

Entretanto ao longo da norma é possível se encontrar índices mais específicos de acordo com a atividade praticada no local, pois algumas aplicações são bastante abrangentes e devem ser tratadas mais especificamente. Como, por exemplo, as indústrias têxteis que trabalham com vários tipos diferentes de tecidos, os quais requerem iluminâncias específicas quanto à particularidade do material.

2.2.3.2 SELEÇÃO DA ILUMINÂNCIA

A escolha da iluminância mais adequada, comentada anteriormente, se dá através de três fatores determinantes: a classe de tarefa visual, a idade do trabalhador, a velocidade e precisão e, por fim, a refletância do fundo da tarefa (Tabela 2.3).

Tabela 2.3 - Fatores determinantes da iluminância adequada.

Características da tarefa e do observador	Peso		
	-1	0	+1
Idade	Inferior a 40 anos	40 a 55 anos	Superior a 55 anos
Velocidade e precisão	Sem importância	Importante	Crítica
Refletância do fundo da tarefa	Superior a 70%	30 a 70%	Inferior a 30%

Fonte: ABNT, 1992.

Assim, a escolha mais adequada de iluminância, segundo a norma NBR 5413 (1992), ocorre de acordo com as seguintes etapas:

1. Análise da tabela 2.3 e identificação do peso referente a cada característica do observador.
2. Somam-se os valores (consideram-se os sinais algébricos).
3. Para os valores -2 e -3 usa-se a menor iluminância dentre as três apresentadas; para os valores +2 e +3 usa-se a iluminância maior; e para os demais valores usa-se o valor intermediário.

2.2.3.3 ILUMINÂNCIA POR TIPO DE ATIVIDADE

Já a tabela de iluminâncias por tipo de atividade apresenta procedimentos mais especificados, facilitando satisfatoriamente a escolha dentre os três valores apresentados para cada local ou atividade desenvolvida. Além disso, cada valor deve ser selecionado levando-se em consideração algumas características:

- Valor intermediário: deve ser utilizado em todos os casos.
- Valor maior: deve ser utilizado quando o contraste do fundo da atividade é baixo, erros são difíceis de serem corrigidos, quando o trabalho visual é crítico, quando se requer alta precisão ou quando a capacidade visual do colaborador está abaixo da média.
- Valor menor: deve ser utilizado quando a tarefa é sazonal, quando o fundo da atividade apresenta refletância alta ou quando a velocidade não é condição sine qua non.

Na Tabela 2.4 é apresentado um trecho da norma para uma indústria cerâmica, e de acordo com os itens mencionados anteriormente um valor de iluminância específico deve ser utilizado no local.

Tabela 2.4 – Iluminâncias por tipo de atividade.

Indústrias de cerâmicas	
- trituração, filtragem e prensa, secagem	100 - 150 - 200
- moldagem, acabamentos e limpeza	100 - 150 - 200
- coloração e vitrificação (grosseira)	300 - 500 - 750
- coloração e vitrificação (delicada)	750 - 1000 - 1500
- decoração manual	750 - 1000 - 1500

Fonte: ABNT, 1992.

2.2.4 A NBR 5413 PARA A INDÚSTRIA METALÚRGICA EM ESTUDO

Após o entendimento da NBR 5413 é feita uma adequação a realidade da indústria em estudo, onde são apresentados valores e análises de acordo com as proposições recomendadas e que, direta ou indiretamente, podem refletir no rendimento do trabalho. Isso sem mesmo levar em considerações ganhos secundários, como segurança e bem estar do colaborador inserido no posto de trabalho.

Como o estudo aplicado de luminotécnica é realizado para uma indústria do setor metalúrgico não seria possível definir apenas um único nível de iluminância para todos os departamentos da empresa, pois seria uma forma errônea de se realizar tal estudo e não demonstraria uma situação real. Então, com a finalidade de se atingir valores adequados às atividades a empresa é dividida em três setores, e a divisão é feita da seguinte maneira:

- Escritórios.
- Caldeiraria e Solda.
- Usinagem.

O setor de jateamento também é analisado a diante, entretanto, para ele é apresentado um estudo aplicado de luminotécnica.

2.2.4.1 ESCRITÓRIOS

A seguir são apresentados os fatores determinantes para a escolha da iluminância adequada para o caso de um escritório, onde a idade média dos colaboradores é inferior a 40 anos, a velocidade e precisão são importantes e a refletância do fundo da tarefa é superior a 70%. Assim, é possível identificar tais características assinaladas na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 - Fatores determinantes da iluminância adequada.

Características da tarefa e do observador	Peso		
	-1	0	+1
Idade	Inferior a 40 anos	40 a 55 anos	Superior a 55 anos
Velocidade e precisão	Sem importância	Importante	Critica
Refletância do fundo da tarefa	Superior a 70%	30 a 70%	Inferior a 30%

Fonte: ABNT, 1992.

Portanto, o valor conferido segundo as características da tabela acima é apresentado pela Equação 2.3.

$$(-1) + (0) + (0) = -1 \quad (2.3)$$

Através do valor -1 a norma orienta que se deve escolher o valor intermediário de iluminância para classe de tarefa visual escritório, como mostrado na Tabela 2.6.

Tabela 2.6 - Iluminâncias por classe de tarefas visuais.

Classe	Iluminância (lux)	Tipo de atividade
A Iluminação geral para áreas usadas interruptamente ou com tarefas visuais simples	20 - 30 - 50	Áreas públicas com arredores escuros
	50 - 75 - 100	Orientação simples para permanência curta
	100 - 150 - 200	Recintos não usados para trabalho contínuo; depósitos
	200 - 300 - 500	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditórios
B Iluminação geral para área de trabalho	500 - 750 - 1000	Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, escritórios
	1000 - 1500 - 2000	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas.
C Iluminação adicional para tarefas visuais difíceis	2000 - 3000 - 5000	Tarefas visuais exatas e prolongadas, eletrônica de tamanho pequeno
	5000 - 7500 - 10000	Tarefas visuais muito exatas, montagem de microeletrônica
	10000 - 15000 - 20000	Tarefas visuais muito especiais, cirurgia

Fonte: ABNT, 1992.

Vale ressaltar que para a empresa analisada uma grande quantidade de computadores são utilizados nas tarefas corriqueiras de escritório, juntamente com as folhas de papel. E, dessa forma, para a refletância dos monitores de computadores, que funcionam como fundo de tarefa nesses casos é feita uma aproximação para a refletância de uma folha branca de papel. Entretanto, não é uma análise totalmente satisfatória, pois os monitores deveriam ser analisados em termos de sua radiação, que por ser variável fugiria de certa forma do foco apresentado.

Então, o valor para tais equipamentos é alocado entre o intervalo de 30 a 70% na tabela da norma.

De uma maneira mais específica (Tabela 2.7), conforme comentado anteriormente, a norma apresenta o segundo resultado para a escolha correta da iluminância levando-se em consideração a atividade de escritório.

Tabela 2.7 – Iluminâncias por tipo de atividade.

5.3.14 Escritórios		
- escritórios de:		
. registros, cartografia, etc.	750 - 1000 - 1500	
. desenho, engenharia mecânica e arquitetura	750 - 1000 - 1500	
. desenho decorativo e esboço ..	300 - 500 - 750	

Fonte: ABNT, 1992.

É importante ressaltar que o valor central de 750 lux foi escolhido com base nas características das atividades realizadas no escritório, pelo fundo da tarefa apresentar alta refletância (papel) e pelos recursos computacionais promoverem uma precisão grande e de fácil correção em caso de erros.

A Tabela 2.8 apresenta alguns exemplos práticos (valores médios em serviço) para índices mínimos de iluminância apresentados pela NBR 5413 para subdivisões dentro de escritórios.

Tabela 2.8 – Índices de iluminância para laboratórios.

ESCRITÓRIO	
Subdivisões	Iluminância (lux)
Sala de trabalho	250
Arquivo	200
Sala de desenho	500
Recepção	250

Fonte: o autor.

Vale lembrar que para escritórios de engenharia muitos documentos com desenhos são analisados todos os dias.

2.2.4.2 CALDEIRARIA E SOLDA

Esse setor a ser analisado é o que contém a maior parte dos colaboradores da indústria metalúrgica em questão, além de ser um dos setores mais importantes da empresa, pois é nele que todos os produtos comercializados pela companhia começam a ser produzidos e onde se consomem a maior parte do tempo de fabricação total dos equipamentos. Dessa forma vale uma atenção especial tanto pela grandeza física quanto econômica que o setor de caldeiraria e solda apresenta.

É possível se caracterizar o ambiente como é apresentado na Tabela 2.9, onde a idade média dos colaboradores é inferior a 40 anos, a velocidade e precisão não apresentam grande importância e a refletância do fundo de tarefa é inferior a 30 %, por lidar com peças em metal escuras.

Tabela 2.9 - Fatores determinantes da iluminância adequada.

Características da tarefa e do observador	Peso		
	-1	0	+1
Idade	Inferior a 40 anos	40 a 55 anos	Superior a 55 anos
Velocidade e precisão	Sem importância	Importante	Crítica
Refletância do fundo da tarefa	Superior a 70%	30 a 70%	Inferior a 30%

Fonte: ABNT, 1992.

Com base na Tabela 2.9 é possível se fazer o cálculo para a escolha dos valores de iluminância, como está exemplificado na equação 2.4.

$$(-1) + (-1) + (+1) = -1 \quad (2.4)$$

Principalmente na caldeiraria é muito importante se ter uma iluminação eficiente para que nenhum erro seja cometido, pois equipamentos como trenas, paquímetros, gabaritos de soda e máscaras para traçados são largamente utilizados para se garantir o dimensional das chapas posteriormente soldadas. E então de maneira geral pode-se escolher o índice apresentado pela Tabela 2.10.

Tabela 2.10 - Iluminâncias por classe de tarefas visuais.

Classe	Iluminância (lux)	Tipo de atividade
A Iluminação geral para áreas usadas interruptamente ou com tarefas visuais simples	20 - 30 - 50	Áreas públicas com arredores escuros
	50 - 75 - 100	Orientação simples para permanência curta
	100 - 150 - 200	Recintos não usados para trabalho contínuo; depósitos
	200 - 300 - 500	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditórios
B Iluminação geral para área de trabalho	500 - 750 - 1000	Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, escritórios
	1000 - 1500 - 2000	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas.
C Iluminação adicional para tarefas visuais difíceis	2000 - 3000 - 5000	Tarefas visuais exatas e prolongadas, eletrônica de tamanho pequeno
	5000 - 7500 - 10000	Tarefas visuais muito exatas, montagem de microeletrônica
	10000 - 15000 - 20000	Tarefas visuais muito especiais, cirurgia

Fonte: ABNT, 1992.

Na etapa de caldeiraria e solda se faz necessário uma boa iluminação, uma vez que os colaboradores que trabalham nessa área utilizam muitos equipamentos de medição e, portanto, não pode ocorrer uma má interpretação das medidas aplicadas às peças confeccionadas.

E, para o caso da caldeiraria e solda, é possível se encontrar valores de iluminância como se seguem na Tabela 2.11, onde o valor mais indicado é o de 300 lux.

Tabela 2.11 – Iluminâncias por tipo de atividade.

5.3.68 Soldas		
- iluminação geral	150 - 200	300
- solda de arco de precisão (manual)	1500 - 2000	3000

Fonte: ABNT, 1992.

2.2.4.3 USINAGEM

A etapa de usinagem, que compreende o processo de remoção de material, é o último departamento em que é apresentado o estudo de iluminação de acordo com a NBR 5413, pois o setor de jateamento, como comentado, é analisado no capítulo 3.

A usinagem compreende uma das etapas de maior importância dentro das indústrias, pois utiliza equipamentos específicos para a remoção de material e é o processo mais caro dentro da empresa em questão. Essa remoção de material é um processo muito complicado, que despende certo tempo e que segue rigorosamente as medidas estabelecidas nos projetos, podendo inutilizar um equipamento por conta de certos erros na operação.

A usinagem é muito importante no processo industrial de fabricação tanto pelos equipamentos que são utilizados (dotados de grande tecnologia, qualidade e elevado custo de aquisição), quanto pelo tempo de utilização que, mesmo sendo de poucas horas por peça usinada, é muito dispendioso.

As máquinas de usinagem pesada são equipamentos muito precisos e funcionam de acordo com a programação nelas inserida. Porém, em alguns casos, pequenas correções são realizadas pelo operador da máquina de usinagem para corrigir eventuais desvios causados nas etapas de caldeiraria e solda, seja ele provocado por um equívoco do colaborador ao posicionar certo dimensional ou desvios provenientes dos efeitos de dilatação das chapas no procedimento de soldagem.

A iluminação no local deve ser boa mesmo a partir da entrada da peça no equipamento de usinagem, pois essa deve ser posicionada de maneira nivelada e com acessos as partes que são trabalhadas. Portanto, o operador deve ter visão clara de seus equipamentos para alinhamento das peças e eventuais checagens. Além de uma visão clara do processo no momento em que ele está ocorrendo.

A iluminação do entorno do equipamento também deve ser significativa por questões de segurança, uma vez que cavacos (material que está sendo removido das peças) provenientes da operação podem ser lançados a alguns metros de distância, além dos fluídos para resfriamento das brocas (óleo solúvel) de usinagem que também podem estar derramados no chão.

A partir dos comentários anteriores feitos para o processo de usinagem também se deve atentar para as características do operador, da tarefa e do equipamento que está sendo operado, conforme Tabela 2.12.

Tabela 2.12 – Fatores determinantes da iluminância adequada.

Características da tarefa e do observador	Peso		
	-1	0	+1
Idade	Inferior a 40 anos	40 a 55 anos	Superior a 55 anos
Velocidade e precisão	Sem importância	Importante	Crítica
Refletância do fundo da tarefa	Superior a 70%	30 a 70%	Inferior a 30%

Fonte: ABNT, 1992.

É muito importante ressaltar que a precisão da máquina é muito elevada, não precisando de qualquer tipo de iluminação para fazer o seu trabalho, apenas das medidas adicionadas ao seu sistema de comando.

Os equipamentos manipulados pelas máquinas de usinagem apresentam baixa refletância por serem corpos negros, assim seu valor para a escolha da iluminância é apresentado pela equação 2.5.

$$(-1) + (0) + (+1) = 0 \quad (2.5)$$

Para a classe de tarefas visuais encontrou-se o valor 0, onde, de acordo com a NBR 5413, o valor médio de 750 lux deve ser escolhido como iluminância ideal nos processos descritos anteriormente, como se segue na Tabela 2.13.

Tabela 2.13 - Iluminâncias por classe de tarefas visuais.

Classe	Iluminância (lux)	Tipo de atividade
A Iluminação geral para áreas usadas interruptamente ou com tarefas visuais simples	20 - 30 - 50	Áreas públicas com arredores escuros
	50 - 75 - 100	Orientação simples para permanência curta
	100 - 150 - 200	Recintos não usados para trabalho contínuo; depósitos
	200 - 300 - 500	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditórios
B Iluminação geral para área de trabalho	500 - 750 - 1000	Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, escritórios
	1000 - 1500 - 2000	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas.
C Iluminação adicional para tarefas visuais difíceis	2000 - 3000 - 5000	Tarefas visuais exatas e prolongadas, eletrônica de tamanho pequeno
	5000 - 7500 - 10000	Tarefas visuais muito exatas, montagem de microeletrônica
	10000 - 15000 - 20000	Tarefas visuais muito especiais, cirurgia

Fonte: ABNT, 1992.

Em termos mais específicos para a atividade de usinagem utiliza-se o valor de iluminância de 750 lux, apresentado na Tabela 2.14 (mesmo valor encontrado de acordo com a Tabela 2.13 da norma), indicado pela diretriz, sendo que em tais processos erros são difíceis de serem corrigidos, além de trabalhosos.

Tabela 2.14 – Iluminâncias por tipo de atividade.

- usinagem média e trabalhos de ajustador, trabalhos grosseiros de plainas, tornos e polimento.... 300 - 500 - 750
--

Fonte: ABNT, 1992.

Erros provenientes das fases de caldeiraria e solda, como mencionado anteriormente, podem ser identificados na fase de usinagem e, dessa forma, os operadores devem ir até a máquina para fazer no local a correção de uma falha originada nos outros processos.

Esse tipo de manobra realizada pelos operadores demanda custos nas operações e irão ser contabilizados no valor final do processo de fabricação da peça, pois tanto o operador que está sendo deslocado de seu posto de trabalho não está momentaneamente gerando lucro, como, também, a máquina de usinagem está parada esperando a correção do problema, gerando prejuízo maior.

Dessa forma, uma iluminação pontual é recomendada no local da usinagem para ajustes, acompanhamento do processo pelo operador, correções de erros nas peças e por questões de segurança.

3 ESTUDO APLICADO DE ILUMINAÇÃO

3.1 COMENTÁRIOS INICIAIS

Com base nas características da empresa metalúrgica analisada, que é o alvo principal dos próximos estudos, inicia-se o estudo de caso que tem por finalidade analisar de forma técnica a utilização da energia elétrica no setor industrial através de seu uso na iluminação e, também, sua correlação com o fator de potência.

É apresentado um projeto luminotécnico direcionado para o setor de jateamento da empresa, que, além de ser uma etapa bastante importante para a fabricação de seus produtos, também é um espaço bastante ímpar quanto à iluminação, pois tanto o material utilizado que fica depositado no chão requer atenção na locomoção e manipulação, como o ambiente em si necessita estar iluminado suficientemente bem para que a operação seja executada.

3.2 CABINE DE JATEAMENTO

A cabine de jateamento é um ambiente industrial bastante específico em termos de segurança, uma vez que se trata de um ambiente de elevada movimentação de peças de grande porte que são alojadas no interior da cabine, o chão torna-se escorregadio pelo acúmulo de material depositado e a pressão do jato é bastante elevada, exigindo do operador muito cuidado nas operações. Mais uma vez necessitando de uma iluminação suficiente para as tarefas no local.

Uma cabine de jateamento, diferentemente de uma cabine de pintura, não pode ter suas atividades exercidas ao ar livre por questões de segurança e limpeza, já que utiliza um produto mais denso do que a tinta aplicada, que pode ser pulverizada, diminuindo-se a quantidade de material depositado no chão.

O material utilizado no jateamento da empresa analisada é a granalha de aço² e por esse motivo se faz necessário um ambiente altamente reforçado para suportar a potência do impacto proveniente do jato e do rebatimento das granalhas nas peças, que podem ir para qualquer direção. Além disso, a deposição de granalhas no chão torna a superfície lisa, pois esse material possui forma arredondada. Dessa forma necessita-se ainda mais de uma iluminação adequada também para a locomoção no recinto.

E é devido a esse tipo de ambiente que se tem no interior da cabine de jato uma estrutura totalmente reforçada em ferro para que tanto as paredes quanto o chão e o teto não sejam danificados pelo impacto com o material. A Figura 3.1 apresenta a cabine considerada nos comentários que se seguem.

Figura 3.1 – Cabine de Jateamento.



Fonte: Indústria metalúrgica, 2013.

Porém, a iluminação, que é de grande importância em ambientes como esse fica muito prejudicada, pois os reforços no teto, parede e chão por serem de ferro de cor escura faz com que o ambiente fique escuro, não podendo refletir de maneira satisfatória a luz proveniente das luminárias. E, além disso, ocorre deposição de granalhas de ferro

² Granalha de aço é um dos mais importantes materiais de jateamento disponíveis no mercado de jateamento, disponíveis sob 3 formatos, Esférica (Shot), Angular (Grit) e arame cortado (Wire cut) com vários tamanhos e durezas.

nas malhas de proteção das luminárias impedindo que a luz passe totalmente, deixando ainda mais escuro o ambiente de trabalho.

Inicialmente, a iluminação no local apresentava por volta de 39 lux médios e, portanto, era necessário dessa forma efetuar um cálculo luminotécnico específico para a cabine e identificar qual a melhor maneira para tornar o local mais iluminado (atingindo valores especificados pela NBR 5413). Dessa forma, estão apresentadas a seguir as indicações da norma para esse ambiente caracterizado e, logo em seguida, são feitas as análises de acordo com as proposições indicadas nesse documento.

3.3 APLICAÇÃO DA NBR 5410 PARA A CABINE DE JATEAMENTO

Em relação aos outros ambientes comentados anteriormente, a cabine de jateamento apresenta diferenças que são perceptivas na escolha correta do índice de iluminância, uma vez que, conforme Tabela 3.1, alguns fatores sofreram alteração por apresentar uma atividade bastante diferente das demais abordadas, além de um ambiente muito mais específico comparativamente.

As cabines de jateamento são preparadas exatamente para as atividades que foram mencionadas, e isso explica porque as características da tarefa, observador e em termos de velocidade e refletância variaram.

Tabela 3.1 – Fatores determinantes da iluminância adequada.

Características da tarefa e do observador	Peso		
	-1	0	+1
Idade	Inferior a 40 anos	40 a 55 anos	Superior a 55 anos
Velocidade e precisão	Sem importância	Importante	Crítica
Refletância do fundo da tarefa	Superior a 70%	30 a 70%	Inferior a 30%

Fonte: ABNT, 1992.

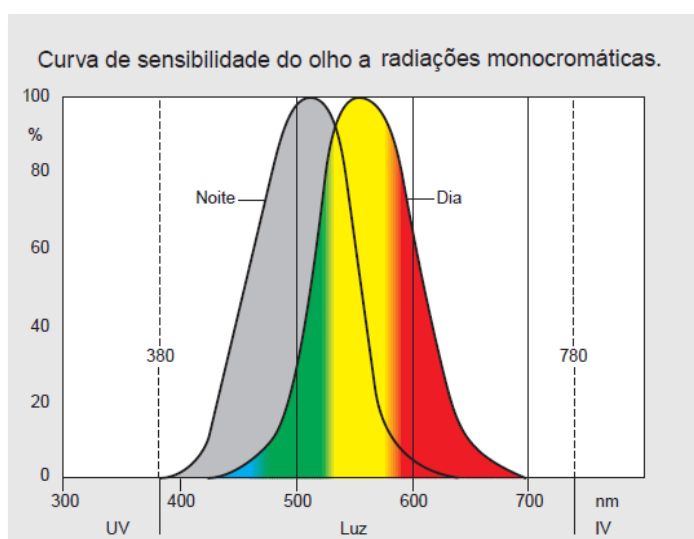
As cabines de jateamento, por exemplo, seguem um padrão de construção singular onde as paredes e portas são de ferro, que além de apresentarem baixa refletância

também impedem (a cabine é bem lacrada por questões de segurança, para que as granalhas não saiam do local podendo provocar acidentes) que a luz natural entre no recinto.

Outro fato interessante no que diz respeito à luz no recinto é o fato de não apenas o local apresentar uma configuração escura internamente, mas também as portas de acesso à área são fechadas por questão de segurança, como mencionado, e, assim, as mesmas também são confeccionadas da mesma maneira, também sendo escuras e impedindo tampouco a passagem de luz. E, através dessa “sensação de noite” que se instala no local o olho humano diminui sua sensibilidade, como pode ser visto na Figura 3.2, e o cuidado com a segurança deve ser redobrado nessas ocasiões.

A curva apresenta valores para a sensibilidade do olho humano de acordo com o índice de iluminamento oferecido, seja durante o dia ou à noite.

Figura 3.2 – Curva de sensibilidade do olho humano.



Fonte: Osram, 2006.

Como foram comentadas, as luminárias apresentam malhas de aço para evitar que as granalhas danifiquem os equipamentos de iluminação (lâmpadas, luminárias, fios e reatores), entretanto, o nível de iluminação que se perde com esse processo é gradativo com o passar dos dias, pois de acordo com as atividades do local o acúmulo de material proveniente do jato aumenta nas malhas de proteção.

Mais a diante são abordadas todas as possíveis soluções para os problemas relacionados à iluminação da cabine de jateamento e, da mesma forma, novas questões são discutidas no estudo aplicado.

Para as cabines de pintura os mesmos valores podem ser considerados, uma vez que os mesmos equipamentos que são jateados passam da mesma maneira para a pintura e, em alguns casos, os mesmos colaboradores realizam ambas as atividades. Mas, é importante ressaltar que os ambientes em que as atividades são realizadas são diferentes.

Então, o valor encontrado segundo as características da Tabela 3.1 é mostrado na equação 2.3:

$$(0) + (0) + (+1) = +1 \quad (2.3)$$

Para classe de tarefas visuais encontrou-se o valor +1 onde, de acordo com a NBR 5413, o valor médio de 300 lux é escolhido como iluminância ideal nos processos de jateamento, como se segue na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Iluminância por classe de tarefas visuais.

Classe	Iluminância (lux)	Tipo de atividade
A Iluminação geral para áreas usadas intermitentemente ou com tarefas visuais simples	20 - 30 - 50	Áreas públicas com arredores escuros
	50 - 75 - 100	Orientação simples para permanência curta
	100 - 150 - 200	Recintos não usados para trabalho contínuo; depósitos
	200 - 300 - 500	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditórios
B Iluminação geral para área de trabalho	500 - 750 - 1000	Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, escritórios
	1000 - 1500 - 2000	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas.
C Iluminação adicional para tarefas visuais difíceis	2000 - 3000 - 5000	Tarefas visuais exatas e prolongadas, eletrônica de tamanho pequeno
	5000 - 7500 - 10000	Tarefas visuais muito exatas, montagem de microeletrônica
	10000 - 15000 - 20000	Tarefas visuais muito especiais, cirurgia

Fonte: ABNT, 1992.

É importante ressaltar que no trabalho com jateamento, por conta dos equipamentos de segurança utilizados corriqueiramente pelos operadores, os requisitos visuais ficam bastante limitados e, além disso, o cansaço visual resultante do tipo de atividade exercida no local também pode vir a limitar ainda mais as condições de segurança e percepção de deformidades. É de grande importância para o operador ter a possibilidade de enxergar claramente na superfície das peças as regiões onde já foram realizados os trabalhos.

Acerca do cansaço visual dos olhos pode-se fazer uma analogia com as folhas de um livro, pois a Luminância está ligada a contrastes e, assim, é possível se distinguir um elemento de outro.

Ou seja, as letras pretas de um livro (refletância de 10%) dispostas sobre uma folha branca (refletância de 85%) revelam que a luminância das letras é bem menor do que a do fundo e, assim, a leitura fica menos cansativa e não promove cansaço aos olhos. Entretanto, para o caso da cabine analisada os contrastes são mais reduzidos, a observação torna-se mais difícil e há necessidade de mais luz no local.

Segundo Luz, grande é o efeito psicológico da luminância, pois quando o homem vê ele compara luminâncias.

Em termos mais específicos para essa atividade apresenta-se na Tabela 3.3 o valor de iluminância indicado pela norma, sendo que para o jateamento erros são de difícil correção, o trabalho visual é crítico e, também, refletância e contraste são baixos. Assim o valor apresentado como ideal é o mais elevado, ou seja, 500 lux.

Tabela 3.3 – Iluminâncias por tipo de atividade.

5.3.63 Pinturas		
- imersão, pulverização, remoção de camadas antigas, lixamento, pintura e acabamento	200 - 300 -	500
- pintura e acabamento de alta qualidade	300 - 500 -	750
- pintura e acabamento de qualidade superior (auto-móvel, plano, etc.)	750 - 1000 -	1500
- polimento e brunimento	200 - 300 -	500

Fonte: ABNT, 1992.

3.4 PROJETO LUMINOTÉCNICO PARA A CABINE DE JATEAMENTO

O projeto luminotécnico tem por objetivo, de acordo com as especificações da norma NBR 5413, das atividades praticadas no local e dos objetivos que se desejam atingir, apresentar de maneira detalhada análises técnicas para se obter maior

rendimento na execução das tarefas onde se busca a utilização de uma iluminação industrial eficiente.

Alguns critérios rigorosos durante a execução do projeto devem ser considerados na análise, levando-se em conta a estética e o design, assim como, a gestão, a eficiência, a vida útil maximizada dos equipamentos e o desempenho de iluminação, dependendo, evidentemente, do objetivo que se deseja atingir em cada situação.

O método dos lumens é utilizado como base para os cálculos na análise, que é um método não tão aprofundado quanto o método ponto a ponto, entretanto para a aplicação no local estudado mostra-se suficiente e apto a atender as expectativas.

Esse método está baseado na determinação do fluxo luminoso primordial para se atingir um iluminamento médio, requisitado em um posto de trabalho específico. No caso analisado são feitas todas as análises para a cabine de jateamento a granalha de aço, como já foram mencionadas as suas particularidades.

Como pôde ser visto anteriormente o projeto tem como base a utilização de uma iluminância média de 300 lux para o local que é analisado e contará com a definição de novas variáveis que devem ser compreendidas, além de aprofundamentos em assuntos pertinentes ao estudo aplicado.

3.5 CÁLCULO LUMINOTÉCNICO E APROFUNDAMENTO

Basicamente o método dos lumens tem por finalidade determinar o fluxo luminoso de acordo com a equação 3.1.

$$\psi = \frac{E \cdot S}{F_u \cdot F_{dl}} \quad (3.1)$$

onde:

ψ = fluxo total a ser emitido pelas lâmpadas (lm).

E = iluminamento médio requerido pelo local (lm).

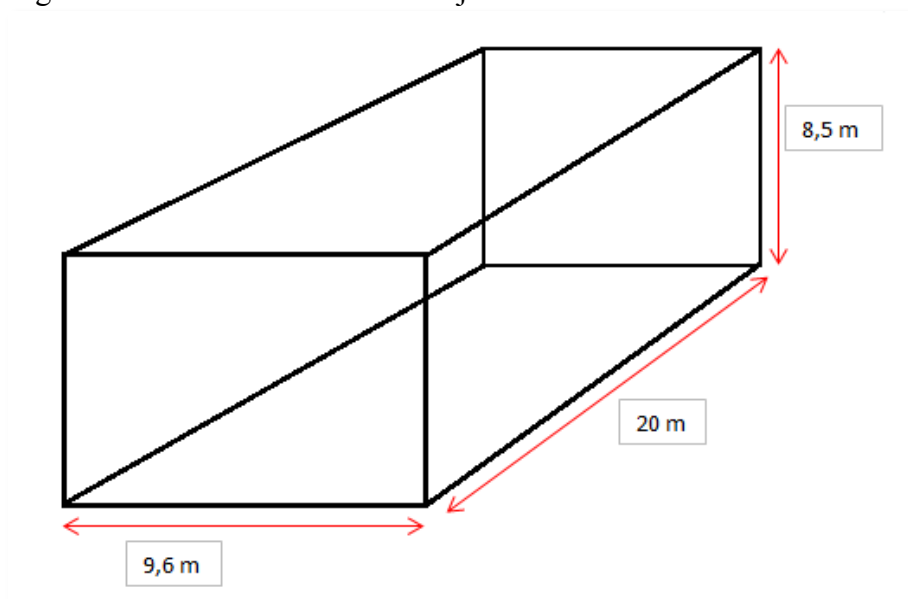
S = área do local (m²).

F_u = Fator de utilização do local.

F_{dl} = Fator de depreciação do serviço da luminária.

Inicialmente é necessário se definir a área do local onde é feito o projeto luminotécnico, como é possível se ver abaixo na Figura 3.3, que mostra apenas um esquemático básico do local em questão. Os dados referentes à cabine foram levantados com base na planta do recinto estudado, cuja informação foi disponibilizada por pessoas responsáveis pelo departamento de jateamento.

Figura 3.3 – Medidas da cabine de jateamento.



Fonte: o autor

Dessa forma, é possível se calcular a área (S) para o local cujas dimensões apresentadas, resultam no cálculo usando a equação 3.2.

$$S = \text{comprimento} \times \text{largura} \quad (3.2)$$

$$S = 20 \times 9,6$$

$$S = 192 \text{ m}$$

O próximo item a ser analisado é o fator de depreciação de serviço da luminária (F_{dl}), que, segundo Luz, mede a relação entre o fluxo luminoso emitido pela luminária, no fim do período considerado para se iniciar o processo de manutenção, e o fluxo de sua operação. Esse fator é escolhido de maneira a observar a Tabela 3.4, que apresenta os valores dessa grandeza de acordo com o tipo de luminária.

Tabela 3.4 – Fator de depreciação.

Tipos de aparelho	Fator de depreciação(<i>F_{dl}</i>)
Aparelhos para embutir lâmpadas incandescentes	0,85
Aparelhos para embutir lâmpadas refletoras	
Calha aberta e chanfrada	0,80
Refletor industrial para lâmpadas incandescentes	
Luminária comercial	0,75
Luminária ampla utilizada em linhas contínuas	
Refletor parabólico para duas lâmpadas incandescentes	0,70
Refletor industrial para lâmpada VM	
Aparelho para lâmpada incandescente para iluminação indireta	
Luminária industrial do tipo miller	
Luminária com difusor de acrílico	
Globo de vidro fechado para lâmpada incandescente	
Refletor com difusor plástico	0,60
Luminária comercial para lâmpada high output colméia	
Luminária para lâmpada fluorescente para iluminação indireta	

Fonte: Mamede Filho, 2007.

Basta verificar em qual dessas subdivisões a luminária escolhida se enquadra melhor com o ambiente em que a mesma é instalada. Algumas vezes os próprios fabricantes apresentam esse fator de depreciação em seu catálogo de luminárias.

O livro de Instalações elétricas, do autor Hélio Creder (2004), apresenta um quadro com os mais diversos modelos de luminárias. Cada uma delas apresenta o fator de depreciação e quadro do fator de utilização, sendo, por isso, muito útil aos projetistas.

E existe uma tabela (fator de depreciação) que relaciona o fator de depreciação do local em relação ao período de limpeza do mesmo, como é possível ver na Tabela 3.5. Mas é considerado o valor da Tabela 3.6, que além de constar dados referentes à limpeza do local, também é uma indicação dos fabricantes.

Tabela 3.5 – Fator de depreciação em relação ao período de limpeza.

Período de Limpeza (em meses)	Ambiente		
	Sujo	Médio	Limpo
0	1	1	1
2	0,85	0,92	0,97
4	0,76	0,88	0,94
6	0,7	0,85	0,93
8	0,67	0,82	0,92
10	0,64	0,8	0,91
12	0,62	0,79	0,9
14	0,6	0,78	0,89
16	0,58	0,76	0,88
18	0,56	0,75	0,87
20	0,54	0,74	0,86
22	0,52	0,73	0,85
24	0,5	0,71	0,84

Fonte: SMIT, 1964.

Entretanto, o fator de depreciação que é escolhido faz referência ao equipamento refletor industrial para lâmpadas VM (vapor metálico ou vapor de mercúrio), cujo fator de depreciação é de 0,70, como visto na Tabela 3.5, pois também coincide com um ambiente médio em questões de limpeza da Tabela 3.6.

Tabela 3.6 – Fator de depreciação indicado pelos fabricantes Philips e Itaim.

Ambiente	Fator de Depreciação
Limpo	0,80
Médio	0,70
Sujo	0,60

Fonte: Itaim, 2006.

A próxima grandeza a ser analisada no projeto luminotécnico é o fator de utilização, que avalia a relação entre o fluxo luminoso que chega ao plano de trabalho e o fluxo luminoso total emitido pela lâmpada. De forma bastante compreensível, pode-se notar que parte do fluxo luminoso emitido pela lâmpada é absorvido pela luminária, parte reflete-se para várias direções do local sobre as várias superfícies, até chegar ao plano de trabalho, e uma terceira parcela vai diretamente para o plano de trabalho. Assim, na determinação da quantidade de luminárias ideal à iluminação de um determinado ambiente, deve-se considerar a eficiência promovida pela luminária, pelas dimensões do recinto e, também, a refletância de suas paredes.

A refletância de uma dada superfície está intrinsecamente relacionada com a cor da tinta utilizada nas superfícies do local ou pelo material que ele é constituído, quando não há uma pintura aplicada internamente. Apenas para elucidar essa grandeza é mostrada a Tabela 3.7., pois é usada como referência outra forma de se encontrar o fator de utilização.

Tabela 3.7 – Valores de refletância em relação a cor.

CORES	REFLET. (%)
Branco	70...80
Creme claro	70...80
Amarelo claro	55...65
Rosa	45...50
Verde claro	45...50
Azul celeste	40...45
Cinza claro	40...45
Bege	25...35
Amarelo escuro	25...35
Marrom claro	25...35
Verde oliva	25...35
Laranja	20...25
Vermelho	20...25
Cinza médio	20...25
Verde escuro	10...15
Azul escuro	10...15
Vermelho escuro	10...15
Cinza escuro	10...15
Azul marinho	5...10
Preto	5...10

Fonte: Catálogo Itaim, 2008.

Alguns fabricantes apresentam em seus catálogos as luminárias com suas eficiências (ou rendimento) específicas. Dessa forma esse dado pode ser utilizado juntamente com a eficiência do recinto e serve para a determinação do fator de utilização. A eficiência do local é encontrada através das dimensões do ambiente a ser iluminado e pode ser calculada levando-se em conta a equação 3.3.

$$K = \frac{A \times B}{H_{lp} \times (A + B)} \quad (3.3)$$

onde:

K = eficiência;

A = comprimento do recinto (m).

B = largura do recinto (m).

H_{lp} = Altura da fonte de luz sobre o plano de trabalho (m).

Então, além dos valores anteriormente apresentados pela Figura 3.5 é considerada uma janela de trabalho (também chamada de janela ergonômica) de 80 cm a 1,20 m para uma ergonomia correta na manipulação do jato, onde o valor considerado é de 1 m.

Uma vez tendo-se todos esses valores para se substituir na equação anterior, o comprimento, a largura e o pé-direito útil (distância fonte de luz até a área de trabalho ou altura do local menos a altura do plano de trabalho), calcula-se o índice do recinto segundo a equação 3.5.4.

$$K = \frac{20 \times 9,6}{(8,5 - 1) \times (20 + 9,6)} \quad (3.4)$$

$$K = 0,865$$

Com o índice K calculado e a eficiência da luminária através da pesquisa no manual do fabricante se pode determinar o fator de utilização pela equação 3.5.5. Onde a luminária escolhida foi a do fabricante Itaim 4811 FA, como mostra a Figura 3.4.

Figura 3.4 – Luminária Itaim 4811 FA.



Fonte: Itaim, 2013.

É importante ressaltar que a luminária escolhida é similar ao modelo Philips HDK 472, largamente utilizada na indústria metalúrgica estudada, porém o catálogo utilizado mostrou-se com mais informação pertinentes ao projeto em execução.

Portanto, de posse do valor de K , que é o índice do recinto, calcula-se o fator de utilização do local de acordo com a equação 3.5.

$$u = K \times \eta_{Luminária} \quad (3.5)$$

$$u = 0,865 \times 0,62$$

$$u = 0,5363$$

onde:

u = fator de utilização;

$\eta_{Luminária}$ = eficiência ou rendimento da luminária;

Porém, usualmente, os fabricantes costumam apresentar para as suas luminárias um quadro que faz a relação entre o índice do recinto e as refletâncias do teto, parede e piso, como é visto na Tabela 3.8. A tabela apresenta os fatores de utilização da luminária comercial pendente, com corpo em chapa de aço tratada e pintada. Refletor em alumínio anodizado e jateado para fecho aberto, modelo 7811FA da Itaim, podendo utilizar lâmpadas de 250 ou 400 Watts. Porém, antes é necessário se conhecer os índices de refletância média do teto, parede e chão para a cabine de jateamento, que possuem as características mostradas na Tabela 3.5.7.

Tabela 3.8 – Valores de refletância em relação ao teto, parede e piso.

Estrutura	Característica	Refletância (%)
Teto	Branco	70
	Claro	50
	Escuro	30
Parede	Clara	50
	Escura	30
Piso	Escuro	10

Fonte: João Mamede Filho, 2007.

E, de acordo com a tabela anterior, que demonstra as variações possíveis para os índices de refletância, os valores para a cabine de pintura analisada são exibidos na Tabela 3.9.

Tabela 3.9 – Valores de refletância em relação ao teto, parede e chão.

Estrutura	Característica	Refletância (%)
Teto	Escuro	30 (25)
Parede	Escuro	30 (25)
Piso	Escuro	10

Fonte: o autor.

Os índices de 25% podem ser considerados fazendo-se uma aproximação a partir do valor de refletância para a cor cinza médio, uma vez que as paredes do local se assemelham muito com tal cor, e, também, fica a critério do projetista conhecendo o local optar por escolher valores mais específicos para o projeto.

Nesse momento deve-se relacionar a refletância do teto, parede e chão, demonstrados na Tabela 3.10, com o índice de recinto (ou K_r), para se identificar o fator de utilização do recinto.

Porém, é importante observar que a Tabela 3.10 exposta não possui todas as combinações possíveis de refletância. Dessa forma, muitas vezes é necessário à realização de interpolação para se encontrar um coeficiente de utilização mais adequado ao local, como é apresentado a seguir.

Tabela 3.10 - Interpolação para se achar o fator de utilização.

TETO (%)	70			50			30		0
PAREDE (%)	50	30	10	50	30	10	30	10	0
PISO (%)	10			10			10		0
Kr	FATOR DE UTILIZACAO (X 0.01)								
0.60	36	33	30	36	33	30	32	30	29
0.80	42	38	36	41	38	36	38	35	34
1.00	46	43	40	45	42	40	42	40	39
1.25	50	47	44	49	46	44	46	44	43
1.50	52	50	47	51	49	47	48	47	45
2.00	56	54	52	55	53	51	52	51	50
2.50	Deve ser feita a técnica de interpolação								
3.00	60	58	57	59	57	56	56	56	54
4.00	61	60	59	60	59	58	58	57	56
5.00	62	61	60	61	60	59	59	59	57

Fonte: Itaim, 2013.

Então, de acordo com o proposto pela análise anterior, deve-se aplicar o método de interpolação, conforme a equação 3.5.6, pois não existe o valor específico de K_r como foi calculado anteriormente. E, dessa forma, os valores irão ficar mais próximos do valor esperado, pois o fator de utilização não seria satisfatório caso fosse feita uma aproximação para 0,60 ou 0,80.

$$\frac{0,80 - 1,00}{0,38 - 0,42} = \frac{0,80 - 0,865}{0,38 - F_u} \quad (3.6)$$

$$5 = \frac{-0,065}{0,38 - F_u}$$

$$1,9 - 5F_u = -0,065$$

$$F_u \approx 0,393$$

Portanto, já é possível se calcular o fluxo luminoso total (ψ) para as lâmpadas, como é mostrado abaixo a partir na equação 3.5.7, já explorada anteriormente e com base nos valores que foram calculados e analisados.

$$\psi = \frac{300 \times 192}{0,393 \times 0,70} \quad (3.7)$$

$$\psi = 205.714,29 \text{ lumens}$$

Finalmente deve-se calcular o número de luminárias que deverão ser instaladas no teto do local, de maneira uniforme e, principalmente, para se atingir os 300 lux determinados pela diretriz. Como é mostrado na equação 3.8.

$$N_{lumin \text{ rias}} = \frac{\psi}{N_{l \text{ mpadas/lumin \text{ ria}}} \times \psi_{l \text{ mpada}}} \quad (3.8)$$

onde:

$N_{lumin \text{ rias}}$ = número de luminárias;

ψ = fluxo luminoso total (lm).

$N_{l\ mpadas/lumin\ ria}$ = número de lâmpadas por luminária;

$\psi_{l\ mpada}$ = fluxo luminoso emitido por uma lâmpada (lm).

Como o número de lâmpadas por luminária nessa análise não é alterado e o fluxo luminoso total permanecerá inalterado é feita uma tabela comparativa (Tabela 3.11), inicialmente para as lâmpadas de vapor de sódio, vapor metálico e vapor de mercúrio, nas potências de 250 e 400 watts.

Tabela 3.11 – Comparativo entre lâmpadas, segundo potência e fluxo luminoso.

	Potência (W)	$\psi_{lâmpada}$ (lumens)	$N_{luminárias}$
Vapor de sódio	250	26.000	8
	400	47.500	5
Vapor metálico	250	-	-
	400	28.500	8
Vapor de mercúrio	250	12.600	17
	400	22.000	10

Fonte: o autor.

Portanto, para uma iluminação eficiente no local e que possa estar apta a promover um iluminamento de acordo com as indicações da norma NBR 5413 deve-se usar o número de luminárias proposto pela tabela que foi apresentada, dependendo da tecnologia que se pretende escolher. Entretanto, os valores apresentados são mínimos, pois o número real de equipamentos instalados no teto da cabine é definido pelo projetista, levando-se em consideração a distribuição das luminárias no recinto. Ou seja, deve-se usar o bom senso, como citado anteriormente, para não se instalar um número ímpar de luminárias em um local que não aceitaria tal configuração, como é o caso do galpão que está sendo analisado.

Logo, o número de luminárias pode ser aproximado para um número par, promovendo uma margem de segurança maior para os índices no local, além de uma distribuição mais uniforme dos equipamentos no interior do recinto.

Essa foi a etapa final do projeto luminotécnico aplicado à cabine de jateamento da empresa metalúrgica abordada em termos de cálculos, e a seguir são feitas considerações pertinentes à configuração das luminárias propostas e outras questões apropriadas.

3.6 ESCOLHA DAS LUMINÁRIAS E DISPOSIÇÃO NO RECINTO

A luminária escolhida para o estudo de caso foi a 4811 FA da fabricante Itaim e alguns fatores quanto à escolha da mesma já foram abordados, como a possibilidade de se instalar na mesma luminária lâmpadas de potências diferentes, uma vez que o soquete E40 adapta lâmpadas de 250 W e 400 W, que é o padrão utilizado pela empresa.

Ou seja, é possível no final do projeto luminotécnico apresentado analisar para um mesmo tipo de luminária dois índices diferentes de fluxo luminoso proveniente das lâmpadas, que definirão a quantidade de equipamentos a serem utilizados, e, dessa forma, não gerarem o desconforto de se fazer a troca das luminárias escolhidas logo no começo do projeto para potências diferentes das fontes de luz.

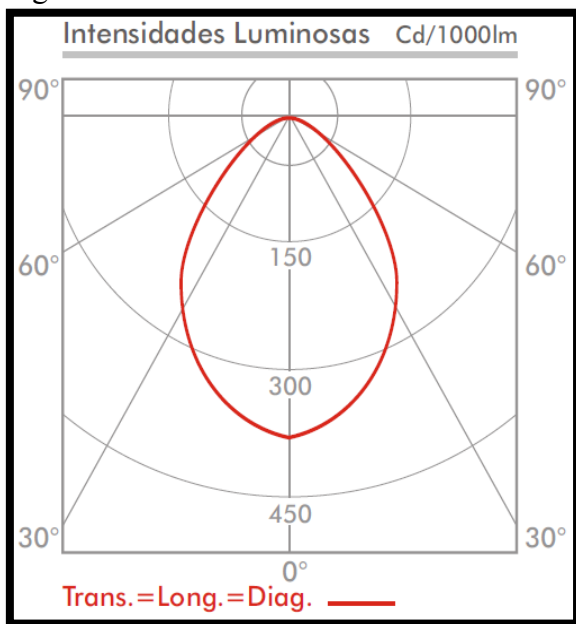
Outro fator a ser considerado é a escolha da luminária quanto à intensidade luminosa promovida por ela, pois assim é possível se definir uma iluminação mais concentrada ou espalhada no ambiente que está sendo considerado, e isso se dá através do gráfico de intensidade luminosa para o equipamento escolhido.

Segundo Fiorini (2006), para a determinação da característica de cada tipo de luminária e sua intensidade luminosa específica, foi criado uma representação gráfica de distribuição luminosa, onde essa representação é demonstrada através de um gráfico em coordenadas polares e, normalmente, referenciada a 1000 lumens.

Considerando o sistema lâmpada-luminária localizado no centro do gráfico, a intensidade luminosa é determinada em função das diversas direções.

Dessa forma é possível se fazer uma analogia para a luminária escolhida de acordo com o gráfico cedido pelo fabricante, como mostra a Figura 3.5.

Figura 3.5 – Gráfico de intensidade luminosa.

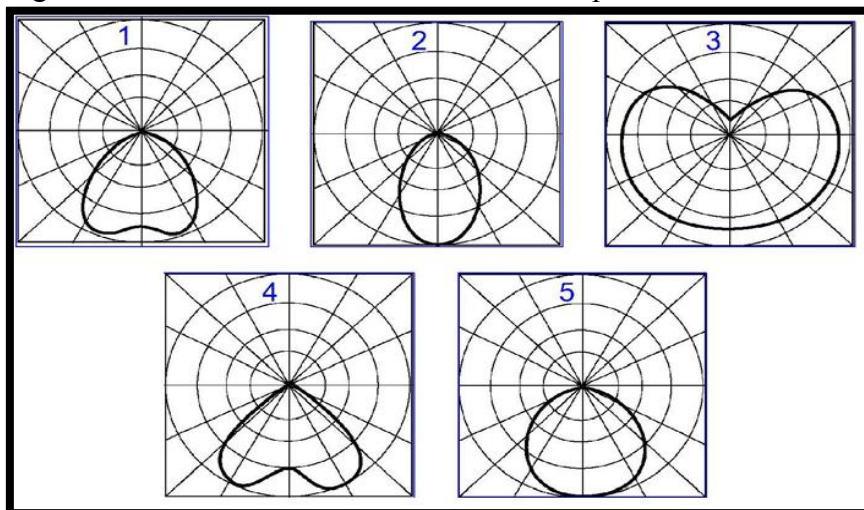


Fonte: Itaim, 2013.

Observando a Figura 3.5, pode-se concluir que para um ângulo de 0°, ou seja, diretamente abaixo da luminária que está sendo considerada, a intensidade luminosa é de cerca de 375 candelas para cada 1000 lumens. Entretanto, considerando-se um ângulo de 30° a iluminância é de 260 candelas para cada 1000 lumens.

Na Figura 3.6 são apresentadas várias configurações quanto à curva de distribuição luminosa para as luminárias mais utilizadas em recintos fechados, apresentando características e comportamentos diferentes para cada finalidade e aplicação.

Figura 3.6 – Gráfico de intensidade luminosa para luminárias variadas.



Fonte: Eletropaulo, 2006

- Curva 1 - indicada para recintos que requerem índices de iluminamento médios e um bom controle de reflexos.
- Curva 2 - indicada para recintos altos, como é o caso da luminária escolhida nesse estudo, onde se desejam baixos a médios níveis de iluminância.
- Curva 3 - indicada para recintos que requerem baixa iluminância.
- Curva 4 - indicada para recintos de alta iluminância e com a necessidade de controle de ofuscamento, como, por exemplo, escritórios de documentação técnica.
- Curva 5 - indicada para recintos que requerem baixos a médios níveis de iluminamento e de baixa altura.

Portanto, é de responsabilidade do projetista escolher a luminária de acordo com a classificação e a curva de distribuição luminosa mais adequada ao recinto, discernir entre a grande variedade de possibilidades existentes no mercado a melhor opção de luminária, levando-se em consideração a potencialização do rendimento luminoso, os níveis de ofuscamento, de reflexo, do nível de iluminamento e, sobre tudo, considerar antes de tudo a atividade exercida no local.

3.7 ESPECIFICAÇÃO DA LÂMPADA

A escolha do tipo de lâmpada que deve ser utilizada em um projeto luminotécnico deve estar relacionada com algumas condições específicas que variam de acordo com as características de cada equipamento, seja na fabricação ou na sua utilização.

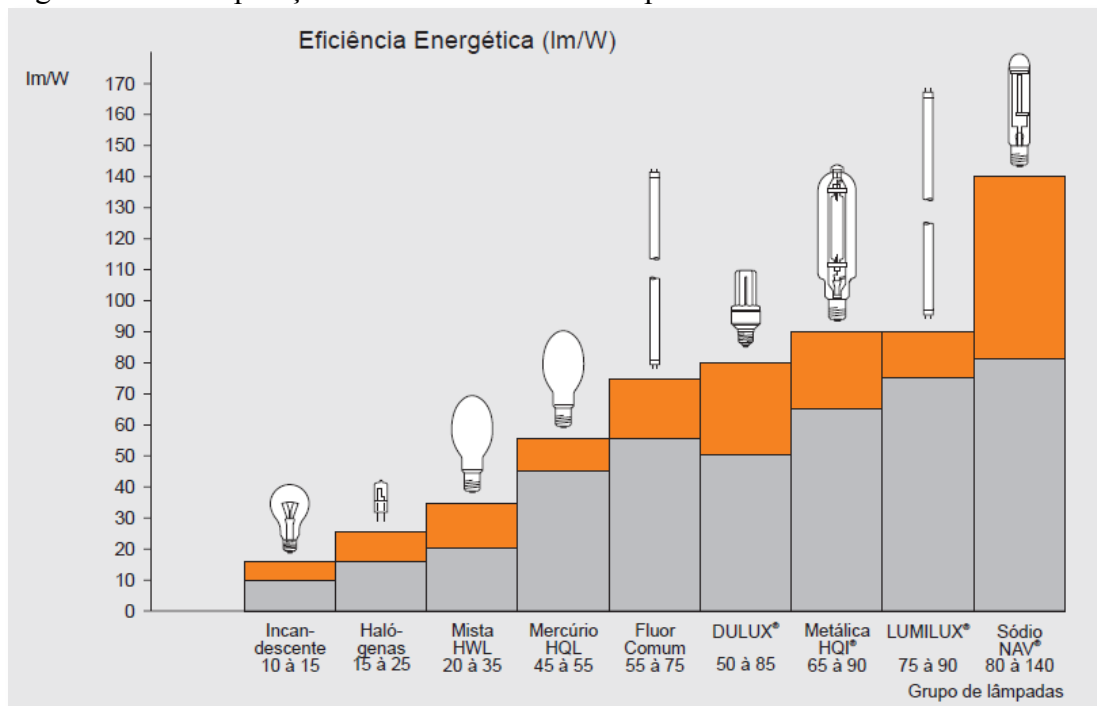
Algumas características devem ser analisadas e a escolha deve estar focada no objetivo que se deseja atingir com a instalação de tais equipamentos, levando-se em conta a classificação dos mesmos através de seu desempenho. E para se atingir o melhor desempenho em uma instalação é importante se considerar atribuições muito importantes das lâmpadas, como a sua vida útil média, eficiência, índice de reprodução de cores e sua temperatura de cor.

Na Figura 3.7 é possível se correlacionar as inúmeras tecnologias de lâmpadas para a escolha mais apropriada e, a eficiência é um grande aliado na opção pela compra

de uma lâmpada ou outra. Mas, o projetista deve ficar atento, pois ganhos em iluminação podem gerar maior potência consumida e, se deve desde o início de um projeto ter a clareza do escopo do projeto efetuado.

É possível perceber que a lâmpada de vapor de sódio mostra-se mais eficiente quando comparada com outras tecnologias, apresentando boa relação lúmen por Watt.

Figura 3.7 – Comparação entre eficiência das lâmpadas.



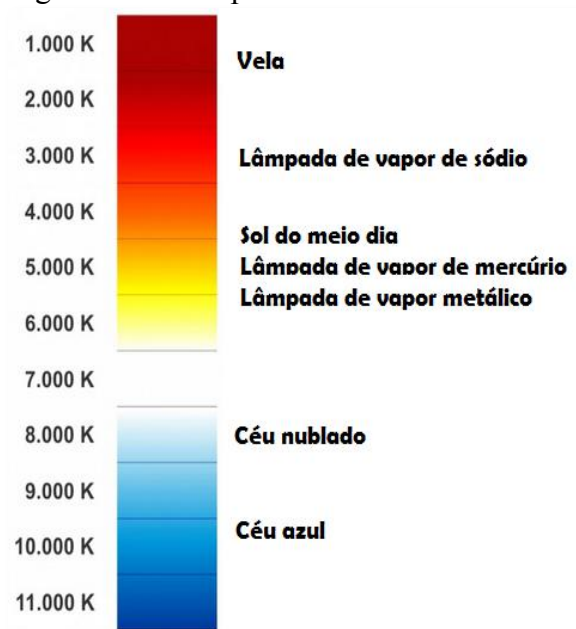
Fonte: Osram, 2006.

Outro requisito válido na escolha da lâmpada é a temperatura de cor que a mesma promove. As lâmpadas podem promover diferentes temperaturas de cor de acordo com suas especificações, e essa grandeza é medida em Kelvin (K). Uma lâmpada com uma cor amarela suave tem temperatura de cor mais baixa, com “menos Kelvin”, ou seja, menor temperatura de cor, proporcionando um ambiente mais acolhedor e relaxado. Entretanto, uma lâmpada com uma cor branca fria tem maior temperatura de cor, logo apresenta “mais Kelvin”, ou seja, maior temperatura de cor, proporcionando um ambiente mais enérgico. Assim, compreender a temperatura de cor de uma lâmpada é aprender a criar diferentes tipos de ambientes e adequar os equipamentos para uma melhor configuração.

Na Figura 3.8 é possível perceber a relação entre algumas lâmpadas e outros elementos de acordo com a temperatura de cor que cada uma apresenta. É possível verificar que para os três tipos de lâmpadas mais comuns na utilização industrial não há

um valor muito discrepante em relação aos seus índices, porém não podem deixar de ser considerados no projeto. E através de uma breve análise a lâmpada de sódio mostrou-se mais adequada para se incorporar na iluminação da cabine de jateamento.

Figura 3.8 – Temperatura de cor.



Fonte: Luxside iluminação, 2013.

Finalmente, para auxiliar a escolha da lâmpada ideal a ser instalada na cabine de jateamento foram utilizadas as Tabelas 3.12, 3.13 e 3.14 onde é possível verificar a comparação de inúmeras lâmpadas de acordo com suas características. E, para o caso do projeto efetuado, a lâmpada escolhida foi a de vapor de sódio á alta pressão de 250 W (Figura 3.9), pois a instalação já conta com reatores de mesma potência não sendo necessária a aquisição de novos equipamentos desse tipo.

Figura 3.9 – Lâmpada Osram de vapor de sódio.



Fonte: Osram, 2006.

Também, lâmpadas de vapor de sódio apresentam vida média satisfatória dentre as demais analisada juntamente com seu fluxo luminoso maior, quando se comparadas à outras lâmpadas na mesma potência. E a lâmpada de vapor metálico não foi escolhida por conta de apresentar uma potência superior a necessária e analisada para se suprir a necessidade de uma iluminação eficiente na cabine de jateamento.

Tabela 3.12 – Comparação entre lâmpadas incandescentes, mistas e mercúrio.

Características das Lâmpadas							
Tipo de Lâmpada	Potência (watts)	Fluxo Luminoso (lumens)	Eficiência Luminosa Média (lm/watts)	Vida Média (horas)	Vantagem	Desvantagem	Observação
Incandescente comum	40	470	12	1.000	Iluminação geral e localizada de interiores. Tamanho reduzido e custo baixo.	Baixa eficiência luminosa e, por isto, custo de uso elevado; alta produção de calor, vida média curta.	Ligação imediata sem necessidade de dispositivos auxiliares.
	60	780	13				
	100	1.480	15				
	150	2.360	16				
Mista	160	3.000	19	6.000	Substituem lâmpadas incandescentes normais de elevada potência. Pequeno volume. Boa vida média.	Custo elevado; demora 5 minutos para atingir 80% do fluxo luminoso.	Não necessita de dispositivos auxiliares, e é ligada somente em 220 V
	250	5.500	22				
	500	13.500	27				
Vapor de mercúrio*	80	3.500	44	15.000	Boa eficiência luminosa, pequeno volume, longa vida média.	Custo elevado, que pode ser amortizado durante o uso; demora de 4 a 5 minutos para conseguir a emissão luminosa máxima.	Necessita de dispositivos auxiliares (reator) e é ligada somente em 220 V.
	125	6.000	48				
	250	12.600	50				
	400	22.000	55				
	700	35.000	58				

Fonte: Mamede Filho, 2007.

Tabela 3.13 – Comparação entre lâmpadas fluorescentes.

Fluorescente comum*	15	850	57	7.500	Ótima eficiência luminosa e baixo custo de funcionamento. Boa reprodução de cores. Boa vida média.	Custo elevado de instalação.	Necessita de dispositivos auxiliares (reator + starter ou somente reator de partida rápida).
	20	1.200	53	10.000			
	30	2.000	69				
	40	3.000	69				
Fluorescente H.O	60	3.850	64	10.000			
	85	5.900	69				
	110	8.300	76				
Fluorescente econômica*	16	1.020	64	7.500			
	32	2.500	78				
Fluorescente compacta*	5	250	50	5.000			
	7	400	57				
	9	600	67				
	11	900	62				
	13	900	69				
	15	1.100	70				
	20	1.200	72				
	23	1.400	74				

Fonte: Mamede Filho, 2007.

Tabela 3.14 – Comparação entre lâmpadas de sódio e vapor metálico.

Vapor de sódio à alta pressão*	50	3.000	60	18.000	Ótima eficiência luminosa, longa vida útil, baixo custo de funcionamento, dimensões reduzidas**, razoável rendimento cromático (luz de coloração branco-dourada).	Custo elevado que é amortizado com o uso. Demora em torno de 5 minutos para a lâmpada atingir 90% do fluxo luminoso total.	Necessita de dispositivos auxiliares (reator + ignitor) e é ligada em 220 V.
	70	5.500	79				
	150	12.500	83				
	250	26.000	104				
	400	47.500	119				
Vapor metálico	400	28.500	98	24.000	Ótima eficiência luminosa, longa vida útil.	Custo elevado que é amortizado com o uso.	Necessita de dispositivos auxiliares.
	1.000	90.000					
	2.000	182.000					

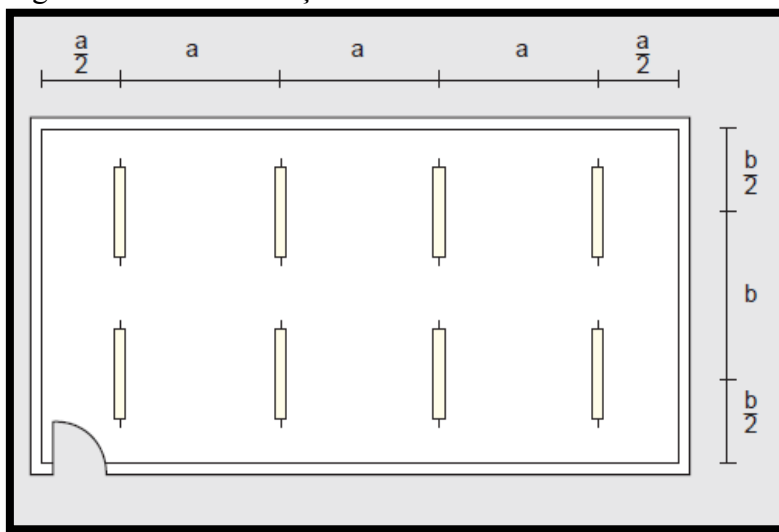
Fonte: Mamede Filho, 2007.

3.8 RESULTADOS DO SISTEMA PROPOSTO DE ILUMINAÇÃO

O resultado final do estudo aplicado de iluminação para a cabine de jateamento da empresa estudada tem por finalidade concluir as análises realizadas, levantar as principais necessidades quanto à iluminação no local apresentado e, juntamente com esse levantamento, apresentar propostas de melhorias somadas as que já foram anteriormente analisadas nas escolhas das luminárias e lâmpadas.

A disposição das luminárias é feito como mostra o esquemático apresentado pela Figura 3.10, após o cálculo técnico efetuado no capítulo anterior, que demonstra uma distribuição uniforme das luminárias com o intuito de se contemplar todo o espaço do recinto de maneira satisfatória.

Figura 3.10 – Distribuição de luminárias no teto.



Fonte: Osram, 2006.

Portanto para o caso analisado, de acordo com a observação proposta para distribuição dos equipamentos e dimensões do recinto, o posicionamento das luminárias fica como mostrado na Figura 3.11. Levando-se em conta que são aproximadas as luminárias de oito para dez, por já existirem no local tal número de equipamentos, não precisando, assim, realizar a mudança da configuração do local que acarretaria em gastos.

Então, segundo a proposta de disposição apresentada as equações x e y definem o espaçamento de acordo com a configuração do ambiente de estudo. E o resultado dessa disposição é apresentado na Figura 3.11.

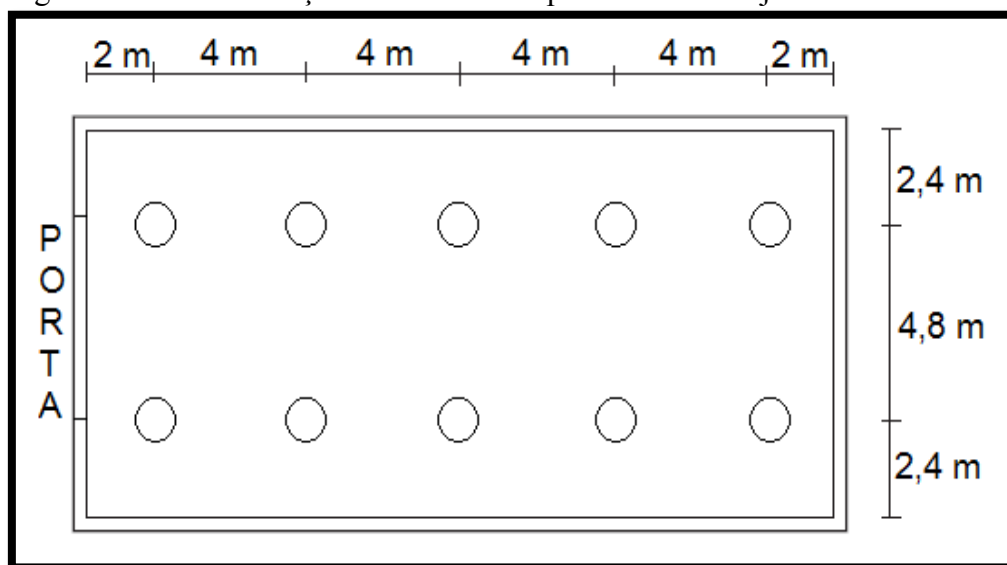
$$dist \text{ \textit{ncia entre as lumin rias}}_a \rightarrow \frac{20}{\frac{a}{2} + a + a + a + a + \frac{a}{2}}$$

$$a = 4 \text{ m}$$

$$dist \text{ \textit{ncia entre as lumin rias}}_b \rightarrow \frac{9,6}{\frac{b}{2} + b + \frac{b}{2}}$$

$$b = 4,8 \text{ m}$$

Figura 3.11 – Distribuição das luminárias para a cabine de jateamento.



Fonte: o autor.

A lâmpada e a luminária escolhidas no projeto já foram definidas e estão aptas a promover a iluminação adequada conforme indica a NBR 5413, ou seja, atingir os 300 lux aconselhados para uma boa luminosidade no recinto para a execução das atividades.

Finalmente, conclui-se o estudo aplicado para o caso da iluminação na cabine de jateamento, e, conforme a tabela 3.15, é possível identificar alguns problemas referentes à cabine de jateamento abordada e as possíveis soluções apontadas. É necessário lembrar que outras observações podem surgir durante a análise desses dados e resultados, lembrando-se que tudo o que foi analisado ao longo do estudo está intrinsecamente relacionado com a tabela a seguir, de maneira direta ou indireta.

Portanto, a tabela reúne todos os parâmetros que foram abordados anteriormente de maneira organizada e resumida para servir de auxílio caso alguma proposta venha a ser interessante à implantação.

Tabela 3.15 – Resultados.

Problemas	detalhamento	Propostas possíveis	Comentários
Iluminância fora dos padrões da ABNT 5413.	O índice de iluminação indicado para cabines de jateamento é de 300 lux, sendo que o apresentado pelo local estava em 39 lux.	Estudo luminotécnico.	O estudo luminotécnico, como foi apresentado, é capaz de identificar os níveis mais indicados para as atividades no local de jateamento.
	Telas de proteção em aço retêm muitas granalhas impedindo a passagem da luz eficientemente.	Manutenção das telas de proteção de aço.	Para baixos investimentos indica-se a manutenção preventiva e regular dos dispositivos de proteção das luminárias, como retirada das granalhas acumuladas na tela de proteção.
Lâmpadas danificadas/velhas.	Lâmpadas com vida útil ultrapassada.	Substituição das lâmpadas com fluxo luminoso baixo.	Lâmpadas devem apresentar indicação de quando foi feita a primeira instalação para que equipamentos "velhos" não sejam instalados novamente.
	Reutilização de lâmpadas.	Não reutilizar lâmpadas que já estavam em funcionamento por um período considerável (vida útil comprometida).	Lâmpadas com vida útil ultrapassada podem precisar de manutenção a curto prazo.
		Instalação de lâmpadas novas.	Alta eficiência alcançada no ato da instalação.
		Instalação de lâmpadas mais potentes.	Custos com a troca dos reatores devem ser considerados (exemplo para 400W).
Proteção precária das lâmpadas e luminárias.	Lâmpadas e luminárias apresentam grande índice de quebra e danos por conta dos jatos de granalha de aço.	Substituição das telas de proteção de aço por vidros blindados para evitar a quebra das lâmpadas e danos às luminárias.	Foi testado vidro temperado, porém quebra demasiadamente, policarbonato fica escurecido pela temperatura das lâmpadas e as telas de aço retêm muita granalha.
Luminárias velhas/danificadas.	Luminárias foscas.	Substituição por luminárias novas.	Alta eficiência alcançada no ato da instalação.
	Luminárias amassadas.		
	Luminárias sujas.	Manutenção preventiva das luminárias existentes (polimento).	A manutenção pode evitar custos adicionais, ou, pelo menos, adiá-los por um período.
Falta de conscientização e preparo dos operadores do jato.	Direcionamento do jato contra as luminárias.	Treinamento e acompanhamento dos colaboradores para o manuseio correto do jato.	Problemas podem ser minimizados com o investimento de tempo para formação dos funcionários.
	Rebatimento das granalhas contra as peças.	Propostas estavam sendo estudadas quanto à geometria das granalhas por outros setores da empresa.	
Sombreamento provocado pelas peças.	Peças grandes causam sombreamento no local.	Iluminação pontual.	O reator deve ficar junto do equipamento de iluminação para que não ocorra perdas e o dispositivo funcione inadequadamente.

Fonte: o autor.

4 CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA

Comumente os mais variados tipos de equipamentos elétricos que fazem parte de uma planta industrial necessitam de duas parcelas de energia para que possam realizar as suas específicas funções, dependendo, principalmente, da composição elétrica interna do equipamento e de seu comportamento de acordo com a atividade. Esses equipamentos são vistos pelo sistema elétrico como sendo cargas e, dessa forma, faz-se necessário compreender a rigor o comportamento de cada uma delas para que a instalação funcione corretamente, a atividade seja realizada de acordo e para que o consumidor não seja lesado com multas de não conformidade, como é comentado a seguir.

A energia necessária para que um determinado dispositivo funcione adequadamente pode ser dividida em duas parcelas diferentes: energia ativa (energia efetiva) e energia reativa (magnetização), conforme relação apresentada abaixo na Figura 4.1.

Figura 4.1 – Relação entre energia ativa e reativa.



Fonte: COELBA, 2011.

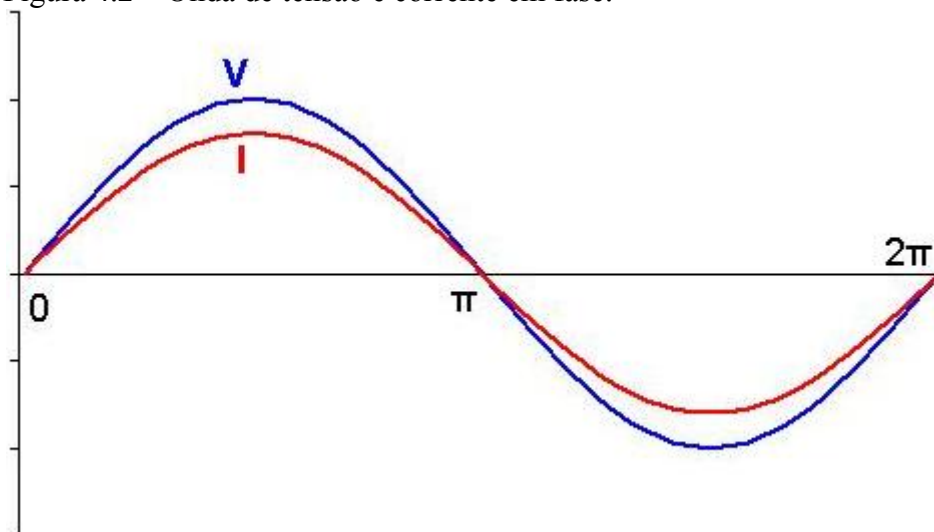
As potências ativas e reativas possuem uma relação natural entre elas. Na verdade, a potência reativa depende linearmente da potência ativa através do fator de potência, como é visto a seguir.

Pode-se entender, primeiramente, a energia ativa como sendo a energia responsável efetivamente pela realização de trabalho e assim gerar calor, luz, movimento, entre outros e essa medida em quilo watt (Manual TLA). Ou seja, toda potência gerada pela concessionária de energia é efetivamente transportada através do sistema de transmissão e distribuição e é absorvida pela carga, salvas as perdas no

transporte, uma vez que as linhas de energia podem oferecer uma pequena resistência à passagem da corrente.

Todas as cargas que requerem das linhas uma energia do tipo ativa – que operam segundo uma potência ativa - possuem fator de potência igual a um, onde não existe defasagem angular entre a corrente (I) e a tensão (V), como se pode verificar na Figura 4.2.

Figura 4.2 – Onda de tensão e corrente em fase.



Fonte: Spohl, 2008.

Toda essa quantidade de energia efetivamente consumida pelas cargas é mensurada pelos medidores e contabilizada nas contas de energia da empresa. É mostrado a seguir alguns exemplos de cargas dotadas somente de potência ativa vistas pelo sistema elétrico:

- Aquecedores elétricos.
- Fornos elétricos.
- Lâmpadas incandescentes.
- Ferro de passar.
- Chuveiros.

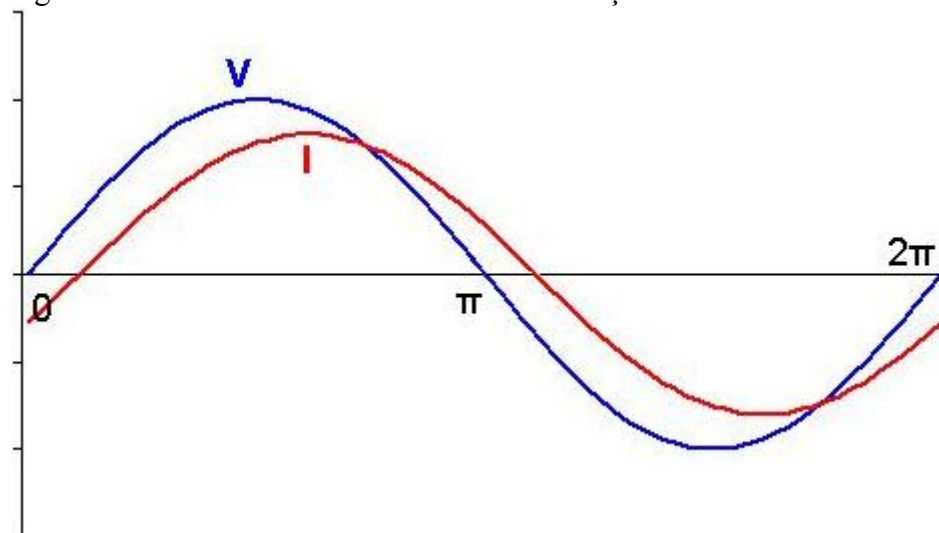
Já a energia reativa apresenta um comportamento um tanto quanto diferente e requer uma análise mais aprofundada para que possa se entender a sua funcionalidade dentro do sistema elétrico de uma indústria. Além da grande importância que a análise dessa energia apresenta para a empresa que está sendo abordada.

A energia reativa é consumida geralmente por equipamentos que são dotados de enrolamentos e é medida em Quilo Volt Ampère Reativo (kVAr). Essa energia promove a potência reativa responsável pela formação de campo magnético e elétrico nos equipamentos que precisam desse fenômeno. Ou seja, esse é o tipo de energia que não realiza trabalho algum e pode vir a sobrecarregar o sistema, pois equipamentos nessa configuração provocam no sistema de abastecimento uma defasagem entre tensão e corrente. Gerando uma parcela de potência reativa além da ativa que é solicitada ao mesmo tempo do barramento.

Pode-se ainda analisar a parcela reativa da energia subdividindo-as em duas parcelas: capacitivas e indutivas.

A energia indutiva é consumida por aparelhos (cargas) normalmente dotados de bobinas tais como motores de indução, reatores, transformadores ou, até mesmo, por aqueles que operam em formação de arco elétrico, como os fornos a arco. Este tipo de carga apresenta fator de potência dito reativo indutivo e as formas de onda da corrente e tensão podem ser apresentadas na figura 4.3.

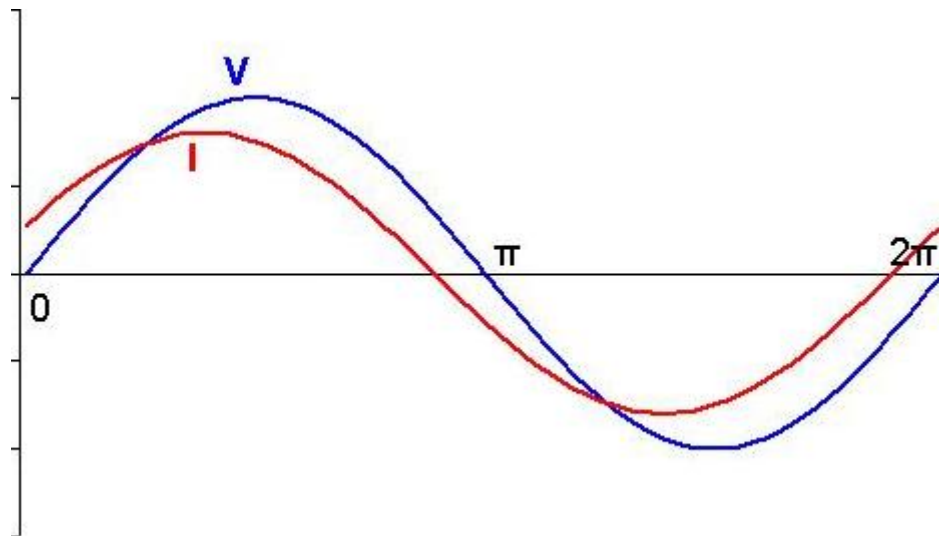
Figura 4.3 – Onda de corrente atrasada em relação à onda de tensão.



Fonte: Spohl, 2008.

Já a energia capacitiva é a parcela que pode ser gerada por motores síncronos superexcitados ou por capacitores. Este tipo de carga apresenta fator de potência dito reativo capacitivo, onde a onda da corrente apresenta-se adiantada em relação à tensão (Figura 4.4).

Figura 4.4 – Onda de corrente adiantada em relação à onda de tensão.



Fonte: Spohl, 2008.

Como alguns dos equipamentos que requerem do sistema a energia reativa para o correto funcionamento tem-se:

- Transformadores.
- Motores de indução.
- Geradores.
- Máquinas de solda MIG/TIG.
- Máquina de levar.
- Lâmpadas fluorescentes.

4.1 FATOR DE POTÊNCIA

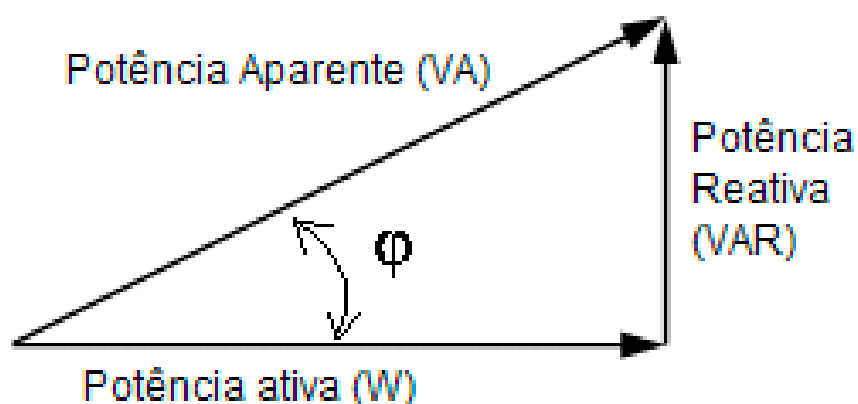
A grandeza fator de potência é a relação existente entre a componente da potência ativa e o valor total da potência da carga, ou seja, a potência aparente (CEMIG, 2003). É através desse fator que se pode avaliar se a energia reativa está sendo utilizada racionalmente, assim, relacionando-a com a energia ativa.

Se elevar o valor do Fator de Potência ocorre um melhor aproveitamento da energia drenada da rede de energia elétrica. Isso se deve a redução do valor RMS da corrente para um mesmo valor de Potência Ativa, reduzindo as perdas com a transmissão e também evitando a sobrecarga do sistema de distribuição.

O fator de potência também pode ser relacionado pelo cosseno do ângulo entre as potências aparente (equação 4.1), segundo a relação apresentada pelo triângulo de potências, conforme Figura 4.5.

$$\cos \varphi = \frac{P_{Ativa}}{P_{Aparente}} \quad (4.1)$$

Figura 4.5 – Triângulo de potência.



Fonte: o autor.

4.2 CAUSAS DO BAIXO FATOR DE POTÊNCIA

Baixos fatores de potência podem proporcionar à instalação um mau dimensionamento dos componentes elétricos do sistema, drenar uma energia da fonte que seja a ideal, frente às características físicas e de operação das máquinas e, além disso, podem promover multas aplicadas pela concessionária de energia pelo fato de o fator de potência estar abaixo do proposto pela legislação brasileira.

Pode-se citar, segundo Mamede Filho (2007), os equipamentos a seguir como sendo os principais fatores que causam o baixo fator de potência:

- Motores trabalhando a vazio por um longo período.
- Motores superdimensionados.
- Transformadores em carga leve ou a vazio.
- Lâmpadas de descarga (fluorescentes, vapor de mercúrio, vapor de sódio e vapor metálico) com reatores de baixo fator de potência.

- Fornos a arco.
- Fornos de indução eletromagnética.
- Máquinas de solda a transformador.
- Equipamentos eletrônicos.
- Grande número de motores de baixa potência em operação.

Os bancos de capacitores corrigem a energia reativa de forma automática. A energia reativa é gerada por equipamentos elétricos com enrolamentos (mencionados) e capacitores. Essa energia reativa prejudica as redes elétricas, gerando desequilíbrios e, por isso, ela deve ser eliminada.

Ocorre que os capacitores produzem uma energia reativa exatamente ao contrário da reativa produzida por motores. E isso significa que as duas se anulam.

O banco de capacitores baseia-se em certa quantidade de capacitores com um controlador automático (podendo também não ser) que está continuamente medindo o fator de potência.

Esse controlador chama sempre a quantidade necessária de capacitores necessários para anular a energia reativa produzida pelos motores.

4.3 LEGISLAÇÃO

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) foi criada com a finalidade de regular e fiscalizar a produção, transmissão e comercialização de energia elétrica no território brasileiro, em conformidade com as Políticas e Diretrizes do Governo Federal. E estabelece, para efeitos normativos, que o fator de potência nas unidades consumidoras industriais deve ser superior a 0,92 capacitivo, durante 6 horas da madrugada, e 0,92 indutivo, durante as demais 18 horas do dia.

Esse limite mínimo é determinado pelo Artigo nº 95 da Resolução ANEEL nº414 de 09 de setembro de 2010, e para os clientes industriais que descumprirem são aplicadas multas, que levam em conta juntamente com o fator de potência medido a energia consumida mensal.

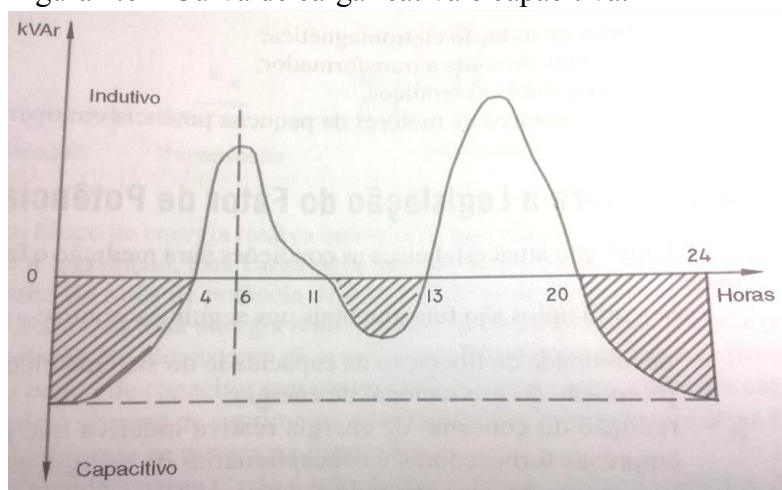
A resolução estabelece, também, a obrigatoriedade da medição do fator de potência através das concessionárias para as unidades consumidoras de alta tensão (abastecimento acima de 1000 V) e facultativa para as unidades consumidoras de baixa tensão. A cobrança

em baixas tensões raramente ocorre, pois o fator de potência deste tipo de unidade consumidora geralmente está acima de 0,92.

O fator de potência tanto indutivo como capacitivo deve estar à cima de 0,92 respeitando-se a sua avaliação ao decorrer do dia, onde de acordo com a mesma poderá ou não gerar multas pelo não cumprimento do que estabelece a resolução da ANEEL. E a seguir é apresentada a análise, também exemplificada pela Figura 4.6.

- a energia reativa indutiva é medida no período das seis às vinte e quatro horas, com intervalos de uma hora.
- a energia reativa capacitiva é medida no período da zero às seis horas, respeitando-se intervalos de uma hora; no período da zero às quatro horas os excedentes de energia reativa capacitiva são contabilizados para pagamento, onde $F_p < 0,92$; no período das quatro às seis horas os excedentes de energia reativa indutiva não são contabilizados para pagamento.
- no período das seis às onze horas os excedentes de energia reativa indutiva são contabilizados para pagamento, onde $F_p < 0,92$.
- no período das onze às treze horas os excedentes de energia reativa indutiva não são contabilizados para pagamento.
- no período das treze às vinte os excedentes de energia reativa indutiva são contabilizados para pagamento, onde $F_p < 0,92$.
- no período das vinte às vinte e quatro horas os excedentes de energia reativa capacitiva não são contabilizados para pagamento.

Figura 4.6 – Curva de carga reativa e capacitiva.



Fonte: Mamede Filho, 2007.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS DE CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA PARA A INDÚSTRIA METALÚRGICA.

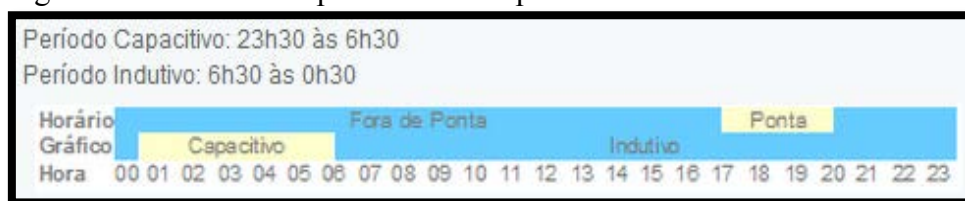
A regulação do fator de potência na indústria apresenta grande importância econômica e, como já foi apresentado anteriormente com maior profundidade de detalhes, não pode deixar de ser acompanhado e medido regularmente para que se conheça o perfil da empresa e se possam tomar algumas precauções, pois a falta de controle dessa grandeza pode gerar prejuízos enormes, esses refletidos na conta de energia elétrica da empresa na forma de multas.

Para o caso da empresa analisada são apresentados os resultados obtidos a partir do retorno a operação de um banco de capacitores no qual foi realizada uma manutenção. Através da apresentação de gráficos é verificada a importância dos bancos de capacitores no sistema e seu impacto positivo na correção do fator de potência.

Inicialmente é necessário esclarecer que o banco de capacitores voltou ao funcionamento normal, ou seja, voltou ao funcionamento após reparo, no dia 4 abr. 2013 e, assim, esse mês merece uma atenção especial, pois é um período de transição dos valores dos fatores de potência.

Assim, as tabelas são analisadas apenas em relação ao fator de potência indutivo fora de ponta e de ponta, como é possível distinguir segundo a Figura 5.1 abaixo.

Figura 5.1 – Período de ponta e fora de ponta.



Fonte: AES Eletropaulo, 2013.

Ao observar a Tabela 5.1 para o mês de fevereiro é possível perceber que nesse período não houve um único dia em que o fator de potência tenha assumido valores acima do valor mínimo esperado de 0,92.

Tabela 5.1 – Fator de potência para o mês de fevereiro.

Dia	Ponta	Fora de Ponta Indutivo	Fora de Ponta Capacitivo
1	0.871	0.859	1.000
2	1.000	0.822	1.000
3	1.000	0.798	1.000
4	0.867	0.856	1.000
5	0.863	0.856	1.000
6	0.875	0.858	1.000
7	0.867	0.864	1.000
8	0.875	0.866	1.000
9	1.000	0.840	1.000
10	1.000	0.777	1.000
11	0.760	0.773	1.000
12	1.000	0.765	1.000
13	0.814	0.822	1.000
14	0.861	0.862	1.000
15	0.870	0.853	1.000
16	1.000	0.842	1.000
17	1.000	0.806	1.000
18	0.879	0.862	1.000
19	0.877	0.862	1.000
20	0.878	0.856	1.000
21	0.876	0.855	1.000
22	0.866	0.856	1.000
23	1.000	0.841	1.000
24	1.000	0.803	1.000
25	0.866	0.852	1.000
26	0.863	0.854	1.000
27	0.860	0.854	1.000
28	1.000	1.000	1.000
29	1.000	1.000	1.000
30	1.000	1.000	1.000
31	1.000	1.000	1.000

Fonte: Smart Energy, 2013.

Da mesma forma, para o mês de março também não houve melhoras quanto aos valores do fator de potência, conforme a Tabela 5.2. Ainda é importante observar que sequer apareceram valores perto do esperado.

Tabela 5.2 – Fator de potência para o mês de março.

Dia	Ponta	Fora de Ponta Indutivo	Fora de Ponta Capacitivo
1	0.877	0.856	1.000
2	1.000	0.831	1.000
3	1.000	0.779	1.000
4	0.878	0.837	1.000
5	0.874	0.862	1.000
6	0.879	0.842	1.000
7	0.881	0.852	-1.000
8	0.882	0.859	1.000
9	1.000	0.850	1.000
10	1.000	0.775	1.000
11	0.879	0.863	1.000
12	0.873	0.855	1.000
13	0.880	0.855	1.000
14	0.879	0.863	1.000
15	0.864	0.858	1.000
16	1.000	0.848	1.000
17	1.000	0.792	1.000
18	0.874	0.846	1.000
19	0.880	0.847	1.000
20	0.863	0.852	1.000
21	0.867	0.849	1.000
22	0.863	0.851	1.000
23	1.000	0.846	1.000
24	1.000	0.793	1.000
25	0.880	0.847	1.000
26	0.881	0.866	1.000
27	0.875	0.854	1.000
28	0.873	0.861	1.000
29	1.000	0.793	1.000
30	1.000	0.789	1.000
31	1.000	0.723	1.000

Fonte: Smart Energy, 2013.

Entretanto, exatamente no dia 4 abr. o fator de potência demonstrou valores mais significativos em termos do valor de 0,92 ideal, apresentado pela Tabela 5.3, e, posteriormente, mesmo com algumas variações, manteve seu valor dentro dos limites estabelecidos. E mesmo quando esteve dentro da faixa de 0,92 esteve oscilando ao redor desse valor ideal, fato que já pode reduzir substancialmente o valor das multas aplicadas pelo não cumprimento dos limites praticados por lei.

Tabela 5.3 – Fator de potência para o mês de abril.

Dia	Ponta	Fora de Ponta Indutivo	Fora de Ponta Capacitivo
1	0.851	0.793	1.000
2	0.883	0.860	1.000
3	0.869	0.841	1.000
4	0.927	0.842	1.000
5	0.908	0.882	1.000
6	1.000	0.841	1.000
7	1.000	0.813	1.000
8	0.924	0.892	1.000
9	0.921	0.892	1.000
10	0.914	0.898	1.000
11	0.914	0.906	1.000
12	0.922	0.906	1.000
13	1.000	0.872	1.000
14	1.000	0.826	1.000
15	0.921	0.894	1.000
16	0.920	0.880	1.000
17	0.917	0.887	1.000
18	0.913	0.902	1.000
19	0.921	0.886	1.000
20	1.000	0.814	1.000
21	1.000	0.819	1.000
22	0.914	0.879	1.000
23	0.929	0.897	1.000
24	0.922	0.895	1.000
25	0.919	0.897	1.000
26	0.907	0.888	1.000
27	1.000	0.846	1.000
28	1.000	0.802	1.000
29	0.906	0.864	1.000
30	0.901	0.880	1.000
31	1.000	1.000	1.000

Fonte: Smart Energy, 2013.

No mês de maio, conforme a Tabela 5.4, é possível notar que abril não se tratou de um mês atípico e manteve seus valores para os meses subsequentes, diminuindo dessa forma, os gastos com multas pelos baixos fatores de potência.

É importante perceber que o problema não foi extinto completamente, uma vez que é possível notar alguns valores de fator de potência abaixo do esperado e determinado por lei, pois a empresa conta com várias cabines de entrada de energia e mais bancos de capacitores necessitam ser instalados na rede elétrica da empresa analisada.

Tabela 5.4 – Fator de potência para o mês de maio.

Dia	Ponta	Fora de Ponta Indutivo	Fora de Ponta Capacitivo
1	1.000	0.806	1.000
2	0.921	0.870	1.000
3	0.914	0.888	1.000
4	1.000	0.838	1.000
5	1.000	0.783	1.000
6	0.907	0.871	1.000
7	0.926	0.894	1.000
8	0.926	0.900	1.000
9	0.927	0.899	1.000
10	0.912	0.892	1.000
11	1.000	0.835	1.000
12	1.000	0.726	1.000
13	0.922	0.873	1.000
14	0.923	0.892	1.000
15	0.916	0.896	1.000
16	0.922	0.896	1.000
17	0.909	0.893	1.000
18	1.000	0.848	1.000
19	1.000	0.811	1.000
20	0.908	0.878	1.000
21	0.926	0.877	1.000
22	0.913	0.897	1.000
23	0.903	0.869	1.000
24	0.904	0.874	1.000
25	1.000	0.796	1.000
26	1.000	0.748	1.000
27	0.931	0.856	1.000
28	0.921	0.887	1.000
29	0.923	0.889	1.000
30	1.000	0.880	1.000
31	0.857	0.828	1.000
26	0.907	0.888	1.000
27	1.000	0.846	1.000
28	1.000	0.802	1.000
29	0.906	0.864	1.000
30	0.901	0.880	1.000
31	1.000	1.000	1.000

Fonte: Smart Energy, 2013.

6 CONCLUSÕES

A utilização da energia elétrica voltada para o sistema de iluminação, seja ele público ou privado, abrange análises muito mais específicas e importantes do que se possa imaginar, uma vez que está presente intrinsecamente em todos os setores da economia e tem o compromisso de promover conforto às pessoas, é condição básica à cidadania, gera segurança no tráfego de pessoas e veículos, também previne a criminalidade, embeleza as áreas urbanas, destaca e valoriza monumentos, prédios e paisagens, orienta percursos, aproveita melhor as áreas de lazer e, no campo industrial, representa maior produtividade, mantém as pessoas concentradas em seus objetivos, ilumina as tarefas e melhora os resultados.

Evidentemente muitos dos ganhos alcançados através de uma boa iluminação são indiretos, como, por exemplo, a segurança e bem estar. Isso não se tratando das indústrias, onde a iluminação deve ser tratada como prioridade e a busca por equipamentos mais eficientes e situações de trabalho mais adequadas deve sempre estar em constante desenvolvimento.

No estudo aplicado de iluminação realizado para uma cabine de jateamento, foi possível se levantar algumas questões pertinentes às melhorias que poderiam ser promovidas quanto ao melhor aproveitamento da luz naquele ambiente.

Chegou-se a conclusão de que uma manutenção constante no local deve ser empregada como forma de se amenizar a diminuição acelerada da iluminação provocada pela intensificação das atividades no recinto. As luminárias devem ser limpas e polidas constantemente por causa do acúmulo de poeira e grânulas devem ser retiradas das telas de proteção.

A troca das lâmpadas por lâmpadas novas, juntamente com o emprego de luminárias novas e específicas para o local foi a proposta apresentada pelo estudo aplicado de luminotécnica (estudo de caso), que através de cálculos provou que é possível se chegar a um nível de iluminamento proposto pela NBR 5413.

O estudo foi pautado através da técnica dos lumens e também inteiramente analisado pela perspectiva da norma que foi fundamental para a execução das atividades aqui contidas.

A pintura das paredes e a sua viabilidade também é um ponto importante a ser discutido com responsáveis pela área de jateamento, o que da mesma forma pode ser eventualmente aplicado às áreas produtivas da empresa, pois se melhorando a refletância através de cores mais claras nas paredes os níveis de iluminamento podem tornar o local mais claro.

Já o fator de potência foi um item abordado de maneira a apresentar como a sua relação é estabelecida através das cargas instaladas na rede elétrica da empresa e de que maneira pode afetar a qualidade de energia. Além das multas que podem ser aplicadas àquelas empresas que não estiverem dentro da faixa preestabelecida por lei.

Foram apresentadas tabelas onde foi possível notar a grande importância da instalação e manutenção dos bancos de capacitores para se promover o equilíbrio entre as cargas que compõem o sistema elétrico da indústria. Já no mesmo dia da manutenção efetuada no banco de capacitor da empresa que se encontrava fora de funcionamento, notou-se a elevação no valor do fator de potência. Fato que também se manteve nos meses seguintes com algumas poucas variações e irá reduzir as multas por estar abaixo dos índices ideais.

É importante ressaltar que o custo da manutenção aplicada ao banco de capacitor da empresa pode apresentar um retorno financeiro de menos de três meses em vista das multas que são menores, ou completamente extintas com um bom acompanhamento técnico.

Dessa forma é de grande importância que a empresa conheça o seu próprio perfil elétrico e que através de medidores acompanhe a todo tempo os valores do fator de potência para que medidas corretivas sejam aplicadas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5413. **Iluminância de interiores**. 1992.

AZUOS, Alessandro. **Lâmpadas e suas grandezas**. 2010.

Disponível em: < <http://alessandroazuos.blogspot.com.br/2010/07/equipamentos-lampadas-e-suas-grandezas.html> >

Acesso em: 2 nov. 2013.

CEMIG. **Manual de Instalações Elétricas Residenciais – RC/UE – 001/2003**

CREDER, H. **Instalações Elétricas**. 13. ed. Rio de Janeiro: LTC. 2004.

COELBA. Grupo Neoenergia. **Energia Reativa**. 2011

Disponível em: < <http://servicos.coelba.com.br/comercial/energia-reativa> >

Acesso em: 13 dez. 2013.

EDITORIAL de Construcción Arquitectónica, 2012.

Disponível em:

<http://editorial.cda.ulpgc.es/instalacion/7_OPTATIVAS/LAU/LAU0_introduccion/lau01_fundamentos.htm >

Acesso em: 13 dez. 2013.

ELETROPAULO. **Manual de administração de energia – iluminação**.

Disponível em: < http://condominioemfoco.com.br/download/adm_energia.pdf >

Acesso em: 2 nov. 2013.

EPE, **Balanço Energético Nacional**. 2013.

Disponível em:

<https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2013_Web.pdf >

Acesso em: 10 out. 2013.

ESCUELA Mexicana de Electricidad, 2011.

Disponível em: <<http://www.eme.mx/>

Acesso em: 1 out. 2013.

ITAIM. **Catálogo Técnico**. 2013.

KOZLOFF, K.; COWART, R.; JANNUZZI, G. DE M.; MIELNIK, O., 2001 – **Energia: Recomendações para uma Estratégia Nacional de Combate ao Desperdício** – USAID, Campinas, 193p.

LUSTOSA FRÓES DA SILVA, L. **Iluminação Pública no Brasil: Aspectos Energéticos e Institucionais**. 2006.

Disponível em: <<http://www.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/llfroes.pdf>>

Acesso em: 9 nov. 2013.

LUZ, Jeanine Marchiori da. **Curso Luminotécnico**.

Disponível em: <<http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Livros/Luminotecnica.pdf>>

Acesso em: 10 out. 2013.

MAMEDE FILHO, J. **Instalações Elétricas Industriais**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

MORAIS SIRIO FIORINI, T. **Projeto de Iluminação de Ambientes Internos Especiais**. 2006.

Disponível em:

<http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/interiores/projeto_de_iluminacao_de_ambientes_internos_especiais.pdf>

Acesso em: 9 nov. 2013.

OSRAM. **Manual Luminotécnico Prático**. 2006.

Disponível em: <<http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Livros/ManualOsram.pdf>>

Acesso em: 2 nov. 2013.

PHILIPS. **Manual de Iluminação**. 3. ed. Holanda: Philips Lighting Division. 1981.

SCHULZ, W. **Iluminação Pública**. 2011.

Disponível em:

<<http://creajrpr.files.wordpress.com/2010/11/iluminac3a7c3a3o-pc3bablica.pdf>>

Acesso em: 2 nov. 2013.

SMIT, L., 1964. **Iluminação – 1º parte: Iluminação interna**. Biblioteca Técnica Philips, Rio de Janeiro, 222 p.

TLA. **Manual Técnico**

Disponível em:

<<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAe5wAD/capacitores-potencia?part=10>>

Acesso: 20 out. 2013.

SPOHL. 2008. **Fator de potência unitário.**

Disponível em: <http://pt.m.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:FP_Resistivo.jpg>

Acesso em: 20 out. 2013.