



LUMINOTÉCNICA

Versão 2020

Prof. Liur Jorge Cusinato

SUMÁRIO

1. GRANDEZAS E FUNDAMENTOS DA LUMINOTÉCNICA	2
1.1. LUZ	2
1.2. FLUXO LUMINOSO	2
1.3. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA OU LUMINOSA.....	3
1.4. INTENSIDADE LUMINOSA.....	4
1.5. ILUMINÂNCIA.....	4
1.6. LUMINÂNCIA.....	5
1.7. CURVAS DE DISTRIBUIÇÃO DE INTENSIDADE LUMINOSA.....	6
1.8. TEMPERATURA DE COR	7
1.9. ÍNDICE GERAL DE REPRODUÇÃO DE COR	8
1.10. DESEMPENHO VISUAL	8
1.11. POTÊNCIA NOMINAL	9
1.12. OFUSCAMENTO.....	9
1.13. CONTRASTE.....	9
1.14. PROPRIEDADES DE REFLEXÃO E ABSORÇÃO.....	9
2. ILUMINAÇÃO DE INTERIORES	10
2.1. IMPORTÂNCIA DA BOA ILUMINAÇÃO	10
2.2. ILUMINÂNCIA DE INTERIORES	10
2.3. SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL DE INTERIORES	12
2.3.1. <i>Lâmpadas incandescentes</i>	12
2.3.2. <i>Lâmpadas de descarga</i>	13
2.3.3. Reatores para lâmpadas de descarga	16
2.3.4. <i>Leds</i>	17
2.3.5. <i>Luminárias</i>	18
3. PROJETOS DE ILUMINAÇÃO INTERNA ARTIFICIAL	19
3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	19
3.2. MÉTODO DE ILUMINAÇÃO	20
3.3. MÉTODOS DE CÁLCULO DE ILUMINAÇÃO.....	20
3.4. MÉTODO DOS LUMENS	21
4. EXEMPLOS DE TABELAS DE LÂMPADAS E LUMINÁRIAS.....	24
4.1. FLUXO LUMINOSO MÉDIO DAS LÂMPADAS	24
4.2. LUMINÁRIA ITAIM 2001	25
4.3. ITAIM - 2005 RE LED.....	26
4.4. ITAIM - 2006 RE LED.....	27
4.5. ITAIM - 3005 RS LED.....	28
4.6. ITAIM - 3006 RS LED.....	29
4.7. ITAIM - MINOTAURO RS	30
4.8. ITAIM – MAIA RS	31
4.9. COROLINE PANEL	32
5. EXEMPLO DE PROJETO LUMINOTÉCNICO.....	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36

LUMINOTÉCNICA

*Liur Jorge Cusinato**

1. GRANDEZAS E FUNDAMENTOS DA LUMINOTÉCNICA

O conhecimento dos conceitos, grandezas e unidades empregadas em luminotécnica, como em qualquer ramo da engenharia e arquitetura, é extremamente importante.

Nestas considerações teóricas básicas e preliminares, serão definidas grandezas e conceitos, utilizando ao máximo o que se encontra na NBR-ISO/CIE-8995-1:2013- Iluminação de ambientes de trabalho.

1.1. Luz

A luz pode ser definida como uma modalidade da energia radiante que um observador verifica pela sensação visual de claridade determinada no estímulo da retina, sob ação da radiação, no processo de percepção sensorial visual. A percepção do olho humano às ondas de luz visível se situa entre os comprimentos de onda de 380 a 780 nm, correspondendo o menor valor ao limite dos raios ultravioleta, e o maior, aos dos raios infravermelhos, conforme mostrado na figura 1.1.

As cores são determinadas pela reação do mecanismo de percepção sensorial aos diversos comprimentos de onda. A maior sensibilidade do olho humano, como captor de sensações que são transmitidas ao cérebro, ocorre para o amarelo-esverdeado, correspondente ao comprimento de onda de 555 nm.

É evidente que, para cada comprimento de onda corresponde uma cor específica e que a quantidade de cores é, portanto, infinita. O fenômeno de coloração, percebido sobre os corpos, é o resultado da reação de partículas eletricamente carregados frente a ação da onda eletromagnética incidente. Um objeto não tem cor; o que têm é certa capacidade de absorver, refratar ou refletir determinada radiação luminosa, que sobre ele incide. Quando a luz se propaga num corpo, como num prisma de vidro, a velocidade depende do comprimento de onda de seus componentes, causando sua decomposição em faixas coloridas. As cores aparecem devido a decomposição da luz branca, que esta associada com a diferença de velocidade de propagação dos raios luminosos.

A sensação psicofisiológica produzida pelas radiações visíveis traduz-se por uma impressão subjetiva de luminosidade e uma impressão de cor, as quais somente um processo de abstração mental poderá separar e avaliar.

1.2. Fluxo luminoso (Φ)

É a potência de radiação total emitida por uma fonte de luz e capaz de produzir uma sensação de luminosidade através do estímulo da retina ocular. Em outras palavras, é a potência de energia luminosa de uma fonte emitida em todas direções percebida pelo olho humano. Sua unidade é o lumen (lm).

-
- Mestre em Engenharia, Professor dos Cursos de Engenharia Elétrica, Arquitetura, Engenharia Mecânica, Engenharia Civil e Engenharia de Produção da UNISINOS.

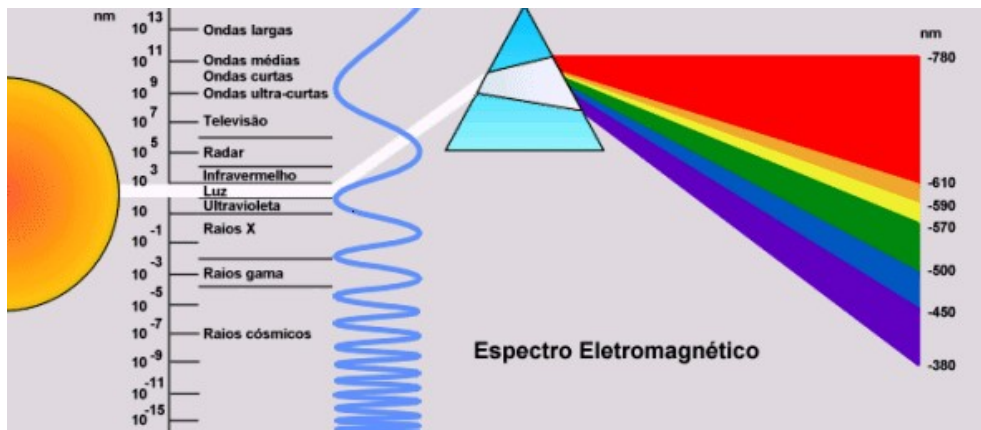


Figura 1.1. Representação do espectro de radiação visível ao olho humano.

Fonte OSRAM, 2009

1.3. Eficiência energética ou luminosa (η)

Esta grandeza é extremamente importante para a conservação de energia. Baseia-se numa relação entre potência de saída versus potência de entrada, ou seja, eficiência luminosa de uma fonte de luz é o quociente entre o fluxo luminoso total emitido em lumens, pela potência elétrica ativa consumida expressa em watts. Sua unidade é o lumens por watt (lm/W). Quanto maior for o valor da eficiência luminosa de uma lâmpada, mais luz a mesma emitirá para uma mesma quantidade de energia elétrica utilizada. Observar figura 1.2.

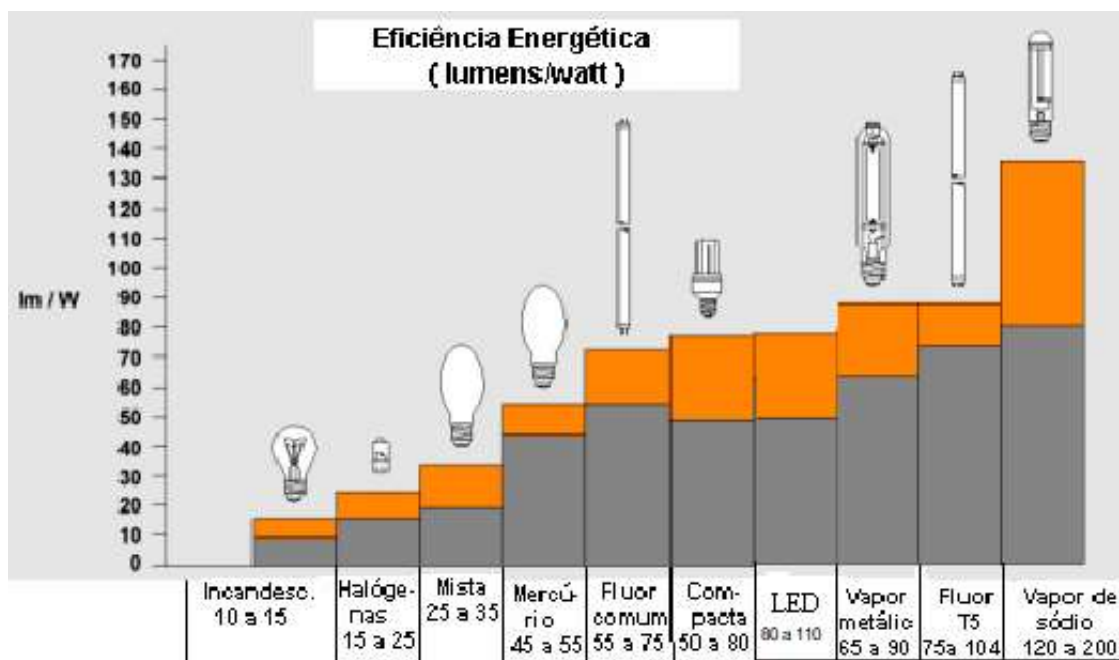


Figura 1.2. Eficiência energética média das lâmpadas. Fonte: OSRAM, 2009.



Figura 1.8. Tonalidade de cor e reprodução das cores.

Fonte: OSRAM, 2009.

1.4. Intensidade luminosa (I)

Uma fonte luminosa em geral não emite igual potência luminosa em todas as direções. A potência de energia luminosa numa dada direção denomina-se intensidade luminosa, sendo expressa em candelas (cd). O estudo da intensidade luminosa conduz à noção de um vetor luminoso emitido por uma fonte. A intensidade luminosa é um vetor de luz. Como vetor, deve apresentar módulo, direção e sentido. O módulo é o seu valor em candelas; sua direção é medida dentro de uma esfera segundo uma direção na qual a fonte luminosa está no centro; e o sentido é do centro para a periferia da esfera.

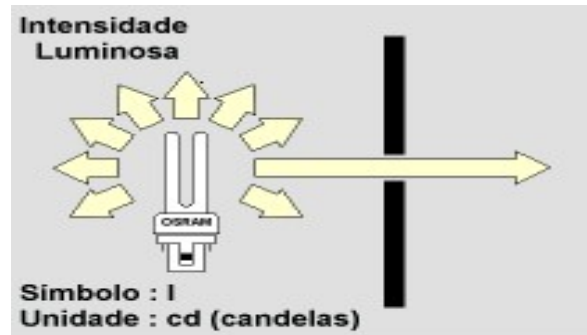


Figura 1.3. Intensidade Luminosa.
Fonte: OSRAM, 2009.

1.5. Iluminância (E)

Suponhamos que o fluxo luminoso incida sobre uma superfície. A relação entre este fluxo e a superfície sobre a qual incide denomina-se iluminância, conforme indica a equação 1.1. Esta iluminância média vem a ser, portanto, a densidade de fluxo luminoso na superfície sobre a qual este incide. O Inmetro denomina esta grandeza de iluminamento, sendo a sua unidade o lux, definido como a iluminância de uma superfície de 1m² recebendo de uma fonte puntiforme, na direção normal, um fluxo luminoso de 1 lúmen uniformemente distribuído.

$$E = \frac{\phi}{S} \quad \text{lux} = \frac{\text{lúmen}}{\text{m}^2} \quad (1.1)$$



Figura 1.4. Iluminância.
Fonte: OSRAM, 2009.

O melhor conceito sobre iluminância talvez seja uma densidade de luz necessária para uma determinada tarefa visual. Isto permite supor que existe um valor ótimo de luz para a realização das diferentes tarefas. No Brasil a NBR-ISO/CIE-8995 - Iluminação de ambientes de trabalho, indica os valores de iluminância mantida (E_m), que representa o valor abaixo do qual não convém que a iluminância média da superfície especificada seja mantida.

1.6. Luminância (L)

É por meio da luminância que o ser humano enxerga, sendo um dos conceitos mais abstratos da luminotécnica. A luminância representa a diferença entre as zonas escuras e claras. A leitura de uma página de papel branco (refletância 80%) escrita com letras pretas (refletância 10%), revela que a luminância das letras é menor do que a luminância do fundo, permitindo assim uma leitura menos cansativa para os olhos. Grande é o efeito psicológico das luminâncias no ser humano, que quando vê, compara luminâncias podendo ficar triste ou eufórico, abatido ou estimulado.

Um observador ao olhar para uma superfície iluminante, terá uma sensação de maior ou menor claridade, a qual é detectada pelo olho e avaliada pelo cérebro, através dos processos de conhecimento sensitivo e intelectual. A medida desta sensação de claridade da superfície iluminante ou iluminada denomina-se luminância. Seu valor é obtido dividindo-se a intensidade luminosa da superfície pela sua área aparente (NISKIER e MACINTYRE, 2013). A luminância é expressa em candelas por metro quadrado $\left(\frac{cd}{m^2}\right)$, de acordo com a equação 1.2.

$$L = \text{luminância} = \frac{\text{Intensidade luminosa}}{\text{Área projetada na direção do observador}} \quad (1.2)$$

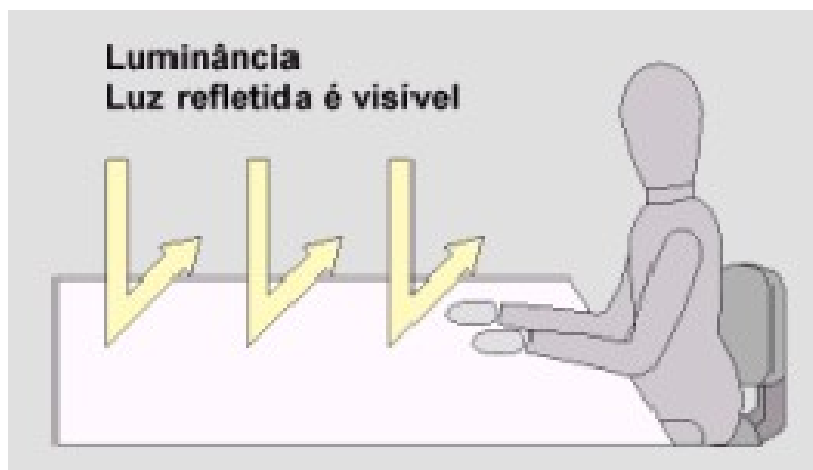


Figura 1.5. Luminância.
Fonte: OSRAM, 2009.

1.7. Curvas de distribuição de intensidade luminosa

A representação gráfica da distribuição de luz realizada por uma fonte tem como idéia básica apresentar medições de intensidades luminosas, nos quais a fonte luminosa está colocada no centro de uma esfera imaginária. Os fabricantes de lâmpadas, em seus catálogos, apresentam a curva de distribuição da intensidade luminosa nas diferentes direções, também chamada de curva fotométrica. Trata-se de um diagrama polar no qual se considera a lâmpada ou a luminária reduzida a um ponto no centro do diagrama, em que se representa a intensidade luminosa nas várias direções por vetores partindo do centro do diagrama. A curva de distribuição da intensidade luminosa é obtida ligando-se as extremidades destes vetores. Como o fluxo inicial dos diferentes tipos de lâmpadas apresentam valores diferentes, por convenção os diagramas são elaborados para 1000 lumens, com a finalidade de permitir comparações entre diferentes lâmpadas. Se o fluxo luminoso da lâmpada considerada for diferente desse valor, multiplica-se o valor obtido no gráfico pelo fator correspondente ao fluxo luminoso da lâmpada em relação a 1000 lumens.

A distribuição de luz de uma lâmpada incandescente é praticamente uniforme, supondo a mesma sem luminária e base de ligação. A figura 1.6 representa uma superfície de distribuição espacial dos valores da intensidade luminosa em diferentes direções de uma lâmpada incandescente com base de ligação, denominada de superfície fotométrica.

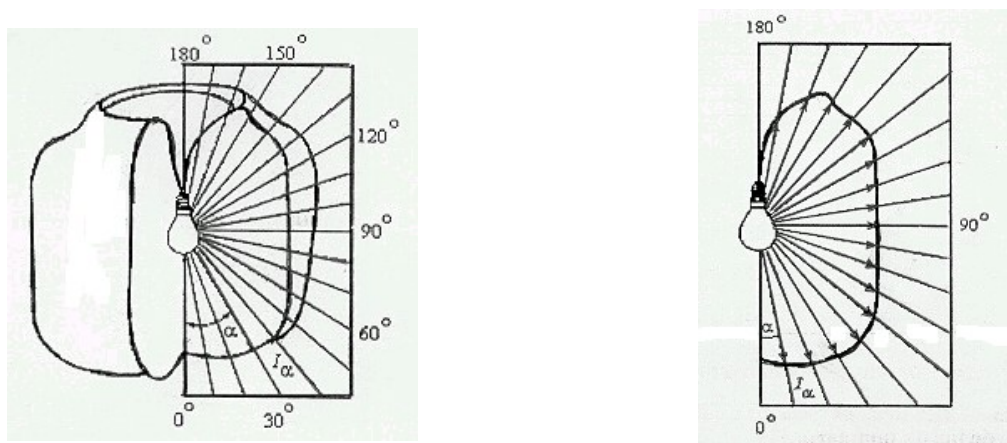


Figura 1.6. Representação da curva de distribuição luminosa de uma lâmpada incandescente
Fonte: CARDOSO, 2009.

No caso de lâmpadas fluorescentes tubulares existem duas curvas que representam a intensidade luminosa, devido o fato que a luminária tem formato assimétrico. A distribuição da luz é apresentada nos planos transversal e longitudinal através do centro da luminária. Luminárias com estas características apresentam curvas fotométricas conhecidas como batwing (asa de morcego), conforme mostra a figura 1.7.

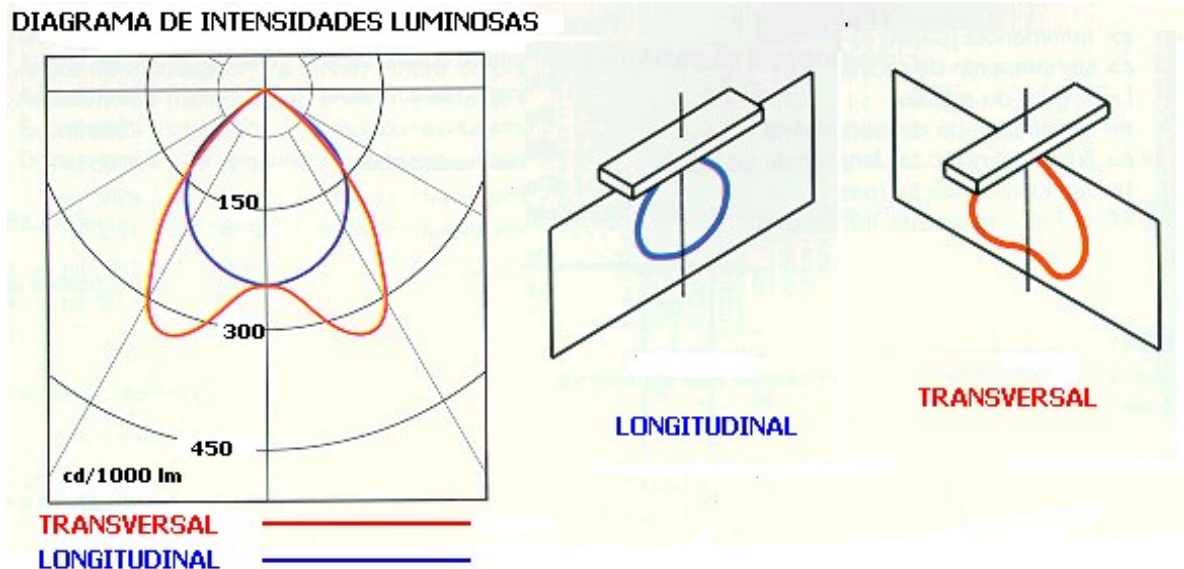


Figura 1.7. Representação da distribuição luminosa para uma luminária com lâmpadas fluorescentes tubulares.
Fonte: ITAIM, 2018.

1.8. Temperatura de cor

A temperatura de cor é a grandeza que expressa a aparência da cor de uma fonte de luz, sendo expressa em Kelvin (K). Uma lâmpada incandescente opera com temperaturas entre 2.500 K e 3.000 K, sendo que a cor da luz está diretamente relacionada com a temperatura de trabalho da lâmpada incandescente, ou seja, cor mais fria quanto maior for a temperatura de trabalho. Um filamento de tungstênio de uma lâmpada incandescente aquecido fornece uma cor de luz branca avermelhada. No caso das lâmpadas de descarga não tem sentido relacionar a temperatura de trabalho com a temperatura de cor, visto que o princípio de produção de luz não é incandescente, mas é possível estabelecer uma temperatura de cor correlata. Por exemplo, uma lâmpada fluorescente tubular denominada luz do dia tem uma temperatura de cor de 5.000 K, isto significa dizer que a cor do fluxo luminoso que esta lâmpada emite é correlata a que seria emitida por uma lâmpada incandescente naquela temperatura. Um aspecto importante é que quanto mais alta é a temperatura de cor, mais branca é a cor da luz. As cores quentes vão até 3.300 K, as cores neutras situam-se entre 3.300 K e 5.300 K e as cores frias acima deste último valor. A figura 1.8 (página 3) mostra a tonalidade de cor e reprodução de cores para diferentes temperaturas de cor.

As cores quentes realçam os vermelhos e seus derivados e são utilizadas quando se deseja criar um ambiente íntimo, social, pessoal e exclusivo, como no caso de residências, restaurantes, bares e mostruários de mercadorias. As cores frias destacam os azuis e seus derivados próximos e são empregadas quando a atmosfera deva ser formal, precisa, limpa, como no caso dos escritórios e recintos de fábricas. As cores neutras ficam entre as duas e são geralmente utilizadas nos ambientes comerciais. Nos ambientes com predominância das cores quentes o ser humano psiquicamente sente o ambiente mais repousante e acolhedor, e mais ativo e impessoal quando as cores frias são predominantes.

1.9. Índice geral de reprodução de cor (Ra)

É importante destacar que a cor somente existe na mente do observador, pois não existem equipamentos para mensurar o que os olhos detectam e sua respectiva interpretação da realidade no cérebro. O índice de reprodução de cor é uma tentativa de mensuração da cor avaliada pelo cérebro. Como a percepção varia segundo o indivíduo, nem sempre esta avaliação corresponde a realidade.

O índice de reprodução de cor é um valor percentual e representa o modo como uma lâmpada reproduz a aparência da cor dos objetos por ela iluminados comparado com a aparência destes mesmos objetos quando iluminados por uma fonte de luz de referência com RA de 100 %, que é o valor teórico máximo. A luz artificial, como regra, deve permitir ao olho humano perceber as cores corretamente, ou o mais próximo possível da luz natural do dia. Lâmpadas com Ra próximo a 100% reproduzem as cores com fidelidade e precisão.

1.10. Desempenho visual

A iluminação deve atender a quantidade de luz adequada e necessária para realização da tarefa visual. Desempenho visual é o termo utilizado para descrever a velocidade com que os olhos funcionam e a precisão de execução de uma tarefa visual. Com o aumento da iluminância a percepção de um objeto cresce somente até certo nível. Os ambientes não devem ser iluminados além do recomendado nas normas, pois além de não melhorar o desempenho visual, produzem consumos elevados de energia. Outros fatores que influenciam no desempenho visual são: os contrastes entre o objeto e o fundo, tamanho do objeto envolvido na tarefa, tempo disponível de observação, afastamento do objeto ao indivíduo e a idade do mesmo. Pessoas com mais idade precisam de mais luz para desenvolver a mesma tarefa que uma pessoa jovem. A tabela 1.1 indica os níveis de iluminamentos relativos para vários grupos etários.

Idade (anos)	Proporção da iluminância necessária
10	1
20	1,5
30	2
40	3
50	6
60	15

Tabela 1.1. Iluminância relativa necessária para realização de uma mesma tarefa por indivíduos de diferentes idades.

Fonte: PHILIPS, 2005.

1.11. Potência nominal

Potência nominal de uma lâmpada, é a quantidade de energia elétrica ativa consumida por segundo, tendo como unidade o watt (W). As lâmpadas incandescentes apresentam apenas potência ativa, uma vez que o fator de potência de circuitos resistivos é unitário. No caso de lâmpadas fluorescentes que necessitam reatores, a potência ativa total solicitada pelo conjunto deve ser obtida pela soma das potências ativas das lâmpadas com as dos reatores, este circuito apresenta também potência reativa e consequentemente baixo fator de potência, que deve ser corrigido a fim de evitar multas nas faturas de energia elétrica.

1.12. Ofuscamento

O ofuscamento está relacionado com a sensação de claridade ou brilho. O ofuscamento é percebido quando lâmpadas, paredes, janelas ou outras áreas são claras demais comparadas com a luminosidade do ambiente. O ofuscamento se manifesta de duas maneiras: direto ou refletido. Por ofuscamento direto entende-se aquele em que a fonte luminosa incide diretamente na retina, como por exemplo quando se olha diretamente para o sol; por ofuscamento refletido, quando o fundo da tarefa visual dirige os raios luminosos à retina, reproduzindo uma imagem por reflexão. Em ambos os casos a visão poderá ser prejudicada pela formação de um véu sobre o objeto. A solução sempre é examinar com cuidado a tarefa visual e adotar um modelo de luminária com qualidade de luz.

1.13. Contraste

É a diferença acentuada entre as cores de um objeto, sendo uma função da relação entre as luminosidades do objeto e do fundo. Esta relação determina a qualidade da visão. Entre o fundo branco e letras pretas obtém-se o maior contraste, sendo que um baixo contraste existe entre letras verdes e fundo azul. Isto deve-se ao fato de que a vista se adapta a um valor de luminância média. Numa tarefa qualquer com contrastes baixos é necessário que se aumente o nível de iluminação, sob pena de que haja necessidade de aumentar o tempo de visualização.

1.14. Propriedades de reflexão e absorção

Uma considerável parte da luz emitida por uma fonte luminosa é refletida, absorvida ou difundida pelas superfícies exteriores, interiores e pelo mobiliário, antes de chegar aos olhos do observador, podendo neste processo ocorrer perdas significativas. Desta maneira para se conseguir um bom rendimento dos sistemas de iluminação e consequentemente um menor consumo de energia, as propriedades de reflexão e absorção dos materiais de revestimento do recinto, bem como dos materiais empregados na fabricação de luminárias e equipamentos de controle de luz (difusores, superfícies refletoras e brises), devem ser considerados. As características de reflexão dos materiais, cor e textura, podem também ajudar a evitar o ofuscamento refletido proporcionando maior conforto visual para a realização de uma determinada tarefa.

2. ILUMINAÇÃO DE INTERIORES

2.1. Importância da boa iluminação

Se, desde o início da humanidade, o homem sentia necessidade de vencer a barreira da escuridão noturna, imagine-se o homem do século XXI, cada vez mais dependente de atividades desenvolvidas em ambientes internos. O homem moderno passa grande parte de sua vida em espaços fechados, onde realiza atividades que na sua grande maioria são feitas através dos olhos. Cabe, portanto, à engenharia de iluminação fornecer condições adequadas para o perfeito desenvolvimento das tarefas visuais, tanto durante o dia quanto durante a noite.

Os atuais projetos arquitetônicos são um exemplo dessa necessidade de conscientização, pois nos mesmos de modo geral não estão incorporados os modos e meios naturais de se reduzir os gastos com energia. Torna-se necessário um aperfeiçoamento nas técnicas de projeto vigentes, que além de elevarem o nível de conforto nestas edificações conduzirão, indubitavelmente, a uma significativa economia de energia. Entre as inúmeras variáveis que compõem um projeto arquitetônico, a iluminação natural como complemento da iluminação artificial pode interferir positivamente no conforto térmico e luminoso dos ambientes, além de apresentar um significativo potencial de conservação de energia.

O objetivo é evidenciar que uma boa iluminação depende de fatores que se harmonizam entre si, sob pena de ocorrerem distorções e fadigas visuais. O usuário tem o direito de ter um sistema de iluminação adequado à sua necessidade e orientado para a conservação de energia. Verifica-se, então, que a engenharia de iluminação acrescenta fatores que não são comuns no ramo da engenharia convencional, como a subjetividade em decoração e a sua influência psicológica no convívio diário com os indivíduos. A engenharia de iluminação se insere dentro da concepção atual de que não é uma única disciplina, mas sim multidisciplinar, onde interagem ciências determinísticas e ciências humanas, visando melhor utilizar as aplicações da luz. Em sistema de iluminação, a relação entre causa e efeito está além de uma simples definição de fórmulas, pois ela atende uma necessidade que é imposta pelo olho humano e que, varia de indivíduo a indivíduo.

2.2. Iluminância de interiores

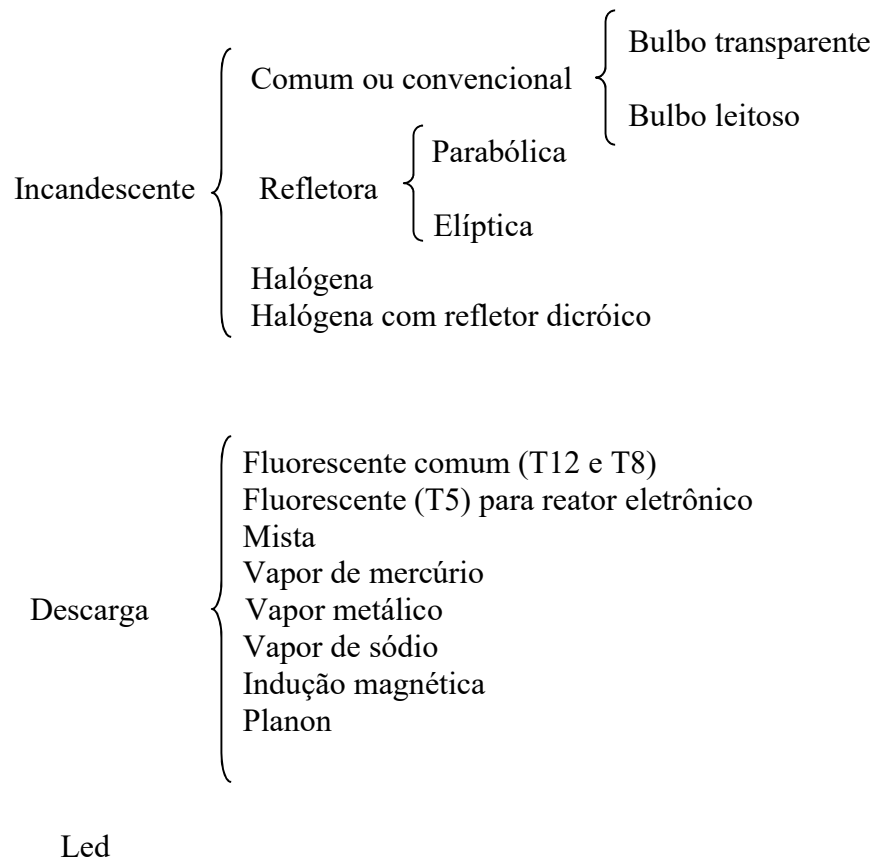
Um projeto de iluminação de ambientes de trabalho requer um estudo apurado para indicar a solução mais conveniente, sendo o objetivo principal permitir que a atividade visual se faça de forma confortável, sem dificuldades e com segurança, além de garantir o menor consumo possível de energia.

O nível de iluminância mantida é estabelecido por norma internacional e adotado pela NBR ISO/CIE 8995- 1:2013. A iluminância mantida representa o valor abaixo do qual não convém que a iluminância média da superfície especificada seja reduzida. Como por exemplo:

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	$\bar{E}_m$ lux	UGR_L	R_a	Observações
21. Marcenaria & indústria de móveis				
Processo automático, por exemplo: secagem na fabricação de madeira compensada	50	28	40	
Poços de vapor	150	28	40	
Sistema de serras	300	25	60	Prevenir contra os efeitos estroboscópicos.
Trabalho de marceneiro em bancos de carpintaria, colagem, montagem	300	25	80	
Polimento, pintura, marcenaria de acabamento	750	22	80	
Trabalho em máquinas de marcenaria, por exemplo: torneiar, acanelar, desempenar, rebaixar, chanfrar, cortar, serrar afundar	500	19	80	Prevenir contra os efeitos estroboscópicos.
Seleção de madeira folheada, marchetaria, trabalhos de embutir	750	22	90	T_{cp} no mínimo 4 000 K
Controle de qualidade	1 000	19	90	T_{cp} no mínimo 4 000 K
22. Escritórios				
Arquivamento, cópia, circulação, etc.	300	19	80	
Escrever, teclar, ler, processar dados	500	19	80	<i>Para trabalho com VDT ver seção 4.10.</i>
Desenho técnico	750	16	80	
Estações de CAD	500	19	80	Para trabalho com VDT ver seção 4.10.
Salas de reunião e conferência	500	19	80	Recomenda-se que a iluminação seja controlável.
Recepção	300	22	80	
Arquivos	200	25	80	
23. Varejo				
Área de vendas pequena	300	22	80	
Área de vendas grande	500	22	80	
Área da caixa registradora	500	19	80	
Mesa do empacotador	500	19	80	
24. Restaurantes e hotéis				
Recepção/caixa/portaria	300	22	80	
Cozinha	500	22	80	
Restaurante, sala de jantar, sala de eventos	200	22	80	Recomenda-se que a iluminação seja projetada para criar um ambiente íntimo.
Restaurante self-service	200	22	80	
Bufê	300	22	80	

2.3. Sistemas de iluminação artificial de interiores

Para o estudo de utilização das lâmpadas elétricas, as mesmas podem ser classificadas em três categorias de acordo com processo de emissão de luz, ou seja, lâmpadas incandescentes, lâmpadas de descarga e lâmpadas led.



Atualmente, a tendência é que se utilize cada vez mais as lâmpadas com leds, pois apresentam uma ótima eficácia luminosa, maior vida útil, custos de manutenção reduzidos, ecologicamente corretas causando menos problemas a natureza na hora do descarte, ausência de raios de ultravioleta e raios infravermelho.

2.3.1. Lâmpadas incandescentes

A lâmpada incandescente produz luz pelo aquecimento elétrico de um filamento de tungstênio a uma temperatura aproximada de 2500 °C. Esta temperatura é tão alta que emite uma radiação na parte visível do espectro. O tungstênio, devido ao seu alto ponto de fusão de 3380 °C, é o material que melhor se adaptou às elevadas temperaturas verificadas no interior das lâmpadas. Para evitar a oxidação do filamento a ampola ou bulbo de vidro está sob vácuo ou cheia de gás quimicamente inerte, como o nitrogênio. Tanto a vida de uma lâmpada incandescente como o seu fluxo luminoso, são determinados pela temperatura de trabalho do filamento. Quanto maior a temperatura para uma determinada lâmpada, maior será a eficiência luminosa (lm/W) e menor o seu tempo de vida. As lâmpadas incandescentes de maneira geral apresentam um rendimento entre 6% e 10% na produção de luz visível. Aproximadamente 72% da energia empregada é destinada ao calor radiante (radiação infravermelha), 18% nas perdas de calor (condução e convecção) e radiação ultravioleta.

- **Lâmpadas halógenas**

As lâmpadas halógenas fazem parte da família das lâmpadas incandescentes. Porém, além dos gases inertes de enchimento, semelhantes às lâmpadas incandescentes comuns, é introduzido uma determinada quantidade de elementos halógenos.

Halógeno significa “formador de gás”, (“halo”-gás e “gênio”- formador). Os elementos químicos que fazem parte da família dos halógenos são: o cloro, o bromo, o flúor e o iodo. Normalmente, é utilizado o bromo ou o iodo, numa ampola de quartzo.

O princípio de funcionamento da lâmpada halógena é semelhante ao de uma lâmpada incandescente comum, tendo como diferencial o ciclo halógeno, cuja finalidade é promover o ciclo regenerativo do filamento e a limpeza interna da ampola. O ciclo halógeno se processa da seguinte maneira:

- A lâmpada é acesa.
- O ciclo halógeno permite temperatura de trabalho mais elevada (2800 °C) no filamento de tungstênio.
- Ocorre a volatilização do tungstênio e as partículas procuram as partes mais frias, depositando-se na parede interna da ampola.
- As partículas, que se encontram numa região cuja temperatura está em torno de 2500 °C, combinam-se com o halogênio, formando o haleto, iodeto ou brometo de tungstênio, conforme o gás que existe internamente.
- O iodeto, na forma de gás, devido às correntes de convecção dentro da ampola, retorna ao filamento. Neste momento, com a deposição do gás de iodeto e as partículas de tungstênio no filamento, o elemento halogênio é liberado para repetir o ciclo regenerativo.

Devido a este ciclo, as lâmpadas halógenas apresentam maior eficiência luminosa, maior temperatura de cor, menor depreciação do fluxo luminoso e o dobro da vida útil, se comparadas com as lâmpadas incandescentes comuns.

As lâmpadas halógenas não apresentam deterioração pronunciada com o uso, já que o ciclo regenerativo evita o enegrecimento da ampola como ocorre nas lâmpadas comuns. O resultado é uma luz mais branca, brilhante e uniforme ao longo de sua vida útil.

- **Lâmpadas halógenas com refletor dicróico**

São lâmpadas que apresentam a combinação dos benefícios das lâmpadas halógenas com as vantagens de um refletor multifacetado recoberto com uma película dicróica. O refletor multifacetado é recoberto por uma película constituída de um filtro químico (dicróico) que permite a reflexão da luz visível e a transmissão de cerca de 60% da radiação infravermelho para a retaguarda da lâmpada. Assim, resulta um fecho de luz mais frio, mesmo sendo uma lâmpada incandescente halógena, o que a torna indicada para iluminar objetos sensíveis ao calor.

2.3.2. Lâmpadas de descarga

As lâmpadas de descarga oferecem eficiências bem superiores às lâmpadas incandescentes e proporcionam mais luz sem consumo extra de energia.

As lâmpadas de descarga podem ser das seguintes classes: fluorescente, mista, vapor de mercúrio, vapor metálico, vapor de sódio, neon, indução magnética e de enxofre. Apresentam basicamente o mesmo princípio de funcionamento, ou seja, aplicando-se uma tensão entre os eletrodos os mesmos emitem elétrons, que ao colidirem com os átomos de vapor em suspensão dentro da lâmpada produzem radiação ultravioleta. Esta radiação se transmite em todas as direções e, ao chocar-se com a pintura fluorescente ou cristais de fósforos no interior da lâmpada, produz radiação luminosa visível.

A radiação, que se estende da faixa do ultravioleta até a do infravermelho, passando pelo espectro luminoso, depende, entre outros fatores, da pressão interna da lâmpada, da natureza do gás ou da presença de partículas metálicas ou halógenas no interior da lâmpada (NISKIER e MANCINTYRE, 2013).

As lâmpadas de descarga, com exceção da lâmpada mista, utilizam reator na partida. O reator tem por finalidade produzir uma sobretensão no momento da partida e uma limitação da intensidade de corrente durante o funcionamento da lâmpada.

A seguir, apresenta-se breves informações referentes aos principais tipos de lâmpadas de descarga:

- **Lâmpadas fluorescentes tubulares**

São constituídas por um bulbo cilíndrico de vidro em cujas paredes internas é colocado um material fluorescente, onde ocorre uma descarga elétrica sob baixa pressão em presença de vapor de mercúrio.

Comparadas com as incandescentes, estas possuem eficiência luminosa e vida média superior. Atualmente, existem lâmpadas fluorescentes de nova geração que chegam a produzir até 104 lm/W com um tempo de vida entre 7.000 e 20.000 horas. Ciclos de funcionamento mais curtos diminuem a vida das lâmpadas e os ciclos mais longos a aumentam. O alto rendimento das lâmpadas fluorescentes se deve ao fato de que a luz é predominantemente produzida por pós fluorescentes, ativados pela radiação ultravioleta proveniente da descarga elétrica, havendo uma diminuição na produção de calor. Isto traz como vantagem a necessidade de condicionadores de ar de menor potência.

Inicialmente, as lâmpadas fluorescentes eram produzidas em tubos de diâmetro de 38 mm (T12), na década de 80 foram introduzidas as lâmpadas com diâmetro de 26 mm (T8), que emitem o mesmo fluxo luminoso com um consumo de energia na ordem de 10 a 15% menor. Atualmente, a T5 é a grande inovação mundial, combinando dimensões reduzidas (16 mm de diâmetro) com alta eficiência. A nomenclatura usada para determinar o diâmetro das lâmpadas é em oitavos de polegada, isto é, os tubos T12 têm diâmetro de 12/8 de polegadas ($\cong$ 38 mm), as T8, 8/8 de polegadas ($\cong$ 26 mm) e as T5, 5/8 de polegadas ($\cong$ 16mm).

A energia elétrica empregada no funcionamento das lâmpadas fluorescentes de maneira geral apresenta um aproveitamento de 25% do total para a produção de luz, este aproveitamento aumenta no caso das lâmpadas fluorescentes tubulares de nova geração, onde pode atingir 28%. Aproximadamente 37,5% da energia empregada é transformada em calor radiante e 37,5% em outras perdas (COSTA, 2017).

A grande revolução das lâmpadas fluorescentes nos últimos anos tem ficado por conta da redução do diâmetro e do comprimento, bem como a melhoria da qualidade da luz. No caso das lâmpadas da linha T5, o revestimento interno do tubo é realizado com o pó-trifósforo de baixa depreciação, que garante uma maior eficiência e melhor reprodução de cores. A

performance destas lâmpadas é otimizada através do uso obrigatório de reatores eletrônicos, possibilitando maior economia de energia, conforto e durabilidade.

As lâmpadas fluorescentes T5, quando comparadas às T8 com reator eletromagnético, apresentam uma economia de energia elétrica em torno de 20% (OSRAM, 2009).

- **Lâmpadas fluorescentes compactas eletrônicas**

São lâmpadas fluorescentes compactas com reatores eletrônicos incorporados à base de rosca, ideais para a substituição imediata de incandescentes comuns. Possuem princípio de funcionamento similar aos das fluorescentes tubulares, mas suas dimensões são bastante reduzidas. Apresentam uma eficácia média da ordem de 50 a 80 lm/W. Possuem uma durabilidade em torno de 10 vezes mais que as incandescentes, além de serem até 80% mais econômicas. Apresentam boa reprodução de cores e aquecem menos o ambiente, representando uma redução na carga térmica do mesmo. Podem funcionar em qualquer posição e atualmente podem ser dimerizadas.

- **Lâmpadas mistas**

As lâmpadas mistas são adequadas para uso em ambientes internos e externos, não necessitando de reator, sendo fabricadas somente para tensão de 220V. Reúne em uma só lâmpada as vantagens da lâmpada incandescente, da fluorescente e da de vapor de mercúrio. A lâmpada é composta por um filamento de tungstênio e um tubo de descarga a vapor de mercúrio, ambos encapsulados por uma ampola externa de vidro duro revestida internamente por uma camada de fosfato de ítrio vanadato, com a finalidade de filtrar os raios ultravioletas, produzindo a luz visível. O filamento ligado em série com o tubo de descarga, atua como fonte de luz de cor quente e como limitador de corrente, substituindo o reator.

- **Lâmpadas de Vapor de mercúrio**

As lâmpadas de vapor de mercúrio, consistem de uma ampola ovoide que encerra um tubo de descarga de quartzo. A ampola externa é revestida internamente por uma camada de fósforo, além de uma mistura gasosa de argônio e nitrogênio, que mantém a temperatura constante. Apresentam uma aparência branca azulada com uma emissão na região visível e ultravioleta invisível, que é convertida em luz visível pelo fósforo, na faixa vermelha do espectro de cores, proporcionando uma melhor reprodução de cor. O tubo também contém mercúrio, além de uma mistura gasosa de neônio e argônio, utilizada para a partida.

Estas lâmpadas normalmente eram utilizadas na iluminação de vias públicas, parques, praças, estacionamentos e áreas industriais. Atualmente, sua eficiência luminosa varia entre 45 e 55 lumens por watt e apresentam um tempo de vida entre 12.000 e 24.000 horas de funcionamento.

- **Lâmpadas de vapor metálico**

Estas lâmpadas apresentam construção similar à lâmpada de vapor de mercúrio, porém, contendo iodetos metálicos e outros aditivos para melhorar sua eficiência e reprodução das cores. Atualmente, são as mais eficientes fontes de luz branca existentes no mercado. São especialmente recomendadas quando se deseja uma boa qualidade na reprodução de cores,

como na iluminação de estádios, ginásios, monumentos, outdoors, parques de exposição, iluminação de fachadas altas e pavilhões. A lâmpada de vapor metálico possui uma distribuição espectral especialmente projetada para a obtenção de um excelente sinal às câmaras de televisionamento em cores. Sua eficiência luminosa varia entre 65 e 95 lumens por watt e o seu tempo de vida entre 10.000 e 20.000 horas de funcionamento.

- **Lâmpadas de vapor de sódio**

Estas lâmpadas consistem de um tubo de descarga de óxido de alumínio sinterizado, encapsulado por uma ampola de vidro. O tubo de descarga é preenchido por uma amálgama de sódio-mercúrio, além de uma mistura gasosa de neônio e argônio, utilizada para a partida. A parede interna da ampola é coberta eletrostaticamente por uma camada de pó difusor (pirofosfato de cálcio), para manter um bom rendimento ao longo de sua vida.

A lâmpada de sódio de baixa pressão possui uma radiação quase monocromática, sendo que 36% da potência empregada é transformada em radiação visível. Atualmente, é a lâmpada que apresenta a maior eficácia luminosa de 120 a 200 lumens por watt. São ideais quando a ideia é a conservação de energia e onde a reprodução de cores é de menor importância, sendo utilizadas em iluminação pública, portos, auto-estradas, estacionamentos, aeroportos, etc.

A lâmpada de sódio de alta pressão era inicialmente utilizada somente em iluminação externa. Atualmente, após novo desenvolvimento tecnológico, está sendo utilizada também em ambientes internos (lâmpada de sódio branca), com uma razoável reprodução de cores, porém perdendo parte de sua eficácia luminosa. A lâmpada de sódio de alta pressão apresenta uma luz dourada com um rendimento de 30% e uma eficácia luminosa de aproximadamente 120 lumens por watt.

- **Lâmpadas fluorescentes de indução magnética**

Nesta lâmpada, a descarga elétrica é injetada no tubo em formato de anel, através de um campo eletromagnético gerado externamente. O formato do tubo da lâmpada em anel fechado permite que a descarga ocorra sem utilização de eletrodos. Diferentemente das outras lâmpadas de descarga, o número de acendimentos não tem influência em sua vida útil e este é o motivo de sua longa durabilidade de até 60.000 horas, com uma eficácia luminosa de 85 lumens por watt. Atualmente, apresenta um custo muito elevado e seu uso somente se justifica em aplicações especiais onde a substituição das lâmpadas é de difícil acesso e custo elevado, como em iluminação externa e interna com pé direito muito elevado, túneis, postos de gasolina e indústrias.

2.3.3. Reatores para lâmpadas de descarga

Os reatores são equipamentos auxiliares e necessários ao funcionamento das lâmpadas de descarga. Com exceção da lâmpada de luz mista, proporcionam durante a partida uma sobre tensão suficiente para estabelecer uma descarga elétrica entre os eletrodos da lâmpada. Após a partida, os reatores atuam de forma a limitar e estabilizar a corrente do circuito.

2.3.4. Leds

O LED é um componente eletrônico semicondutor, ou seja, um diodo emissor de luz (L.E.D = Light emitting diode), que tem a propriedade de transformar energia elétrica em luz. Tal transformação é diferente da encontrada nas lâmpadas convencionais que utilizam filamentos metálicos, radiação ultravioleta e descarga de gases, dentre outras. Nos LEDs, a transformação de energia elétrica em luz é feita na matéria, sendo, por isso, chamada de Estado sólido (Solid State).

O LED é um componente do tipo bipolar, ou seja, tem um terminal chamado anodo e outro, chamado catodo. Dependendo de como for polarizado, permite ou não a passagem de corrente elétrica e, conseqüentemente, a geração ou não de luz.

Hoje em dia, temos LEDs que atingem a marca de 120 lumens/watt de fluxo luminoso, disponíveis em várias cores, responsáveis pelo aumento significativo na substituição de alguns tipos de lâmpadas em várias aplicações de iluminação.

Benefícios no uso de Leds:

- * Maior vida útil: Dependendo da aplicação, a vida útil do equipamento é longa, sem necessidade de periódicas trocas.
- * Custos de manutenção reduzidos: Em função de sua longa vida útil, a manutenção é bem menor, representando menores custos.
- * Eficiência: Apresentam maior eficiência que as Lâmpadas incandescentes e fluorescentes.
- * Baixa voltagem de operação: Não representa perigo para o instalador.
- * Resistência a impactos e vibrações: Utiliza tecnologia de estado sólido, portanto, sem filamentos, vidros, etc, aumentando a sua robustez.
- * Controle dinâmico da cor: Com a utilização adequada, pode-se obter um espectro variado de cores, incluindo várias tonalidades de branco, permitindo um ajuste perfeito da temperatura de cor desejada.
- * Acionamento instantâneo: Tem acionamento instantâneo, mesmo quando está operando em temperaturas baixas.
- * Controle de Intensidade variável: Seu fluxo luminoso é variável em função da variação da corrente elétrica aplicada a ele, possibilitando, com isto, um ajuste preciso da intensidade de luz da luminária.
- * Cores vivas e saturadas sem filtros: Emite comprimento de onda monocromático, que significa emissão de luz na cor certa, tornando-a mais viva e saturada. Os LEDs coloridos dispensam a utilização de filtros que causam perda de intensidade e provocam uma alteração na cor, principalmente em luminárias externas, em função da ação da radiação ultravioleta do sol
- * Luz direta, aumento da eficiência do sistema: Apesar de ainda não ser a fonte luminosa mais eficiente, pode-se obter luminárias com alta eficiência, em função da possibilidade de direcionamento da luz emitida pelo LED.

- * Ecologicamente correto: Não utiliza mercúrio ou qualquer outro elemento que cause dano à natureza.
- * Ausência de ultravioleta: Não emitem radiação ultravioleta sendo ideais para aplicações onde este tipo de radiação é indesejada. Como no caso de iluminação de obras de arte.
- * Ausência de infravermelho: Também não emitem radiação infravermelho, fazendo com que o feixe luminoso seja frio.
- * Com tecnologia adequada P.W.M, é possível a dimerização entre 0% e 100% de sua intensidade, e utilizando-se Controladores Colormix Microprocessados, obtém-se novas cores, oriundas das misturas das cores básicas. Que são: branco, azul, verde, azul, verde, amarelo, vermelho.
- * Ao contrário das lâmpadas fluorescentes que tem um maior desgaste da sua vida útil no momento em que são ligadas, nos LEDs é possível o acendimento e apagamento rapidamente possibilitando o efeito “flash”, sem detrimento da vida útil

2.3.5. Luminárias

São aparelhos destinados a distribuir, filtrar e controlar a luz gerada por uma ou mais lâmpadas e conter todos equipamentos e acessórios necessários para fixar, proteger e alimentar essas lâmpadas.

Em razão da grande variedade de tipos de luminárias, número e potências das lâmpadas, modos de instalação e forma de controle da luz, torna-se problemática a classificação das luminárias. De acordo com a figura 2.1 a Comissão Internationale L'Eclairage classifica as luminárias em seis tipos, em função da percentagem do fluxo luminoso total emitido para cima ou para baixo de um plano horizontal.

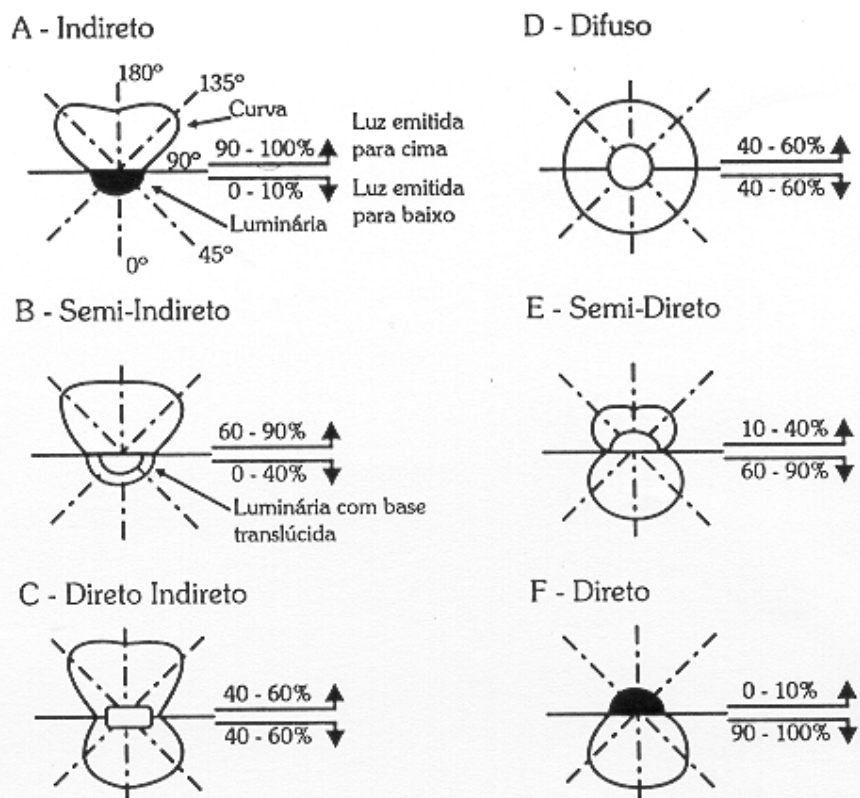


Figura 2.1. Classificação das luminárias conforme CIE
Fonte: CAVALIN e CERVELIN, 2018.

Para a escolha da luminária, além dos fatores anteriormente mencionados, deve-se atender a fatores de ordem econômica, finalidade da instalação (comercial, industrial, residencial, etc.), durabilidade, rendimento, facilidade de manutenção, aspectos decorativos e características do local a ser iluminado.

O desempenho de uma luminária é estabelecido pela sua eficiência e pelo fator de utilização. A eficiência de uma luminária é definida como a relação entre o fluxo luminoso direto e indireto fornecido pela luminária e o fluxo luminoso total emitido pelas lâmpadas contidas na mesma, mas sem informação da maneira como a luz é distribuída.

Segundo a ABILUX (2002), não é possível comparar o consumo de energia elétrica de duas luminárias instaladas em locais diferentes apenas por suas eficiências. Como foi definido, a eficiência considera o fluxo luminoso emitido em todas direções. O fluxo emitido é refletido pelo teto, piso e paredes, e dependendo do coeficiente de reflexão dos mesmos teremos resultados diferentes no plano de trabalho. Para podermos comparar duas luminárias é necessário conhecer outras importantes características, tais como: o fator de utilização e a curva de distribuição da intensidade luminosa.

O tipo de refletor e a forma da luminária são os componentes que mais influenciam na curva de distribuição da intensidade luminosa.

O fator de utilização descreve a porcentagem do fluxo luminoso emitido pela lâmpada que atinge o plano de trabalho, sendo determinado em função do tipo de luminária, do índice do local que caracteriza as dimensões físicas do recinto a ser iluminado e dos fatores de refletância dos materiais e cores das paredes, teto e piso.

No sentido mais amplo, uma luminária eficiente deve combinar a máxima eficiência com o controle de ofuscamento e a distribuição da luz.

Segundo IESNA (2016), a falta de limpeza e manutenção das luminárias de um ambiente pode reduzir o nível de iluminamento em até 50%.

3. PROJETOS DE ILUMINAÇÃO INTERNA ARTIFICIAL

3.1. Considerações iniciais

Na execução bem-sucedida de um projeto luminotécnico, o projetista deve considerar vários elementos importantes, que se relacionam e combinam-se entre si, com a finalidade de permitirem um resultado satisfatório. Para tanto, devem ser atendidos alguns requisitos, tais como:

- obter nível de iluminância adequado em função da finalidade do ambiente e de acordo com os níveis indicados pela NBR-ISO/CIE-8995 - Iluminação de ambientes de trabalho;
- utilizar equipamentos energeticamente eficientes;
- garantir uma iluminação uniforme no plano de trabalho, evitando grandes diferenças de luminâncias dentro do campo visual que causam ofuscamento e mal estar;
- adaptar o sistema de iluminação às características estéticas do ambiente;
- oferecer uma correta reprodução de cores dos ambientes e objetos iluminados.

Para que o projeto luminotécnico possa alcançar um resultado que atenda as considerações anteriores, é necessário o conhecimento de alguns fatores, tais como: tipo de

atividade a ser desenvolvida no ambiente; idade dos usuários; cor das paredes, teto e piso; dimensões e forma do ambiente; dimensões, forma e disposição das janelas; orientação solar do ambiente; período de utilização do ambiente; localização do plano de trabalho; fluxo luminoso da lâmpada a ser utilizada; coeficiente de utilização da luminária e tipo de reator a ser utilizado.

3.2. Método de iluminação

Nos projetos atuais de iluminação a tendência é de que se adote uma iluminação geral de até no máximo 1000 lux, sendo a necessidade excedente complementada por iluminação localizada em determinadas posições de trabalho. Este tipo de iluminação suplementar contribui para a conservação de energia, uma vez que estará desligada quando não for necessária. Com isto teremos dois benefícios simultâneos, o primeiro de ordem microeconômica, relacionado com a tarifa mensal paga pelo consumidor e o segundo de ordem macroeconômica diretamente relacionado com a redução da necessidade de novas obras de geração de energia elétrica (COSTA, 2017).

Os métodos de iluminação com relação à iluminação necessária para realizar uma determinada tarefa, podem ser classificados em:

- Iluminação geral: proporciona uma iluminação uniforme na superfície de trabalho. A distribuição das luminárias no teto deve ser simétrica e a iluminância média deve ser no mínimo igual ao exigido pela NBR-ISO/CIE-8995.
- Iluminação localizada: proporciona uma maior concentração de luminárias na posição de trabalho onde se necessita uma iluminância maior.
- Iluminação suplementar: é utilizada nos casos em que é necessária uma iluminância maior apenas em determinadas posições de trabalho que requerem maior precisão na execução das tarefas. Segundo COSTA (2017), deve ser observado que a relação máxima entre a iluminação suplementar e a geral não seja inferior a um décimo. Com isto, evita-se que o ambiente seja irritante aos demais usuários, que não estejam utilizando a iluminação suplementar.

3.3. Métodos de cálculo de iluminação

Existem vários métodos para o cálculo da iluminação, os quais são:

- Pela carga mínima exigida pela NBR 5410/2004;
- Pelo método dos lumens;
- Pelo método das cavidades zonais;
- Pelo método de ponto a ponto.

Em se tratando de cálculo de iluminação interna, o método mais difundido e aceito é o método dos lumens, por esta razão adotado neste trabalho.

3.4. Método dos lumens

O método dos lumens é baseado na determinação do fluxo luminoso total necessário para um recinto com atividade específica, para se obter uma iluminância média no plano útil de trabalho. O método considera, ainda, as dimensões do local, as refletâncias das paredes, teto e piso, altura das mesas ou bancadas de trabalho, as características das luminárias e lâmpadas, bem como a frequência de manutenção e limpeza do sistema de iluminação (NISKIER e MACINTYRE, 2013).

Para a elaboração de um projeto luminotécnico pelo método dos lumens, algumas definições e conhecimentos são necessários e mostradas a seguir:

- **Coefficiente de utilização (μ)**

O coeficiente de utilização de um sistema de iluminação é obtido pela relação entre o fluxo luminoso utilizado no plano útil de trabalho e o fluxo luminoso total gerado pelas lâmpadas. Este coeficiente está situado entre zero e um.

O coeficiente de utilização depende das dimensões do local, da distância entre a luminária e a superfície de trabalho, do acabamento das luminárias e das refletâncias das paredes, teto e piso. Este coeficiente é determinado através de tabelas (anexas) fornecidas pelos fabricantes de luminárias. A tabela 3.1 mostra a refletância de paredes e tetos.

Cor	Refletância
Teto branco	75% a 80%
Teto claro	50%
Paredes brancas	50%
Paredes claras	30%
Paredes medianamente claras	10%

Tabela 3.1 Refletância de paredes e tetos.

- **Índice do local (k)**

Este índice relaciona as dimensões do recinto (comprimento e largura) e a distância entre a luminária e o plano útil de trabalho, sendo determinado pela equação 3.1.

$$k = \frac{C.L}{(C + L)H} \quad (3.1)$$

C = comprimento do recinto, em metros.

L = largura do recinto, em metros.

H = distância entre a luminária e o plano de trabalho, em metros.

Calcula-se o índice do local (k), e nas tabelas específicas adota-se o valor inteiro mais próximo.

- **Fator de perdas luminosas (FPL)**

O fator de perdas luminosas é definido como a razão da iluminância média no plano de trabalho depois de um certo período de uso do sistema de iluminação para a iluminância média inicial nas mesmas condições.

Este fator incorpora as perdas devidas à deterioração (acúmulo de poeira e desgaste) das lâmpadas, luminárias e superfícies da sala e a depreciação do fluxo luminoso das lâmpadas e dos equipamentos do sistema. Dependendo do tipo de atividade desempenhada em um ambiente e da frequência com que ocorre a limpeza do mesmo, haverá maior ou menor perda de eficiência do sistema de iluminação.

FATOR DE PERDAS LUMINOSAS

Tipo de ambiente	Período de manutenção (h)		
	2.500	5.000	7.500
Limpo	0,95	0,91	0,88
Normal	0,91	0,85	0,80
Sujo	0,80	0,66	0,57

Tabela 3.2 Fator de perdas luminosas.

- **Fluxo luminoso total necessário (ϕ)**

Para atender a iluminância recomendada para um recinto, o fluxo luminoso total necessário é determinado pela equação 3.2.

$$\phi = \frac{Em.S}{\mu.FPL} \quad (3.2)$$

ϕ = fluxo luminoso total, em lumens

S = área do recinto, em m²

μ = coeficiente de utilização

FPL = fator de perdas luminosas

E_m = iluminância mantida, em lux

- **Número de luminárias necessárias**

Uma vez determinado o fluxo luminoso total necessário e estabelecido o tipo de lâmpada e luminária, obtêm-se o número de luminárias necessárias, pela relação entre o fluxo luminoso total necessário e o fluxo luminoso proporcionado por uma luminária, conforme mostra a equação 3.3.

$$\eta = \frac{\phi}{\varphi} \quad (3.3)$$

ϕ = fluxo luminoso total, em lumens

φ = Fluxo luminoso de 1 luminária, em lumens

η = número de luminárias

- Distribuição das luminárias

Após o conhecimento do número de luminárias necessárias, resta-nos distribuí-las uniformemente no recinto. Para ambientes quadrados ou retangulares, como dados práticos, usa-se a distância entre as luminárias, o dobro da distância entre as paredes e as luminárias. Esta disposição simétrica na maior parte das vezes proporciona uma distribuição homogênea do fluxo luminoso.

Inicialmente, o número de luminárias necessárias é estabelecido pelo método dos lumens. Porém, em alguns casos, pode ser necessário aumentar este número. Este acréscimo ocorre em função de que o espaçamento máximo permitido entre luminárias, geralmente, não deve ultrapassar o valor da distância compreendida entre o plano de trabalho e o foco luminoso. Estes valores são fornecidos pelos fabricantes das luminárias e estabelecidos em função da curva fotométrica das mesmas (NISKIER e MACINTYRE, 2013).

Após definida a quantidade total de luminárias para atender os níveis de iluminância e as condições requeridas de projeto, deve-se distribuí-las adequadamente no recinto. Para tanto, valem as seguintes observações práticas e usuais:

- Deve-se distribuir as luminárias uniformemente no recinto e paralelas as janelas para uma melhor composição da luz natural com a luz artificial;
- Deve-se obter valores próximos de “a” e “b”;
- Recomenda-se que as distâncias “a” e “b” entre luminárias sejam o dobro da distância entre estas e as paredes laterais, conforme figura 3.1;
- Recomenda-se sempre o acréscimo de luminárias quando a quantidade resultante do cálculo não for compatível com a distribuição desejada e também quando “a” e “b” apresentarem valor maior que H (distância entre o foco luminoso e o plano de trabalho).

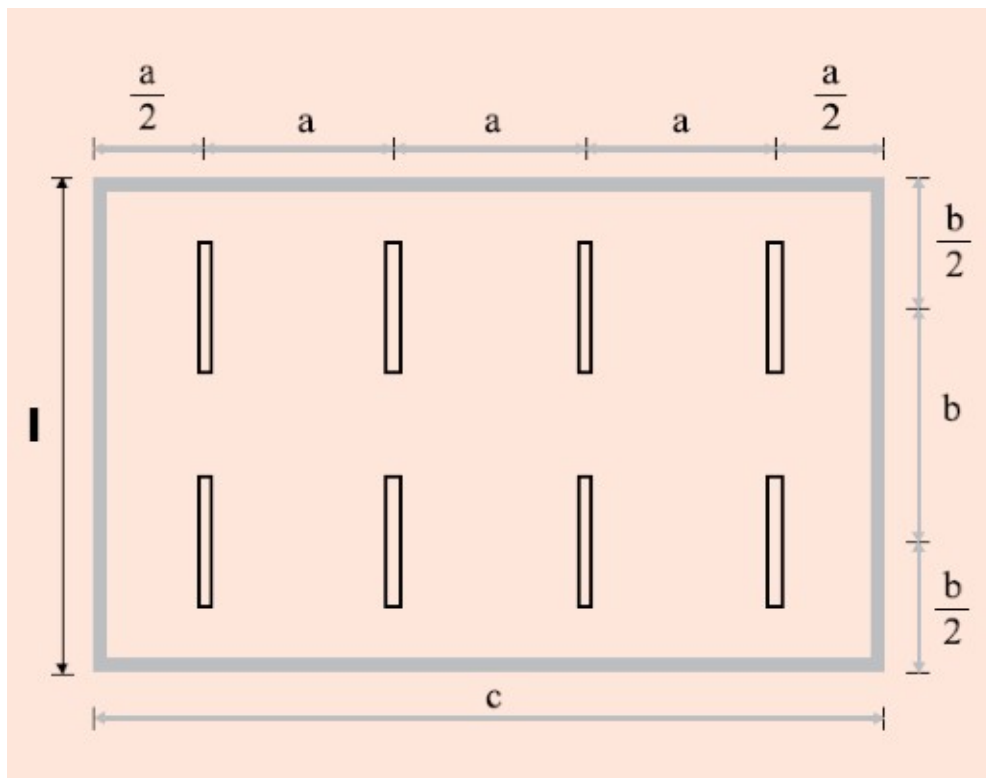


Figura 3.1: Distribuição de luminárias

4. EXEMPLOS DE TABELAS DE LÂMPADAS E LUMINÁRIAS

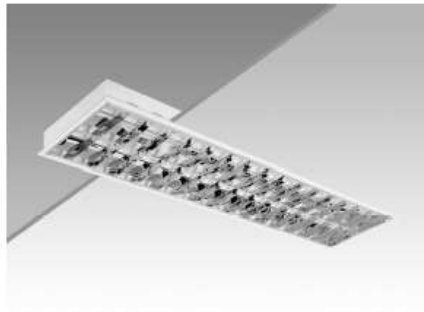
4.1. Fluxo luminoso médio de alguns tipos de lâmpadas.

Tipo de lâmpada	Potência (W)	Fluxo luminoso médio (lm)	
		Tensão	
		127 V	220 V
Lâmpada incandescente standard	25	260	220
	40	490	430
Lâmpada incandescente halógena com refletor dicróico	20	320 (12 V)	320 (12 V)
	50	930 (12 V)	930 (12 V)
Lâmpada de descarga fluorescente tipo tubular comum	16 ($\phi = 26$ mm)	1.070	1.070
	20 ($\phi = 33$ mm)	1.100	1.100
	32 ($\phi = 26$ mm)	2.350	2.350
	40 ($\phi = 33$ mm)	2.600	2.600
	65 ($\phi = 33$ mm)	4.400	4.400
	110 ($\phi = 33$ mm)	9.350	9.350
Lâmpada de descarga fluorescente tubular de última geração (T5)	14 ($\phi = 16$ mm)	1.350	1.350
	28 ($\phi = 16$ mm)	2.900	2.900
	54 ($\phi = 16$ mm)	5.000	5.000
Lâmpada de descarga fluorescente compacta tipo PL com reator eletrônico	11	900	600
	18	1.200	900
	26	1.800	1.600
Lâmpada de descarga de vapor de mercúrio em alta pressão	125	-	6.300
	250	-	13.000
	400	-	22.000
Lâmpada de luz mista	160	-	3.100
	250	-	5.600
	500	-	14.000
Lâmpada de descarga de vapor de sódio em alta pressão	150	-	14.500
	250	-	27.000
	400	-	48.000
	1.000	-	130.000
Lâmpada Led	7,5	800	800
	14	1.600	1.600
	18	1.850	1.850
	26	3.900	3.900

Tabela 4.1. Fluxo luminoso médio das lâmpadas.

4.2. LUMINÁRIA ITAIM 2001 (para lâmpadas fluorescentes)

2001 T8 2x32 W



1964-N.ias

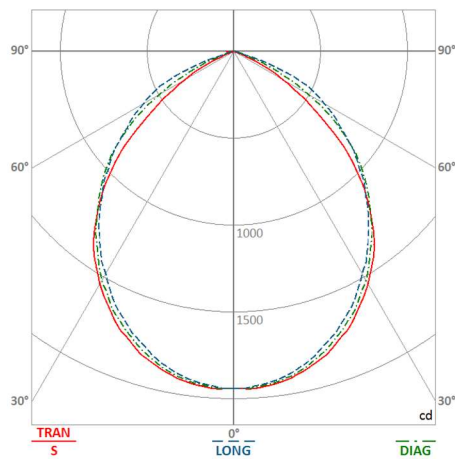
Especificação: Luminária de embutir em forro de gesso ou modulado para 2 lâmpadas fluorescentes tubulares de 32W. Corpo em chapa de aço tratada com acabamento em pintura eletrostática epóxi-pó na cor branca. Refletor e aletas parabólicas em alumínio anodizado de alto brilho. Equipada com porta-lâmpada antivibratório em policarbonato, com trava de segurança e proteção contra aquecimento nos contatos.

Aplicação: Locais de trabalho com uso freqüente de computadores como sala de controle ou monitoramento, CPD, escritório, telemarketing, área de atendimento, etc.

Rendimento: 73%

Dimensões: A= 70 x L= 302 x C= 1243 mm./ Modulação: 1250 x 312 mm./ Nicho: L= 285 x C= 1230 mm.

Fotometria



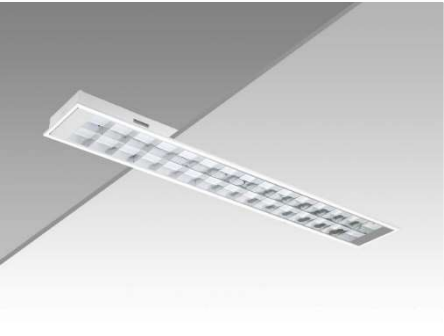
Fator de utilização

Teto (%)	70			50			30		0
Parede (%)	50	30	10	50	30	10	30	10	0
Piso (%)	10			10			10		0
K	Fator de utilização (x 0.01)								
0.60	36	31	27	35	30	27	30	27	26
0.80	44	39	35	43	39	35	38	35	34
1.00	50	46	42	49	45	42	44	41	40
1.25	56	51	48	54	51	48	50	47	46
1.50	59	56	52	58	55	52	54	52	50
2.00	65	62	59	63	61	58	60	58	56
2.50	68	65	63	66	64	62	63	61	60
3.00	70	67	65	68	66	65	65	64	62
4.00	72	70	68	70	69	67	68	66	65
5.00	73	71	70	72	70	69	69	68	66

4.3. ITAIM - 2005 RE LED (RE = Retangular de embutir)

Luminária integrada com drive e leds

Fator de utilização



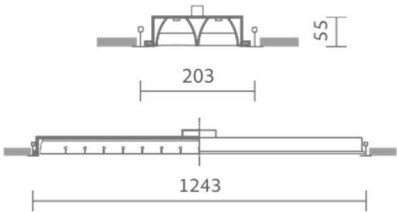
TETO (%)	70			50			30		0
PAREDE (%)	50	30	10	50	30	10	30	10	0
PISO (%)	10			10			10		0
Kr	FATOR DE UTILIZAÇÃO (x 0,01)								
0,60	52	46	41	51	45	41	45	41	39
0,80	62	56	51	61	55	50	54	50	48
1,00	70	64	59	68	63	59	62	58	56
1,25	77	71	66	75	70	66	69	66	64
1,50	81	76	72	80	75	72	74	71	69
2,00	88	84	81	87	83	80	82	79	77
2,50	92	89	86	91	88	85	86	84	82
3,00	95	92	90	93	91	89	89	87	85
4,00	98	96	94	96	94	93	93	91	89
5,00	100	98	96	98	96	95	95	93	91

- Instalação:** Embutir em forro de gesso ou modulado de perfil 'T' de aba 25mm
- Corpo:** Chapa de aço tratada com acabamento em pintura eletrostática na cor branca
- Refletor:** Alumínio anodizado em alto brilho com reflexão total de 86%
- Aleta:** Parabólicas em alumínio anodizado em alto brilho com reflexão total de 86%
- Difusor:** Translúcido
- Controle de Luz (opcional):** TRIAC | DALI
- Aba:** Chapa de aço tratada com acabamento em pintura eletrostática na cor branca
- IRC > 80**
- Classe Elétrica:** I
- Vida Útil:** 50.000 horas

Dados Técnicos

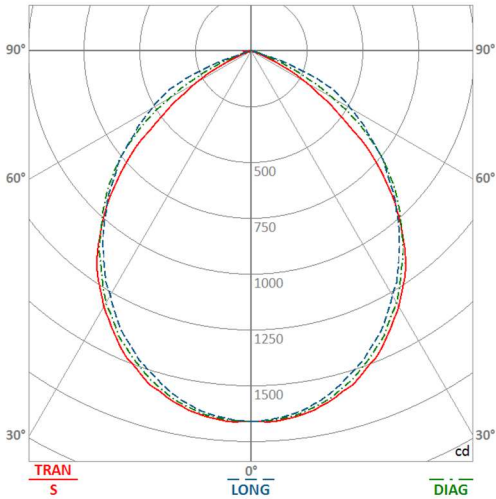
Submodelo	Potência (w)	Fluxo Luminoso (lm)	Eficácia Luminosa (lm/w)	Temperatura de Cor (K)
2005 RE LED	32	3.520	110	4000
2005 RE LED	39	4.104	106	4000
2005 RE LED	49	4.892	100	4000

Desenho de Dimensão



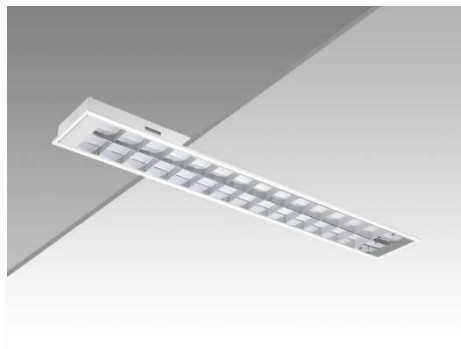
Dimensões (mm)
nicho:180x1230
modulação:212x1250

Fotometria



4.4. ITAIM - 2006 RE LED (RE = Retangular de embutir)

Luminária integrada com drive e leds.



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 UTILIZAÇÃO (x 0,01)								
0,60	53	46	42	52	46	42	46	41	40
0,80	62	56	51	61	55	51	54	50	49
1,00	69	63	59	68	62	58	62	58	56
1,25	76	70	66	74	69	65	69	65	63
1,50	81	76	71	79	74	71	73	70	68
2,00	88	83	80	86	82	79	81	78	76
2,50	92	88	85	90	87	84	85	83	81
3,00	95	91	89	93	90	88	88	86	84
4,00	98	95	93	96	94	92	92	90	88
5,00	100	97	96	98	96	94	94	93	90

Instalação: Embutir em forro de gesso ou modulado de perfil 'T' de aba 25mm

Corpo: Chapa de aço tratada com acabamento em pintura eletrostática na cor branca

Refletor: Alumínio anodizado em alto brilho com reflexão total de 86%

Aleta: Planas em chapa de aço tratada com acabamento em pintura eletrostática na cor branca

Difusor: Translúcido

Controle de Luz (opcional): TRIAC | DALI

Aba: Chapa de aço tratada com acabamento em pintura eletrostática na cor branca

IRC > 80

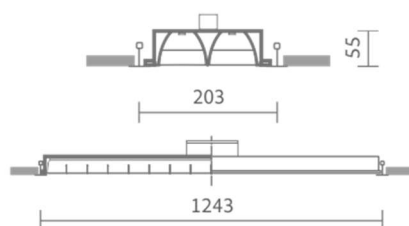
Classe Elétrica: I

Vida Útil: 50.000h

Dados Técnicos

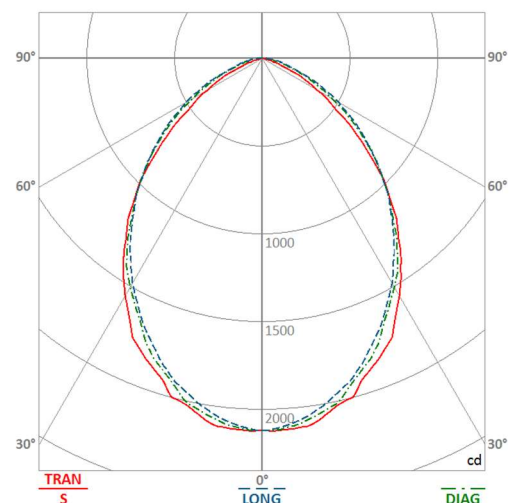
Submodelo	Potência (w)	Fluxo Luminoso (lm)	Eficiência Luminosa (lm/w)	Temperatura de Cor (K)
2006 RE LED	32	3.529	111	4000
2006 RE LED	39	4.114	106	4000
2006 RE LED	49	4.904	102	4000

Desenho de Dimensão



Dimensões (mm)
 nicho: 180x1230
 modulação: 212x1250

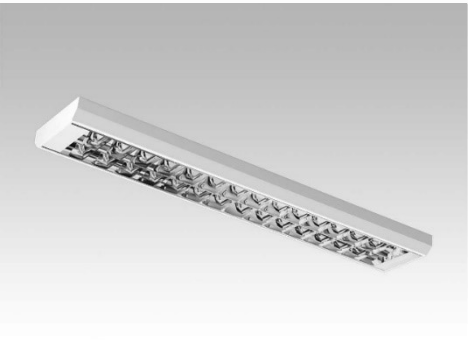
Fotometria



4.5. ITAIM - 3005 RS LED (RE = Retangular de sobrepor)

Luminária integrada com drive e leds.

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 UTILIZAÇÃO (x 0,01)								
0,60	52	46	41	51	45	41	45	41	39
0,80	62	56	51	61	55	50	54	50	48
1,00	70	64	59	68	63	59	62	58	56
1,25	77	71	66	75	70	66	69	66	64
1,50	81	76	72	80	75	72	74	71	69
2,00	88	84	81	87	83	80	82	79	77
2,50	92	89	86	91	88	85	86	84	82
3,00	95	92	90	93	91	89	89	87	85
4,00	98	96	94	96	94	93	93	91	89
5,00	100	98	96	98	96	95	95	93	91

Instalação: Sobrepor

Corpo: Chapa de aço tratada com pintura eletrostática na cor branca

Refletor: Alumínio anodizado alto brilho com reflexão total de 86%

Aleta: Parabólicas em alumínio anodizado alto brilho com reflexão total de 86%

Difusor: Translúcido

Controle de Luz (opcional): TRIAC | DALI

IRC> 80

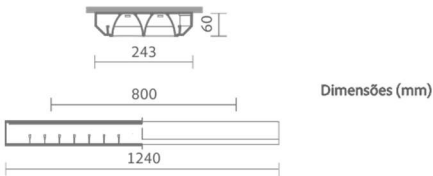
Classe Elétrica: I

Vida Útil: 50.000h

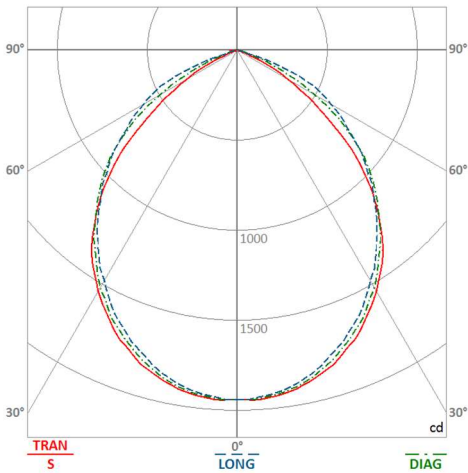
Dados Técnicos

Submodelo	Potência (w)	Fluxo Luminoso (lm)	Eficácia Luminosa (lm/w)	Temperatura de Cor (K)
3005 RS LED	32	3.520	110	4000
3005 RS LED	39	4.104	106	4000
3005 RS LED	49	4.892	100	4000

Desenho de Dimensão



Curva fotométrica



4.6. ITAIM - 3006 RS LED (RS = Retangular de sobrepor)

Luminária integrada com drive e leds.



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 UTILIZAÇÃO (x 0,01)								
0,60	53	46	42	52	46	42	46	41	40
0,80	62	56	51	61	55	51	54	50	49
1,00	69	63	59	68	62	58	62	58	56
1,25	76	70	66	74	69	65	69	65	63
1,50	81	76	71	79	74	71	73	70	68
2,00	88	83	80	86	82	79	81	78	76
2,50	92	88	85	90	87	84	85	83	81
3,00	95	91	89	93	90	88	88	86	84
4,00	98	95	93	96	94	92	92	90	88
5,00	100	97	96	98	96	94	94	93	90

Instalação: Sobrepor

Corpo: Chapa de aço tratada com pintura eletrostática na cor branca

Refletor: Alumínio anodizado alto brilho com reflexão total de 86%

Aleta: Planas em chapa de aço tratada com acabamento em pintura eletrostática na cor branca

Difusor: Translúcido

Controle de Luz (opcional): TRIAC | DALI

IRC> 80

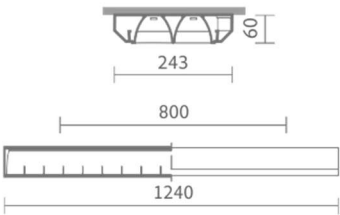
Classe Elétrica: I

Vida Útil: 50.000h

Dados Técnicos

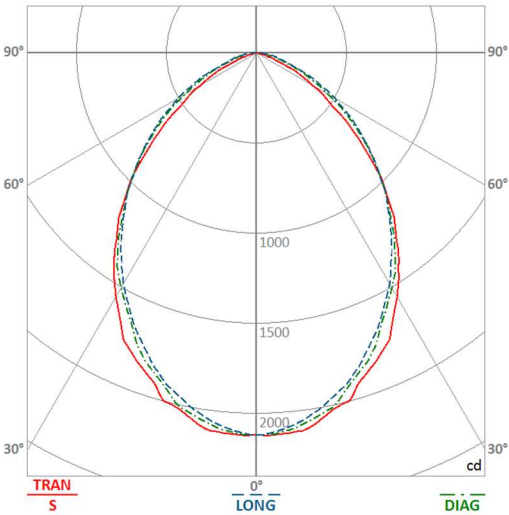
Submodelo	Potência (w)	Fluxo Luminoso (lm)	Eficácia Luminosa (lm/w)	Temperatura de Cor (K)
3006 RS LED	32	3.529	111	4000
3006 RS LED	39	4.114	106	4000
3006 RS LED	49	4.904	101	4000

Desenho de Dimensão

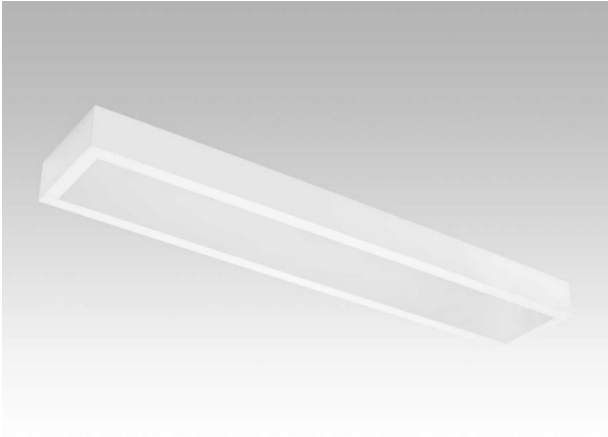


Dimensões (mm)

Curva fotométrica



4.7. ITAIM - MINOTAURO RS - Luminária integrada com drive e leds

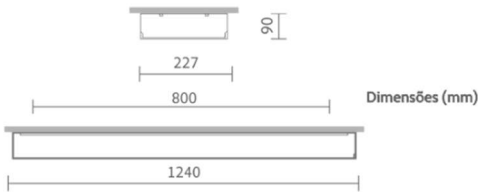


Eficácia Luminosa (Sistema)	105 lm/W
Fluxo Luminoso (Sistema)	3.350 lm
Potência (Sistema)	32 W
Temperatura de Cor:	4000 K

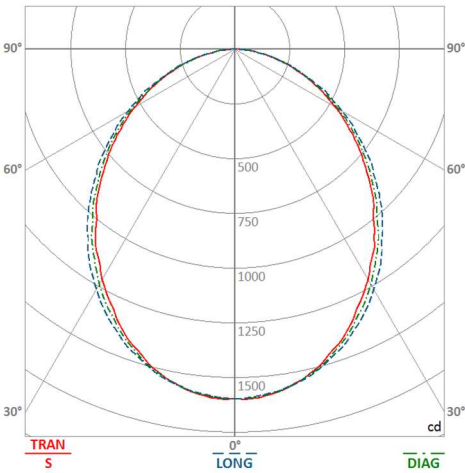
Dados Técnicos

- Instalação:** Sobrepor
- Corpo:** Chapa de aço tratada com pintura eletrostática na cor branca
- Difusor:** Translúcido
- Controle de Luz (opcional):** TRIAC | DALI
- IRC:**> 80
- Classe:**I
- Vida Útil:** 50.000h

Desenho de Dimensão



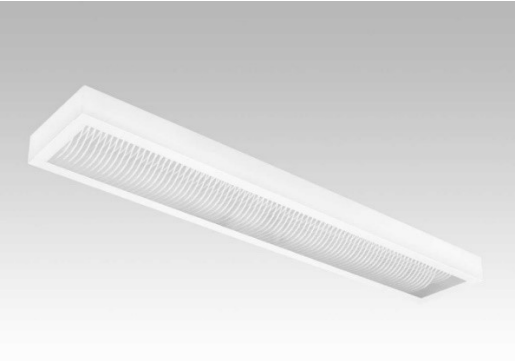
Fotometria



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 UTILIZAÇÃO (x 0,01)								
0,60	48	41	35	47	40	35	40	35	33
0,80	57	50	44	56	49	44	48	44	42
1,00	64	57	52	63	56	52	56	51	49
1,25	71	65	59	69	64	59	63	59	56
1,50	76	70	65	74	69	65	68	64	62
2,00	84	78	74	82	77	73	76	72	70
2,50	88	84	80	86	82	79	81	78	76
3,00	91	88	84	89	86	83	84	82	79
4,00	95	92	89	93	91	88	89	87	84
5,00	98	95	93	96	93	91	91	90	87

4.8. ITAIM - Maia RS - Luminária integrada com drive e leds

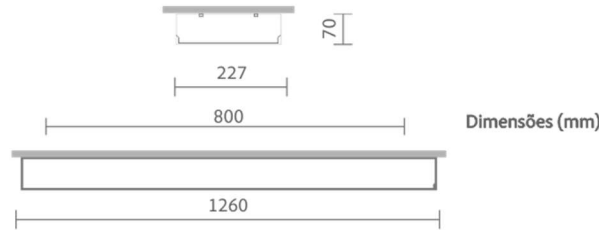


Eficácia Luminosa (Sistema)	103 lm/W
Fluxo Luminoso (Sistema)	3.300 lm
Potência (Sistema)	32 W
Temperatura de Cor:	4000 K

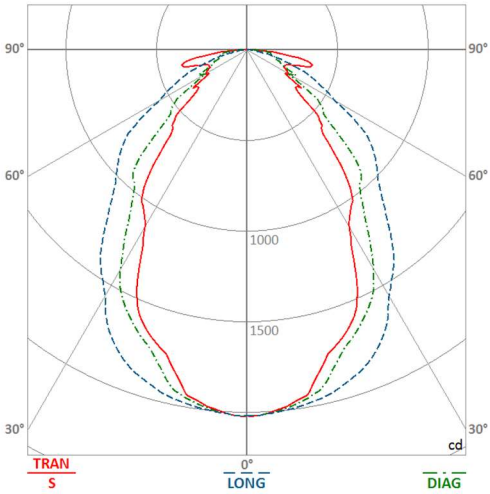
Dados Técnicos

- Instalação:** Sobrepor
- Corpo:** Chapa de aço tratada com pintura eletrostática na cor branca
- Difusor:** Prismático transparente
- Controle de Luz (opcional):** TRIAC | DALI
- IRC:**> 80
- Classe:** I
- Vida Útil:** 50.000h

Desenho de Dimensão



Fotometria



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 UTILIZAÇÃO (x 0,01)			
0,60	53	47	42	40
0,80	62	55	50	48
1,00	68	62	57	55
1,25	75	69	64	61
1,50	79	74	69	66
2,00	86	81	77	73
2,50	90	86	83	78
3,00	93	89	86	82
4,00	96	94	91	86
5,00	98	96	94	88

4.9. CORELINE PANEL



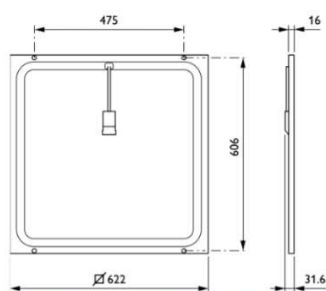
CoreLine Panel

A CoreLine Panel Generation 4 cumpre a promessa da CoreLine de luminárias inovadoras, fáceis de usar e de alta qualidade, pronta para substituir diretamente luminárias funcionais em aplicações de iluminação geral. A inovadora MultiColour/ Lumen da CoreLine Panel oferece dois tons de branco e quatro pacotes de lúmens, tudo em uma só luminária. E graças ao novo conector, a instalação é rápida e fácil.

Modelo Coreline panel	Potência (w)	Fluxo Luminoso (lm)	Eficácia Luminosa (lm/w))	Temperatura de Cor (K)
RC133V LED 36S/840	35	3.600	110	4.000
RC133V LED 34S/830	33	3.400	105	3.000

Utilisation factor table

Desenho dimensional

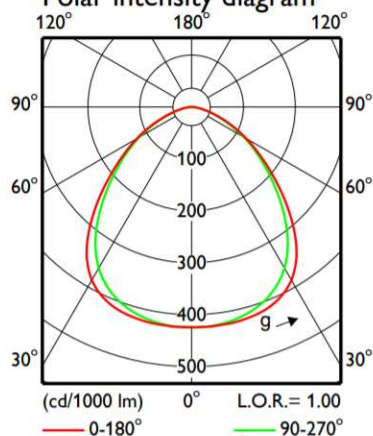


CoreLine Panel RC132V/RC133V

Room Index k	Reflectances for ceiling, walls and working plane (CIE)									
	0.80	0.80	0.70	0.70	0.70	0.70	0.50	0.50	0.30	0.30
	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.30	0.30	0.10	0.30	0.10
	0.30	0.10	0.30	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
0.60	0.55	0.52	0.54	0.53	0.52	0.45	0.40	0.44	0.40	0.39
0.80	0.66	0.62	0.65	0.63	0.61	0.54	0.49	0.53	0.49	0.47
1.00	0.75	0.69	0.73	0.71	0.68	0.61	0.57	0.61	0.57	0.55
1.25	0.83	0.76	0.81	0.78	0.75	0.68	0.64	0.67	0.64	0.62
1.50	0.89	0.81	0.87	0.83	0.80	0.73	0.69	0.72	0.69	0.67
2.00	0.98	0.88	0.96	0.91	0.87	0.81	0.78	0.80	0.77	0.75
2.50	1.04	0.92	1.02	0.96	0.91	0.86	0.83	0.85	0.82	0.80
3.00	1.09	0.95	1.06	0.99	0.94	0.89	0.87	0.88	0.86	0.83
4.00	1.14	0.98	1.10	1.03	0.97	0.93	0.91	0.92	0.90	0.87
5.00	1.17	1.00	1.13	1.06	0.99	0.95	0.94	0.94	0.92	0.90

Ceiling mounted

Polar intensity diagram



5. EXEMPLO DE PROJETO LUMINOTÉCNICO

Planeja-se iluminar um escritório para escrever, teclar, ler e processar dados. O recinto tem 8 metros de largura por 11,40 metros de comprimento e 3,20 metros de pé direito, sendo que o teto e as paredes são brancos. As tarefas serão realizadas em mesas de 0,8 metro de altura. Em razão da quantidade de poeira e sujeira que se depositam sobre o sistema de iluminação, o ambiente é considerado normal e a manutenção do sistema de iluminação será realizado a cada 7.500 horas.

A luminária escolhida é do tipo retangular de embutir no forro, de fabricação Itaim modelo 2005 RE LED de 32 watts integrada com drive e leds.

Para estas condições determine:

- a) Número de luminárias necessárias;
- b) Disposição das luminárias através de uma planta baixa cotada;
- c) Projeto elétrico completo do recinto.

Roteiro para solução:

1-Determinação da iluminância mantida (E_m), página 11, conforme NBR ISO/CIE 8995-1:2013.

$$E = 500 \text{ lux}$$

2-Escolha da lâmpada e da luminária. Para a escolha adequada utilize as orientações informadas no item 2.3.5, páginas 18 e 19. Observação: Esta etapa do projeto já foi realizada no enunciado do exercício.

Fabricação Itaim modelo 2005 RE LED

3-Determinação do índice do local (k) de acordo com a página 21.

$$k = \frac{C.L}{(C + L)H} = \frac{11,40 \times 8}{(11,40 + 8)2,40} = 1,95 \cong 2,00 \quad k = 2,00$$

4-Determinação do coeficiente de utilização (μ) de acordo com a tabela da luminária 2005 RE LED de 32 watts integrada com drive e leds. Na página 26 observa-se a refletância das paredes e tetos (teto branco 75% e parede branca 50%).

$$\mu = 0,88$$

5-Determinação do fator de perdas luminosas (FPL) conforme tabela 3.2 página 22.

$$FPL = 0,80$$

6-Cálculo do fluxo luminoso total necessário, para atender as condições estabelecidas nos itens anteriores.

$$\phi = \frac{Em.S}{\mu.FPL} = \frac{500 \times 11,40 \times 8}{0,88 \times 0,80} = 64.772,72 \text{ lumens}$$

$$\phi = 64.772,72 \text{ lumens}$$

ϕ = fluxo luminoso total, em lumens

S = área do recinto, em m²

μ = coeficiente de utilização

FPL = fator de perdas luminosas

E_m = iluminância mantida, em lux

7-Cálculo do número de luminárias necessárias para produzir o fluxo luminoso total.

$$\eta = \frac{\phi}{\phi} = \frac{64.772,72}{3.510} = 18,40 \quad \eta \cong 20 \text{ luminárias}$$

Onde: $\phi = 3.520 \text{ lm}$ conforme página 26

ϕ = fluxo luminoso total, em lumens

ϕ = Fluxo luminoso de 1 luminária, em lumens

η = número de luminárias

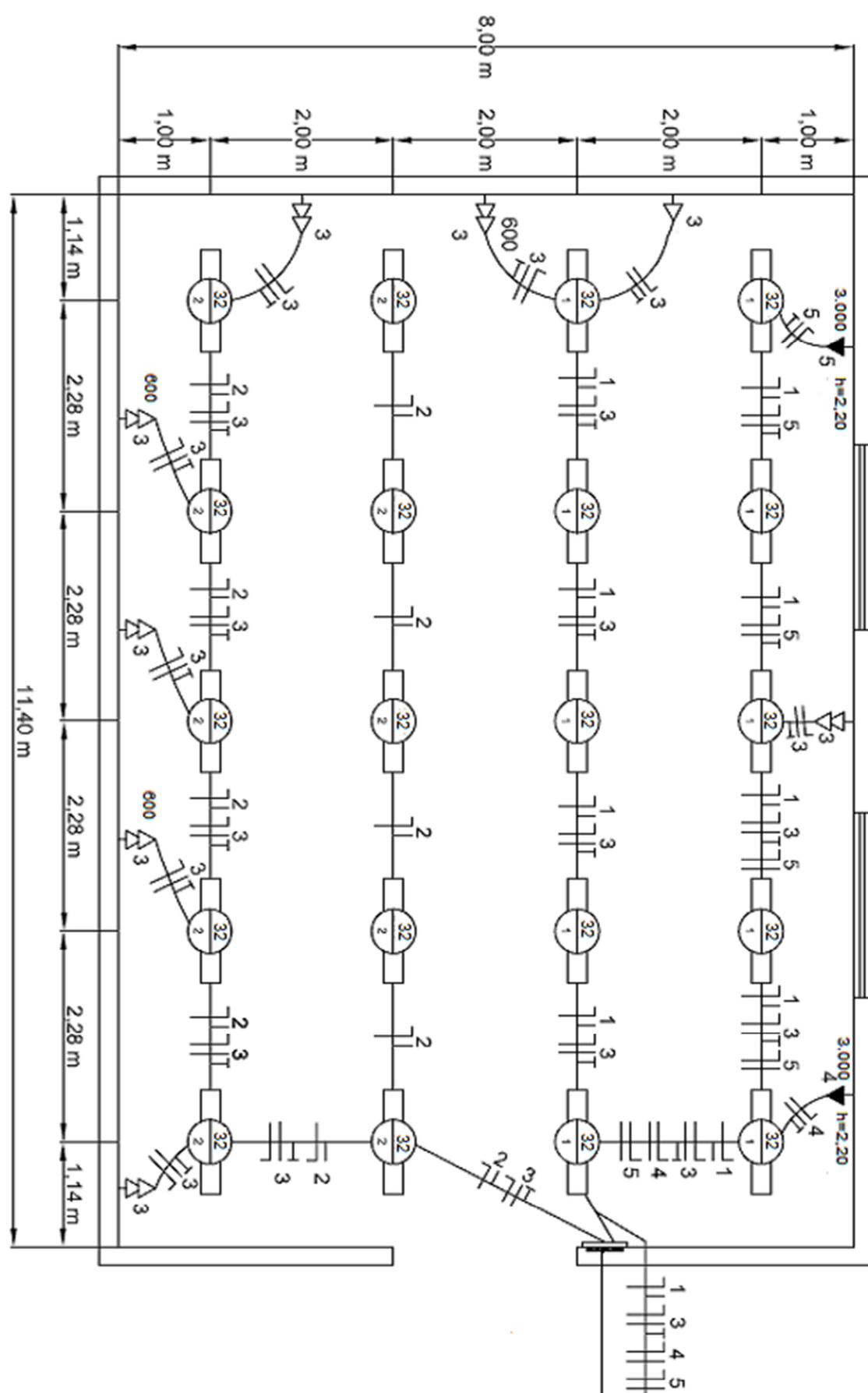
8-Distribuição do número total de luminárias e projeto elétrico do recinto. A distribuição das luminárias deve seguir as orientações indicadas na página 23. O projeto elétrico deve ser realizado de acordo com a NBR 5410 (2004).

Quadro de cargas 380/220 V							
Circ. N°	Iluminação (W)	Tomadas coletivas (W)	Total (W)	Condutor (mm ²)	Disjuntor (A)	Dispositivo DR (A)	Fase
1	320	-	320	2x1,5	16	-	R
2	320	-	320	2x1,5	16	-	S
3	-	3.000	3.000	3x2,5	20	2x25	R
4	Condicionador de ar		3.000	3x2,5	20	2x25	S
5	Condicionador de ar		3.000	3x2,5	20	2x25	T
	Total		9.640				

R= 3.320 W

S= 3.320 W

T= 3.000 W



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABILUX. **Uso Racional de Energia Elétrica em Edificações**. 2ª edição. São Paulo. Associação Brasileira da Indústria de Iluminação. 2002.
2. CARDOSO, Rogério P. **Luminotecnica fundamental**. Lisboa. Dinalivro, 2009.
3. CAVALIN, Geraldo e CERVELIN, Severino. **Instalações Elétrica Prediais**. 23ª edição São Paulo. Editora Érica Ltda. 2017.
4. CREDER, Hélio. **Instalações Elétricas**. 16ª edição. Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 2016.
5. COSTA, Gilberto José Correa da. **Iluminação Econômica, Cálculo e Avaliação**. 4ª edição. Porto Alegre. EDIPUCRS. 2017.
6. IESNA. **Lighting handbook: reference & application**. Illuminating Engineering Society of North America. 8th edition. New York. 2016.
7. ITAIM. **Catálogo Geral de Produtos**. São Paulo. 2018.
8. ABNT NBR ISSO/CIE 8995-1:2013 – Iluminação de ambientes de trabalho.
9. NISKIER, J. e MANCINTYRE, A. J. **Instalações Elétricas**. 6ª edição. Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científico Editora S.A. 2013.
10. OSRAM. **Idéias que acendem a sua vida**. Catálogo Eletrônico. 2009.
11. PHILIPS. **Benefícios de uma Boa Iluminação**. São Paulo. 2005.