

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DAELE - DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELÉTRICA
ENGENHARIA ELÉTRICA

MATHEUS RAMOS SOARES

**IMPLEMENTAÇÃO DE UMA INTERFACE GRÁFICA PARA
CÁLCULO LUMINOTÉCNICO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO
2018

MATHEUS RAMOS SOARES

**IMPLEMENTAÇÃO DE UMA INTERFACE GRÁFICA PARA
CÁLCULO LUMINOTÉCNICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina de Trabalho de conclusão de Curso, do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Me. Marco Antonio Ferreira Finocchio

CORNÉLIO PROCÓPIO
2018



Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Cornélio Procópio
Departamento Acadêmico de Elétrica
Curso de Engenharia Elétrica



FOLHA DE APROVAÇÃO

Matheus Ramos Soares

Implementação de uma interface gráfica para cálculo luminotécnico

Trabalho de conclusão de curso apresentado às 14:30hs do dia 11/06/2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista no programa de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho aprovado.

Prof(a). Me(a). Marco Antonio Ferreira Finocchio - Presidente (Orientador)

Prof(a). Dr(a). Wagner Fontes Godoy - (Membro)

Prof(a). Me(a). João Cesar de Paula Salve - (Membro)

Prof(a). Esp. José Roberto Shimazaki - (Membro)

"Vocês não sabem que dentre todos os que correm no estádio, apenas um ganha o prêmio? Corram de tal modo que alcancem o prêmio." I Cor. 9:24.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me dar forças para concluir mais essa etapa de vida, a minha família que sempre me apoiou e acreditou nos meus sonhos, ao meu orientador Prof. Marco A. F. Finocchio, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória, aos meus colegas de sala que estiveram nessa batalha durante todos esses anos.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

Não sei se eu vou ganhar, mas essa conduta eu vou ter. Talvez com um cabelo mais branco e errando menos do que na outra passagem. BACHI, Adenor L.

RESUMO

SOARES, M. R.. IMPLEMENTAÇÃO DE UMA INTERFACE GRÁFICA PARA CÁLCULO LUMINOTÉCNICO. 2018. 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio , 2018.

O presente trabalho tem por finalidade apresentar uma ferramenta de cálculo luminotécnico desenvolvida no *software* Matlab. Foi feita uma revisão bibliográfica dos conceitos físicos que envolvem o cálculo luminotécnico, normas nacionais e internacionais e através das metodologias mais usuais de cálculo luminotécnico apresentadas na literatura. Para o desenvolvimento da ferramenta, fez-se o uso da ferramenta GUIDE do *software* Matlab, onde foi utilizado programação orientada a eventos. Os resultados do trabalho se mostraram eficazes, cumprindo com os objetivos pré-determinados e se mostrando uma ótima ferramenta para auxiliar projetistas de iluminação.

Palavras-chave: Cálculo luminotécnico, luminárias, Matlab, GUIDE.

ABSTRACT

SOARES, M. R.. IMPLEMENTATION OF A GRAPHIC INTERFACE FOR LUMINOTECHNICAL CALCULATION. 2018. 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio , 2018.

The present work has the purpose of presenting a computational tool developed in Matlab software. A bibliographical review was made of the physical concepts that involve the calculation of lighting, national and international standards and through the most common methodologies of lighting calculation presented in the literature. For the development of the tool, it was made use of the GUIDE tool of the Matlab software, where event-oriented programming was used. The results of the work proved to be effective, fulfilling the pre-determined objectives and proving to be a great tool to assist lighting designers.

Keywords: Lighting calculation, luminaires, Matlab, GUIDE.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sensibilidade visual do olho humano	4
Figura 2 – Curva de eficácia luminosa espectral	5
Figura 3 – Processamento de imagens pelo cérebro	5
Figura 4 – Ângulo sólido	6
Figura 5 – Fluxo Luminoso se propagando em todas as direções	8
Figura 6 – Representação do conceito da intensidade luminosa	9
Figura 7 – A iluminância relacionada com a densidade de fluxo	10
Figura 8 – A luminância segundo uma direção e superfície	11
Figura 9 – Ofuscamento de um operador de máquina	13
Figura 10 – Energia espectral dos radiadores integrais, segundo a lei de Planck	14
Figura 11 – Representação conceito intensidade luminosa	16
Figura 12 – Área de tarefa e entorno imediato.	18
Figura 13 – Exemplificação método de lúmens	22
Figura 14 – Cavidades zonais	23
Figura 15 – Iluminamento vertical e horizontal	27
Figura 16 – Exemplo de curva isolux e cálculos geométricos	28
Figura 17 – Curva Isolux e aplicação	29
Figura 18 – Classes de iluminação existentes segundo a norma EN 13201 adaptadas para NBR 5101:2012	30
Figura 19 – Método de cálculo de compatibilidade com a arborização	33
Figura 20 – Área inicial de trabalho em GUIDE	37
Figura 21 – Tela inicial da interface gráfica	37
Figura 22 – Método de lúmens da interface gráfica	38
Figura 23 – Tabela luminotécnica para método lúmens	39
Figura 24 – Diagrama de blocos para lógica computacional do método de lúmens	40
Figura 25 – Método das cavidades zonais da interface gráfica	41
Figura 26 – Diagrama de blocos para lógica computacional do método das cavidades zonais	42
Figura 27 – Cálculo para NBR 5410 da interface gráfica	43

Figura 28 – Diagrama de blocos para lógica computacional da NBR 5410	44
Figura 29 – Equivalência de lâmpada LED da interface gráfica	45
Figura 30 – Diagrama de blocos para lógica computacional da equivalência de lâmpada LED	45
Figura 31 – Método de ponto por ponto da interface gráfica	46
Figura 32 – Diagrama de blocos para lógica computacional do método de ponto por ponto	48
Figura 33 – Método de iluminação ponto por ponto da interface gráfica	49
Figura 34 – Diagrama de blocos para lógica computacional do método de ilumi- namento ponto por ponto	49
Figura 35 – Método de iluminação pelo valor médio da interface gráfica	50
Figura 36 – Diagrama de blocos para lógica computacional do método de ilumi- namento pelo valor médio	51
Figura 37 – Resultados DIALux	52
Figura 38 – Resultados DIALux	52
Figura 39 – Tabela luminotécnica fator de utilização método de lúmens	53
Figura 40 – Resultados obtidos com método de lúmens da interface gráfica	54
Figura 41 – Resultados obtidos com método das cavidades zonais da interface gráfica para galpão 17x12m ² , lâmpada vapor de mercúrio, refletor T38, 400W	55
Figura 42 – Resultados obtidos com NBR 5410 da interface gráfica	55
Figura 43 – Resultados obtidos com a equivalência LED da interface gráfica	56
Figura 44 – Especificações estrada DIALux	56
Figura 45 – Requisitos fotométricos da estrada DIALux	57
Figura 46 – Resultados simulação via DIALux	58
Figura 47 – Resultados obtidos com a método de iluminação por ponto da interface gráfica	58
Figura 48 – Dados geométricos para determinação do iluminação pelo método de ponto por ponto	59
Figura 49 – Curva Isolux da luminária SPP186 GB 1xSON-TPP150W SGR 220	60
Figura 50 – Resultados obtidos com a método de ponto por ponto da interface gráfica.	60

Figura 51 – Vista superior e lateral da pista e poste de iluminação.	61
Figura 52 – Resultados obtidos com a método de iluminação por valor médio da interface gráfica.	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Requisitos fotométricos para as classes de alta e média velocidade	31
Tabela 2 – Requisitos fotométricos para as classes das zonas de conflito	31
Tabela 3 – Requisitos fotométricos para as classes de baixa velocidade	32
Tabela 4 – Tipos de topologias de redes de iluminação pública	32
Tabela 5 – Valores do FMLL	34
Tabela 6 – Valores do FSL	34
Tabela 7 – Interpretação dos resultados DIALux e Interface iluminação por ponto	59
Tabela 8 – Tempo de resposta	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Normas Brasileiras
ISO	Organização Internacional de Padronização (<i>International Organization for Standardization</i>)
CIE	Comissão Internacional de Iluminação (<i>Commission Internationale de l'Eclairage</i>)
ABILUX	Associação Brasileira da Indústria de Iluminação
DIN	Instituto Alemão de Normatização (<i>Deutsches Institut für Normung</i>)
IRC	Índice de reprodução de cor
Cobei	Comitê Brasileiro Eletricidade Eletrônica Iluminação
GUIDE	Ambiente de desenvolvimento gráfico da interface do usuário (<i>textit-Graphical User Interface Development Environment</i>)

LISTA DE SÍMBOLOS

ω	ângulo sólido [<i>sr</i>]
A	área na superfície da esfera [m^2]
R	raio da esfera [m]
K_m	valor do watt-luminoso = $683lm/W$
$\frac{d\phi_e(\lambda)}{d\lambda}$	distribuição espectral do fluxo radiante [W]
$V(\lambda)$	eficácia luminosa espectral
ϕ	fluxo luminoso em lúmens [lm]
ω	ângulo sólido [<i>sr</i>]
E	iluminância em lux [lx]
L	luminância em candela por metro quadrado [cd/m^2]
I	intensidade luminosa [cd]
α	direção do observador [$^\circ$]
tg_φ	ângulo de visão [$^\circ$]
H_{no}	altura da fonte luminoso ao nível do olho [m]
η	rendimento da fonte luminosa [%]
$\phi_{emitido}$	fluxo luminoso emitido [lm]
$P_{consumida}$	potência em watts consumida pela fonte luminosa [W]

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 Delimitação do tema	1
1.2 Justificativa	2
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivos Gerais	2
1.3.2 Objetivos Específicos	2
2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
2.1 Luz e visão	4
2.2 Ângulo Sólido	6
2.3 Fluxo luminoso	7
2.4 Intensidade luminosa	8
2.5 Iluminância	9
2.6 Luminância	10
2.7 Ofuscamento	12
2.8 Temperatura da cor	13
2.9 Eficiência luminosa	15
3 – NORMAS TÉCNICAS E CÁLCULO LUMINOTÉCNICO	17
3.1 Iluminação de ambientes de trabalho - ABNT NBR ISO/CIE 8995-1	17
3.2 Cálculo luminotécnico	20
3.2.1 Cálculo luminotécnico para ambientes internos	21
3.2.2 Cálculo luminotécnico para ambientes externos	25
4 – METODOLOGIA DO ALGORITMO E RESULTADOS	36
4.1 Método de lúmens	38
4.2 Método das cavidades zonais	40
4.3 NBR 5410	42
4.4 Equivalência de lâmpada LED	44
4.5 Ponto por ponto	45

4.6 Iluminamento por ponto	48
4.7 Iluminamento pelo valor médio	50
4.8 Resultados	51
5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
REFERÊNCIA	65

1 INTRODUÇÃO

Estudo realizado pela Associação Brasileira da Indústria de Iluminação (ABI-LUX) mostrou que a iluminação representa cerca de 20% do consumo de energia produzido no país, mostrando que este setor tem um alto consumo de energia. Dentro do setor industrial, a necessidade de iluminamento de qualidade se faz extremamente necessário, pois o rendimento nas tarefas está intimamente ligado com a qualidade do projeto luminotécnico. Os detalhes das tarefas de uma indústria exigem dos funcionários uma percepção visual apurada, assim é importantíssimo um projeto luminotécnico que possibilite a execução das diversas tarefas. Desta forma, MAMEDE (2011) lista alguns pontos que o projetista deve observar e adotar ao realizar um bom projeto de iluminação, sendo eles:

- 1- Nível de iluminamento suficiente para cada atividade específica;
- 2- Distribuição espacial da luz sobre o ambiente;
- 3- Escolha apropriada dos aparelhos de iluminação;
- 4- Tipo de execução das paredes e piso;
- 5- Iluminação de acesso.

O projetista deve observar e estudar atentamente a planta baixa do projeto, buscando adequar o melhor equipamento para aquela situação. Fatores como teto, pé direito, disposição de vigas, tirantes de aço de sustentação; todos esses devem ser fatores físicos do projeto a ser analisados.

1.1 Delimitação do tema

Visto que os temas relacionados a engenharia de iluminação são amplos e interdisciplinares, faz-se necessário delimitar o tema a ser desenvolvido neste trabalho. Desta forma, o projeto a ser desenvolvido consistirá na implementação de uma interface gráfica onde possa ser realizado cálculos luminotécnicos para ambientes interiores e exteriores, onde será usado os principais equacionamentos e métodos apresentados na literatura e normas técnicas brasileiras determinadas pela ABNT.

1.2 Justificativa

Existem diversos *softwares* no mercado que realizam cálculo luminotécnico, porém estes apresentam alguns problemas como custo elevado (AGI32), difícil utilização (RADIANCE) e um alto consumo de processamento computacional (DIALux e LIGHTSCAPE). Desta forma, o presente trabalho tem como intuito criar uma ferramenta de fácil utilização com respostas rápidas para cálculo de projetos luminotécnicos de ambientes internos e externos, utilizando normas técnicas e metodologias apresentados na literatura.

1.3 Objetivos

Os objetivos deste trabalho serão divididos entre objetivos gerais e específicos.

1.3.1 Objetivos Gerais

O objetivo geral deste trabalho visa implementar uma interface gráfica com o *software* Matlab, que possa fazer cálculos luminotécnicos para ambientes internos e externos, utilizando métodos apresentados na literatura e normas técnicas.

1.3.2 Objetivos Específicos

Dos objetivos específicos deste trabalho tem-se: Realizar uma revisão bibliográfica do tema, buscando materiais de qualidade e pesquisas recentes sobre luminotécnica.

- Compreender os fenômenos físicos relacionados ao tema.
- Estudar e apresentar normas técnicas a respeito de projetos luminotécnicos.
- Compreender os métodos e cálculos para dimensionamento luminotécnico.
- Definir as grandezas utilizadas e como são definidas e expressadas matematicamente.
- Utilizar a ferramenta matemática computacional Matlab para desenvolver o código que irá executar os cálculos.
- Visa rapidez na resposta do cálculo luminotécnico, pois os cálculos manuais são exaustivos.

- Elaborar o código para realizar os cálculos luminotécnicos baseados nas normas técnicas e nos métodos apresentados.
- Desenvolver uma interface gráfica simples, onde o usuário possa facilmente realizar cálculos luminotécnicos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

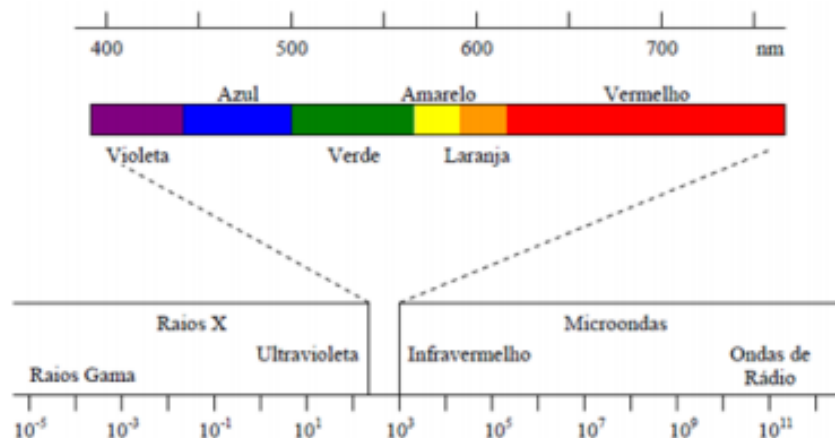
A seguir será apresentado alguns conceitos que devem estar bem definidos para o projetista, pois através deles o engenheiro de iluminação tomará as suas decisões. Desta forma, entender os conceitos e suas aplicações, farão com que o projeto supra as necessidades da situação.

2.1 Luz e visão

Pode-se definir luz como uma fonte de radiação que emite onda eletromagnética com comprimento de onda (λ) dentro de um intervalo perceptível ao olho humano, que varia entre 380nm a 780nm como demonstra a Figura 1.

As grandezas físicas básicas da luz são iguais as grandezas de toda onda eletromagnética: amplitude, frequência e comprimento de onda. No caso específico da luz, a intensidade se identifica com o brilho e a frequência com a cor.

Figura 1 – Sensibilidade visual do olho humano



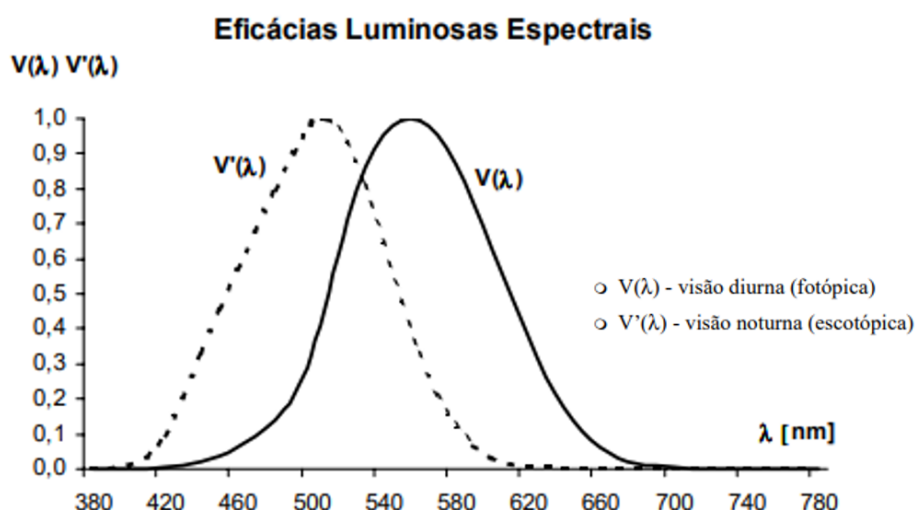
Fonte: FINOCCHIO, 2014.

Através de um espectro bem definido o homem consegue ter a percepção da luz e seus efeitos, assim observa-se que a visão é nítida e detalhada com ótima distribuição de cores quando a luminância está com mais de $3cd/m^2$; está é a chamada visão fotópica. Quando a luminância está inferior a $0,25cd/m^2$, a sensibilidade a cor diminui, é a visão escotópica.

A curva de Eficácia luminosa espectral como mostrada na Figura 2, definida pela *Comission Internationale de l'Éclairage* (CIE), mostra que o ponto máximo para visão fotópica é próximo de 554nm e para visão escotópica, próximo de 507nm.

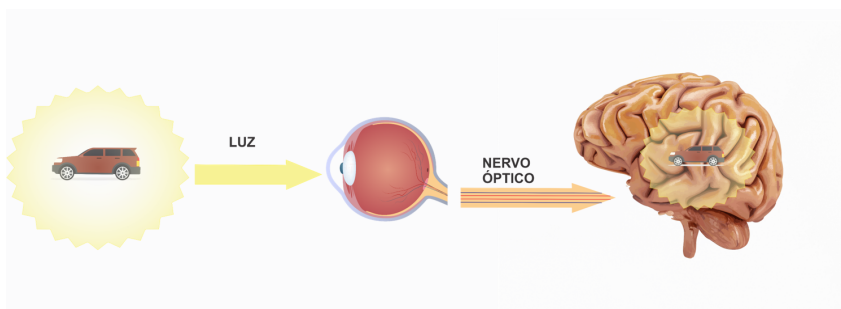
Desta forma, o olho humano captura a luz sendo formado na retina as imagens. Na retina encontra-se dois receptores: os cones e bastonetes. Estes transformam a energia radiante em energia química, produzindo assim pulsos elétricos enviados ao cérebro pelo nervo ótico. No cérebro o sinal é processado e baseado nas experiências do indivíduo ele determina qual a imagem captada, suas cores, características físicas e demais informações pertinentes como mostrado na Figura 3

Figura 2 – Curva de eficácia luminosa espectral



Fonte: MARTINO, 2002.

Figura 3 – Processamento de imagens pelo cérebro



Fonte: Autoria própria.

2.2 Ângulo Sólido

O estudo de iluminação está intimamente ligado a sensação luminosa provocada ao olho e para visão de formas espaciais, desta forma se faz necessário trabalhar com ângulos tridimensionais, conhecidos como ângulo sólido.

O ângulo sólido tem sua definição na tridimensionalidade de uma esfera de raio R e área A . Assim o ângulo sólido é expresso em esterradianos, sendo o quociente entre uma área A na superfície de uma esfera e o quadrado do seu raio R .

$$\omega = \frac{A}{R^2} \quad (1)$$

onde:

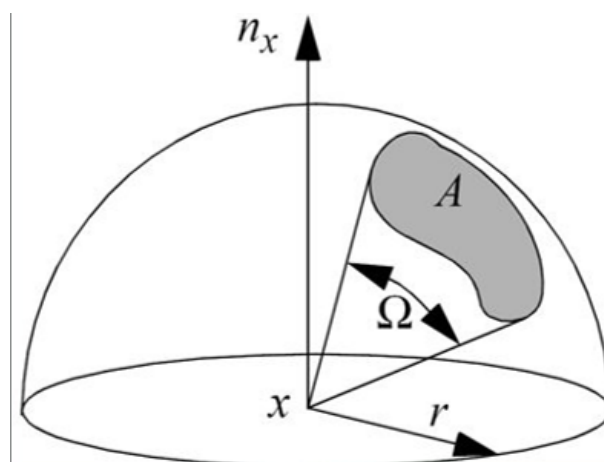
ω : ângulo sólido [sr];

A : área na superfície da esfera [m^2];

R raio da esfera [m].

O ângulo sólido é amplamente utilizado nas demais grandezas relacionadas a iluminação, pois o feixe luminoso ao incidir na retina ocular, cria uma imagem na sua superfície, cujo contorno é função do ângulo sólido percebido pelo olho (COSTA, 2005). A Figura 4 exemplifica graficamente o conceito matemático.

Figura 4 – Ângulo sólido



Fonte: Autoria própria.

2.3 Fluxo luminoso

O fluxo luminoso é uma grandeza fotométrica derivada da intensidade luminosa. Este está contido no fluxo radiante, sendo assim; uma energia resultante da radiação. O fluxo radiante (ou fluxo energético) é uma grandeza que corresponde a um trabalho na unidade de tempo, portanto expressa em watts. Porém, o fluxo luminoso mesmo sendo uma potência luminosa não é expresso em watts, e sim em lúmens, pois está relacionado ao estímulo que provoca na visão, assim sua unidade deve refletir isso.

O lúmen representa então a quantidade de luz irradiada por uma abertura de 1m^2 feita na superfície de uma esfera de 1m de raio com intensidade igual a 1 candela em todas as direções como mostra a Figura 5.

De forma rigorosa, pode-se definir matematicamente o fluxo luminoso como "uma grandeza derivada do fluxo radiante (ϕ_e), pela avaliação da radiação, de acordo com a sua ação sobre o observador fotométrico padrão CIE."(COSTA, 2005).

Em termos matemáticos tem-se:

$$\phi = K_m \int_{380}^{780} \frac{d\phi_e(\lambda)}{d\lambda} V(\lambda) d(\lambda) \quad (2)$$

onde:

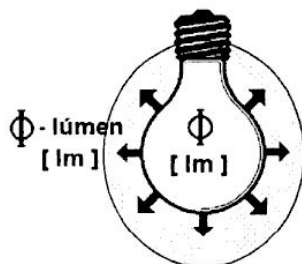
K_m : valor do watt-luminoso = $683\text{lm}/W$;

$\frac{d\phi_e(\lambda)}{d\lambda}$: distribuição espectral do fluxo radiante [W];

$V(\lambda)$: eficácia luminosa espectral;

ϕ : fluxo luminoso em lúmens [lm].

Os limites da integral correspondem a limitação visual do olho humano em relação ao comprimento de onda ($380\text{-}780\text{lm}$).

Figura 5 – Fluxo Luminoso se propagando em todas as direções

Fonte: COSTA, 2005.

2.4 Intensidade luminosa

A intensidade luminosa é uma das grandezas bases do sistema internacional. Está é uma grandeza biofísica que incorpora a reação humana para visão da luz. De forma simples, pode-se descrever a intensidade luminosa com uma analogia hidráulica, onde a intensidade luminosa seria a pressão e o fluxo luminoso o jato de água.

Supondo que a fonte luminosa seja puntiforme, ou seja, que é um ponto luminoso; a fonte irradia a radiação luminosa em todas as direções. Pode-se descrever vértices cônicos divergentes como apresentado na Figura 6. Estes vértices cônicos podem ser medidos como ângulos sólidos e matematicamente pode-se definir como "o limite da relação entre o fluxo luminoso em um ângulo sólido, quando esse ângulo sólido tende a zero."(MAMEDE, 2011).

$$I = \lim_{\Delta\omega \rightarrow 0} \frac{\Delta\phi}{\Delta\omega} = \frac{d\phi}{d\omega} \quad (3)$$

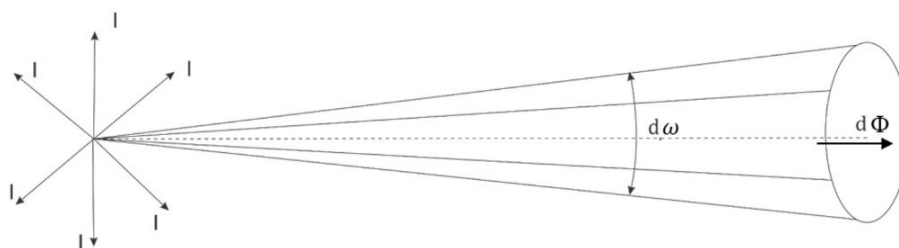
onde:

I : intensidade luminosa na direção ω em candela [cd];

ω : ângulo sólido [sr];

ϕ : fluxo luminoso em lúmens [lm].

A intensidade luminosa leva à noção de um vetor luminoso emitido por uma fonte, como um vetor deve apresentar módulo, direção e sentido. O módulo é seu valor em candelas; a direção do vetor é medida dentro de uma esfera que contém uma fonte luminosa no seu centro segundo a direção ω e o sentido é do centro para as laterais da esfera.

Figura 6 – Representação do conceito da intensidade luminosa

Fonte: COSTA, 2005.

2.5 Iluminância

Segundo COSTA (2005) a iluminância pode ser definida como uma densidade de luz necessária para uma determinada tarefa visual. Desta forma, pode-se relacionar iluminância com a qualidade visual.

No Brasil a NBR ISO/CIE 8995-1 é a norma técnica que determina a iluminância para ambientes de trabalho internos, relacionando os tipos de atividades e os limites de iluminância, ofuscamento e índice de reprodução de cor.

Matematicamente a iluminância é definida como: "O limite da razão do fluxo luminoso $d\phi$, incidente num elemento de superfície que contém o ponto dado, para a área dA deste elemento, quando esta superfície tende para zero."(COSTA, 2005). A Figura 7 exemplifica graficamente o conceito matemático.

$$E = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta \phi}{\Delta A} = \frac{d\phi}{dA} \quad (4)$$

onde:

E : iluminância em lux [lx];

ϕ : fluxo luminoso em lúmens [lm];

dA : área [m^2].

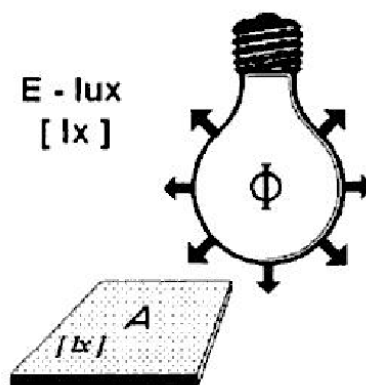
Assim "um lux corresponde à iluminância de uma superfície plana de um metro quadrado de área, sobre a qual incide perpendicularmente um fluxo luminoso de um lúmen."(COSTA, 2005).

Em termos de projeto faz-se referência a 4 tipos de iluminâncias, que também poderão ser consideradas em situações especiais de projeto:

- Horizontal (E_h) calculada ou medida ao nível da superfície.
- Vertical (E_v) calculada a uma altura de 1,5 metros acima da superfície.
- Semicilíndrica (E_{sc}) calculada a uma altura de 1,5 metros acima da superfície.
- Iluminâncias médias (E_{mdia}) são valores obtidos pelo cálculo da média aritmética das leituras realizadas, em plano horizontal, sobre o nível do piso e sob condições estabelecidas.

Importante ressaltar que a iluminância está ligada a um ponto da superfície que independe da posição do observador. Assim, um conceito que a princípio se apresenta de forma simples, passa a mostrar sua complexidade devido a sua subjetividade.

Figura 7 – A iluminância relacionada com a densidade de fluxo



Fonte: COSTA, 2005.

2.6 Luminância

A luminância é um dos conceitos mais abstratos e mais importantes para luminotécnica, pois é através dela que o homem enxerga.

Anteriormente era chamada de brilho, porém a luminância é uma grandeza relacionada com uma excitação visual, logo é uma grandeza qualitativa e não quantitativa como era colocada quando denominada de brilho.

A sensibilidade para definir zonas claras e zonas escuras permite observar com detalhes um objeto, sendo as partes mais sombreadas com menor luminância e as partes mais claras apresentam maior luminância, assim pode-se relacionar esta grandeza com o contraste.

A definição rigorosa para luminância é a "razão da intensidade luminosa dI , incidente num elemento de superfície que contém o ponto dado, para a área dA aparente vista pelo observador quanto esta área tende a zero."(COSTA, 2005).

$$L = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta I}{\Delta A \cos(\alpha)} = \frac{dI}{dA \cos(\alpha)} \quad (5)$$

onde:

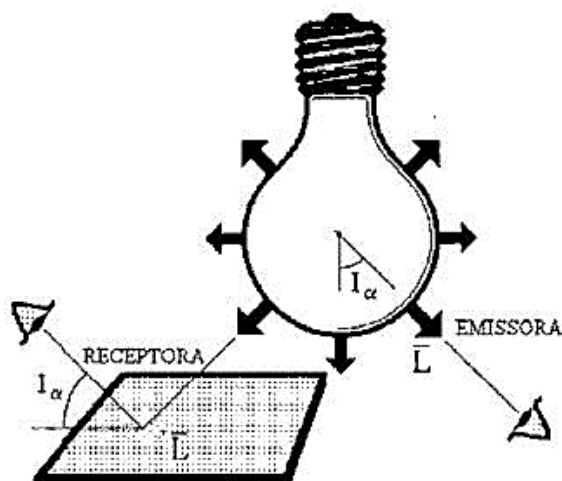
L : luminância em candela por metro quadrado [cd/m^2];

I : intensidade luminosa [cd];

A : área da superfície [m^2];

α : direção do observador [$^\circ$].

Figura 8 – A luminância segundo uma direção e superfície



Fonte: COSTA, 2005.

Em termos de projeto faz-se referência a duas formas de luminâncias, que também poderão ser consideradas em situações especiais de projeto:

- Luminância média (L_{mdia}) é o valor médio da luminância na área delimitada pela malha de pontos consideradas.

- Luminância de velamento (L_v) é um efeito que ocorre quando a luz incide sobre o olho do observador no plano perpendicular à linha de visão. Este valor depende do ângulo entre o centro da fonte de ofuscamento e a linha de visão, bem como da idade do observador (NBR 5101, 2012, p.4).

Para MAMEDE (2011) luminância pode ser entendida como a medida da sensação de claridade provocada por uma fonte de luz ou superfície iluminada avaliada pelo cérebro.

2.7 Ofuscamento

Por conta do excesso de iluminância ocorre um desconforto visual ao espectador, o chamado ofuscamento. No ponto de vista fisiológico, o ofuscamento é uma grande perturbação do poder de adaptação que acontece por superexposição de luz a retina, podendo se distinguir em três formas:

- Ofuscamento relativo: provocado por um excesso contraste nas superfícies iluminadas do campo visual (KROEMER, GRANDJEAN, 2004).
- Ofuscamento absoluto: claridade causado por uma fonte luminosa extremamente alta, onde a adaptação não é possível (a claridade solar quando o sol está no zênite) (Ibid).
- Ofuscamento de adaptação: acontece quando a adaptação para a claridade (quando se saí de um quarto escuro para um iluminado) (Ibid).

O ofuscamento direto pode ser reduzido ou eliminado com vidros difusores ou opacos. A Equação (6) e a Figura 9 definem e exemplificam o conceito do ofuscamento.

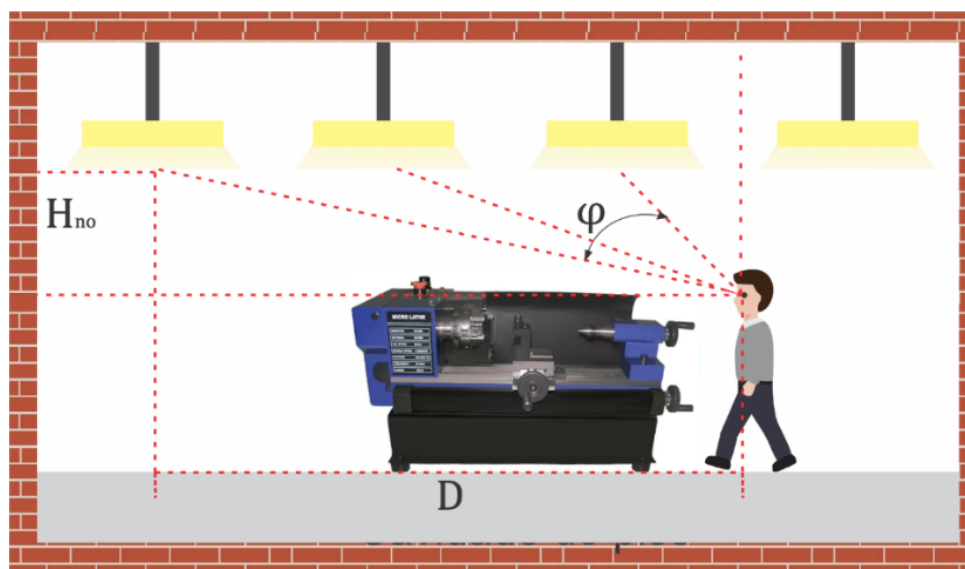
$$tg_{\varphi} = \frac{D}{H_{no}} \quad (6)$$

onde:

tg_{φ} : o ângulo de visão [°];

D : distância horizontal do espectador à fonte luminosa [m];

H_{no} : altura da fonte luminoso ao nível do olho [m].

Figura 9 – Ofuscamento de um operador de máquina

Fonte: MAMEDE, 2012.

MAMEDE (2012) cita que a norma alemã DIN 5035 apresenta 3 classes de ofuscamento, de acordo com a qualidade exigida para o ambiente:

a) Classe C1

Níveis de ofuscamento devem ser ótimos, visto que será usado em ambientes como sala de aulas, museus, máquinas operatrizes de produção de alta velocidade, etc.(MAMEDE, 2011, p.61)

b) Classe C2

Níveis de ofuscamento médios em ambientes com características de fabricação industrial bruta, tais como galvanização, sala de máquinas, oficinas mecânicas e similares.(Ibid)

c) Classe C3

Níveis de ofuscamento desfavoráveis e devem ser evitados em qualquer âmbito de iluminação industrial.(Ibid)

2.8 Temperatura da cor

Ao tocar uma lâmpada incandescente depois de alguns minutos transmitirá tanto calor que poderá causar uma queimadura na mão, já uma lâmpada fluorescente

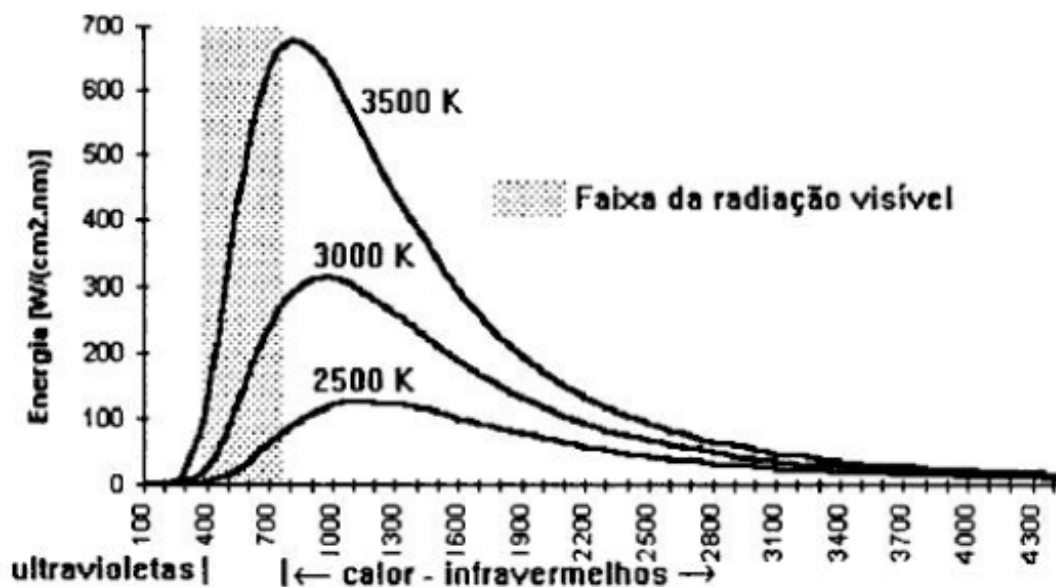
somente transmitirá calor. Essas características não estão ligadas a temperatura da cor.

A temperatura da cor é dada em Kelvin e está relacionada com a aparência da luz, assim lâmpadas com tons amarelados possuem baixa temperatura (abaixo de 3000K). As lâmpadas com tons azulados ou violeta possuem altas temperaturas (superior a 6000K). Quando se fala em luz quente ou fria, não está se referindo ao calor físico da lâmpada, mas sim a tonalidade de cor que ela irradia ao ambiente.

Para determinar se a luz é quente ou fria se faz uma comparação entre a luz emitida pela lâmpada e a luz emitida por um corpo de prova metálico padrão quando aquecido. Assim, um corpo de prova metálico ao ser aquecido passa a comportar-se segundo a lei de Planck e vai adquirindo diferentes colocações na medida que a temperatura aumenta.

A Figura 10 permite observar que quanto maior a temperatura, maior será a energia produzida, assim; a luz está relacionada diretamente a temperatura de trabalho.

Figura 10 – Energia espectral dos radiadores integrais, segundo a lei de Planck



Fonte: COSTA, 2005.

Dentro de um projeto luminotécnico, deve-se levar em conta a temperatura da cor que será irradiada no ambiente. Uma luz mais fria deve ser utilizada em ambientes mais formais e que exijam precisão de tarefas, como fábricas e escritórios. A luz mais quente pode ser aplicada em locais que desejasse criar uma atmosfera mais íntima e

sociável, como restaurantes, bares e mostruários de mercadorias.

2.9 Eficiência luminosa

Está é uma grandeza relativamente fácil de assimilar, pois o conceito de eficiência é extremamente difundido em inúmeras áreas da engenharia. Baseado numa relação de potência de saída pela potência de entrada, correspondente a definição física de rendimento, porém como se trata de iluminação, deve-se calcular o rendimento baseado com a potência luminosa, ou seja; fluxo luminoso.

A eficiência luminosa é a relação entre o fluxo luminoso emitido por uma fonte que produz luminosidade pela potência consumida para produzir aquele fluxo luminoso.

Matematicamente é expresso pela seguinte Equação (7):

$$\eta = \frac{\phi_{emitido}}{P_{consumida}} 100\% \quad (7)$$

onde:

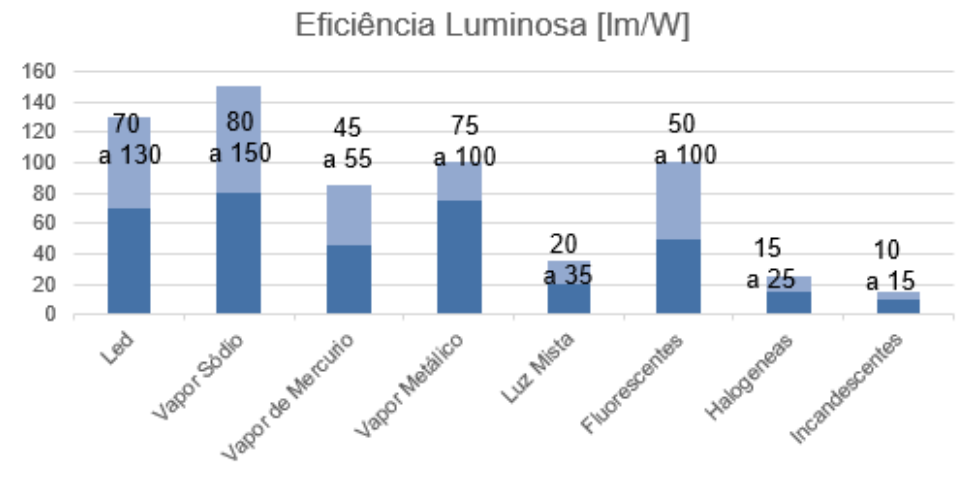
η : rendimento da fonte luminosa [%];

$\phi_{emitido}$: fluxo luminoso emitido [lm];

$P_{consumida}$: potência em watts consumida pela fonte luminosa [W].

A busca por fontes luminosas mais eficazes começa com Edison, provando que a iluminação com energia elétrica era mais eficiente do que a iluminação com combustíveis. A partir daí as pesquisas da área de iluminação se voltaram para fontes que apresentassem uma maior eficiência luminosa. Após a troca do filamento de carbono pelo filamento de tungstênio de espiral duplo nas lâmpadas incandescentes, o surgimento das lâmpadas de descarga e suas diversas famílias, atualmente as lâmpadas LED; demonstram a importância de sistemas mais eficientes, visto que o sistema energético depende de fontes esgotáveis, assim tecnologias com maior rendimento se faz necessário em todas às áreas.

Figura 11 – Representação conceito intensidade luminosa



Fonte: OSRAM, 2017.

3 NORMAS TÉCNICAS E CÁLCULO LUMINOTÉCNICO

Neste capítulo será apresentado as normas técnicas que proporcionam bases e dados aos projetos luminotécnicos. Também será abordado algumas metodologias para cálculo luminotécnico presentes na literatura.

3.1 Iluminação de ambientes de trabalho - ABNT NBR ISO/CIE 8995-1

A NBR ISO/CIE 8995-1, norma brasileira que especifica os requisitos de iluminação para locais de trabalho internos para que as pessoas desempenhem tarefas visuais de maneira eficiente, com conforto e segurança durante todo o período de trabalho. A Norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 especifica os requisitos de iluminação para locais de trabalho interno, conforto visual e segurança. A norma cancela e substitui as normas ABNT NBR 5413 (Iluminância de interiores), com última revisão em 1992 e a ABNT NBR 5382 (Iluminação de ambientes de trabalho), que havia sido inicialmente publicada em 1977.

A Comissão de Estudo CE-03:034.04 (Aplicações Luminotécnicas e Medições Fotométricas) do Comitê Brasileiro de Eletricidade (Cobei) foi a responsável por elaborar essa norma e contou com a participação de diversos profissionais da área de iluminação, como representantes da Abilux, CIE Brasil, Inmetro, empresas projetistas de sistemas de iluminação, fabricantes de equipamentos de iluminação, laboratórios de ensaios e concessionárias de energia elétrica.

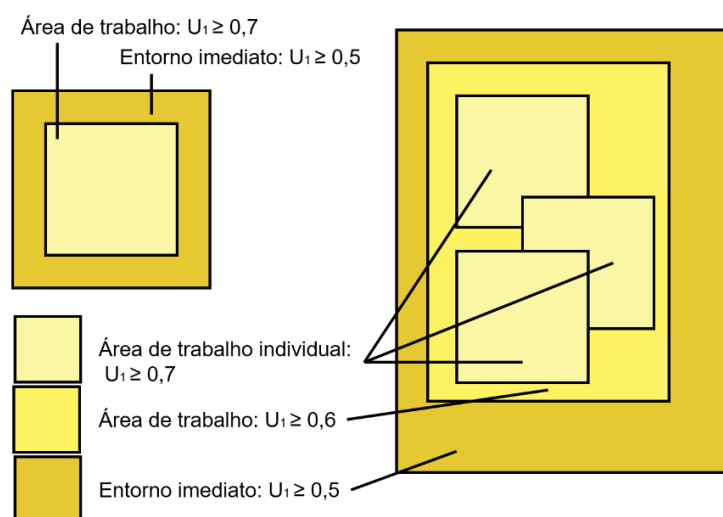
O texto da ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 utiliza os padrões da Norma Internacional ISO/CIE 8995-1: *Lighting of work places – Part 1: Indoor*, elaborada em conjunto com a CIE. Assim a normalização técnica nacional sobre este tema, atende os mesmos requisitos, experiências, boas práticas e lições aprendidas sobre qualidade, segurança, desempenho, confiabilidade e eficiência que são aplicados internacionalmente pelos países que aderem as normas ISO.

Assim, deve-se observar as vantagens e desvantagens da nova norma em relação a antiga NBR 5413:1992. A primeira diferença encontrada refere-se a exclusão do fator idade na nova norma, a antiga norma tinha como variável a idade, velocidade e precisão do trabalho e refletâncias do fundo para escolha da iluminância mínima, média

ou máxima de acordo com a atividade. A nova norma não desconsidera a idade por completo, criando ambientes que possuiriam maior probabilidade de faixa etária, como por exemplo a separação das diversas salas de aula que a norma faz, como mostra a Planejamento dos ambientes (áreas), tarefas e atividades com a especificação da iluminância, limitação de ofuscamento e qualidade da cor contida na: NBR ISO/CIE 8995-1:2013 nas páginas 12-23; assim tem-se salas de aulas convencionais, salas de aula noturna e de ensino adulto, onde a uma variação da iluminância do local.

Outro ponto interessante que a NBR/ISSO CIE 8995-1 aborda é a separação da área de tarefa e a área entorno. Está especificação visa gerar economia dos custos, visto que a área de trabalho deve ser a prioridade, sendo permitido uma iluminância inferior na área de entorno imediato; sendo assim o entorno imediato poderá ter um valor abaixo do usado para a área de trabalho na escala de iluminância apresentada na norma. Deve-se atentar ainda aos limites de uniformidade, sendo que para área de trabalho não deve ser menor que 0,7 e para o entorno imediato não deve ser menor que 0,5 como mostra a Figura 12. Já a NBR 5413 aborda a iluminância de forma mais simples, apontando valores mínimos e máximos a serem utilizados em determinadas situações, somente se preocupando com a iluminância total do recinto.

Figura 12 – Área de tarefa e entorno imediato.



Fonte: NBR ISO/CIE 8995-1, 2013

Outro ponto importante ao analisar a NBR ISO/CIE 8995-1 é a segurança que a iluminação deve trazer para as diversas atividades e situações, garantindo que atividades que demandem alto índice de concentração tenham uma melhor iluminação

com o mínimo de ofuscamento possível. As zonas de transições, como corredores que interligam zonas iluminadas com diferentes níveis de iluminamento, devem proporcionar ao observador a adaptação visual, evitando assim mudanças bruscas na visão causadas por conta da diferença luminosa.

A nova normativa se preocupa com dois aspectos muito importantes que a antiga norma não abordava, que são relacionados ao ofuscamento e com o índice de reprodução de cor.

Ainda sobre o ofuscamento, a norma define o ofuscamento desconfortável, que deve estar dentro dos limites padronizados pela norma. O cálculo do ofuscamento desconfortável é dado pelo método tabular do índice de ofuscamento unificado da CIE (UGR), baseado na Equação (8). Os índices de ofuscamento contidos na tabela de planejamento dos ambientes da NBR ISO/CIE 8995-1:2013 são referentes a razão de 1:1 da relação entre espaçamento e altura, desta forma os das UGR devem ser corrigidos com a Tabela de classificação de ofuscamento corrigido padronizado (UGR), contida na NBR ISO/CIE 8995-1:2013, na página 37; se a instalação tiver relação diferente ou ser composta por tipos de luminárias diferentes.

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

onde:

UGR : índice de ofuscamento unificado CIE;

L_b : luminância de fundo em candela por metro quadrado [cd/m^2];

L : luminância da parte luminosa de cada luminária na direção do olho do observador em candela por metro quadrado [cd/m^2];

p : índice de posição Guth de cada luminária, individualmente relacionado ao ser deslocamento a partir da linha de visão;

ω : ângulo sólido da parte luminosa de cada luminária junto ao olho do observador em esterradianos [sr].

O índice de posição Guth (WONWOO, JEONG, 2010b) é baseado em dois ângulos: α que é o ângulo da vertical do plano que contém a fonte e a linha de visão em graus e β que é ângulo entre a linha de visão e a linha do observador para a fonte.

O índice de posição Guth é expresso matematicamente na Equação (9):

$$p = \exp\left[\left(35.2 - 0.31889\alpha - 1.22e^{-\frac{2\alpha}{9}}\right) 10^{-3}\beta + (21 + 0.26667\alpha - 0.0029663\alpha^2) 10^{-5}\beta^2\right] \quad (9)$$

A temperatura das cores e o índice de reprodução de cor também é uma novidade na NBR ISO/CIE 8995-1, visando abordar a temperatura da cor para os ramos de atividade, como por exemplo para atividades de pintura e controle de qualidade onde a temperatura mínima da cor deve ser 4.000 K. Já o IRC é mais exigido conforme a criticidade da atividade no ambiente interno, como por exemplo uma sala de tarefas industriais sem precisão exige um IRC de 60, uma sala cirúrgica necessita de no mínimo 90 de IRC.

Cálculos relacionados ao fator de manutenção das luminárias, distância entre os pontos de iluminação, Luz natural, iluminação de estações de trabalho com monitores VDT, cintilação e efeito estroboscópico e iluminação de emergência são tópicos abordados na nova norma.

Importante ressaltar que apesar da nova norma trazer inúmeras vantagens, pode-se citar duas desvantagens referentes ao encarecimento dos projetos luminotécnicos, pois em comparação a antiga norma, os níveis de iluminamento aumentaram, sendo assim um número maior de luminárias para atingir os requisitos de iluminamento. Outro ponto que a norma deixou de lado é referente a manutenção da iluminação LED, contemplando somente lâmpadas fluorescentes, fluorescentes compactas e vapor metálico.

3.2 Cálculo luminotécnico

O cálculo luminotécnico é aquele que tem por finalidade expressar uma quantidade n de fontes luminosas, baseado no ambiente e nas características da fonte luminosa.

Uma das primícias do cálculo luminotécnico é determinar a o nível de iluminância, que preferencialmente deve estar de acordo com os limites estabelecidos pela NBR ISO/CIE 8995-1 citada acima. Vale ressaltar que o entendimento das necessidades de iluminação do ambiente será subjetivo ao olhar crítico do projetista, assim determinando

a nível de iluminamento e as fontes luminosas artificiais que atenderão os critérios estabelecidos.

Os cálculos luminotécnicos podem ser subdivididos em duas grandes áreas de aplicação: para ambientes internos e ambientes externos. Primeiramente será tratado os cálculos luminotécnicos para ambientes internos e posteriormente para ambientes externos.

3.2.1 Cálculo luminotécnico para ambientes internos

Um ambiente interno pode ser definido como aquele que está dentro de um prédio, como salas, escritórios, lojas, etc. Esses ambientes estão protegidos por paredes e mesmo com aberturas de janelas é necessário pontos de iluminação artificial para que as tarefas sejam executadas.

Para os ambientes internos MAMEDE (2012) cita algumas metodologias de cálculo, sendo elas:

- Método de lúmens
- Método das cavidades zonais
- Método ponto por ponto

Essas três metodologias abordadas, juntamente com a NBR 5410, que apesar de não ser uma norma de iluminação dá base para que o projetista determine os pontos de iluminação artificial; darão base para determinar quantos pontos de iluminação o ambiente deverá ter. Cada um desses métodos tem suas particularidades que serão abordadas de forma sucinta nesse texto.

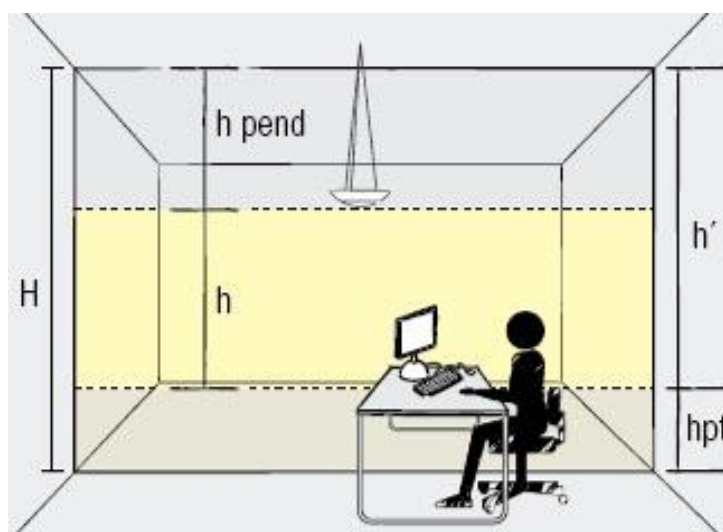
O Método de lúmens talvez seja o mais difundido dos três, pois seu equacionamento e conceitos são muito simples. O projetista determina o iluminamento e os fatores de utilização e depreciação, que são tabelados baseados nas características da luminária e do ambiente. Deve-se calcular também a área do recinto, assim, baseado na Equação (10) e Figura 13 determina-se o fluxo total do ambiente.

$$\Phi_T = \frac{ES}{F_u F_{dl}} \quad (10)$$

onde:

- Φ_T : fluxo total a ser emitido pelas lâmpadas [lm];
 E : iluminamento medido requerido por norma para o ambiente [lux];
 S : área do recinto [m^2];
 F_u : fator de utilização do recinto;
 F_{dt} : fator de depreciação do recinto.

Figura 13 – Exemplificação método de lúmens



Fonte: SAMBAQUI, 2016.

Após calcular o fluxo total, deve-se determinar o tipo de lâmpada e luminária que será utilizada como fonte luminosa artificial. Ao escolher a o conjunto lâmpada/luminária o projetista deve observar o fluxo luminoso desta, que é tabelado pelo fabricante do produto. Assim com a Equação (11) obtém-se a quantidade de luminárias para o ambiente.

$$N_{lu} = \frac{\Phi_T}{N_{la}\Phi_{la}} \quad (11)$$

onde:

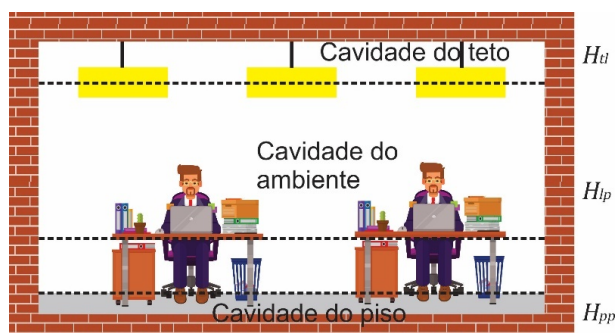
- N_{lu} : quantidade de luminárias para o recinto;
 Φ_T : fluxo total calculado [lm];
 N_{la} : número de lâmpadas por luminária;
 Φ_{la} : fluxo de uma lâmpada em lúmens [lm] prescrito na tabela fornecida pelo fabricante.

O método de lúmens é muito eficaz para ambiente internos pequenos, como cômodos de uma residência, escritórios, comércios de pequeno/médio porte, etc; porém para cálculos de ambientes industriais o método das cavidades zonais é mais apropriado.

O método das cavidades zonais se baseia em diversos critérios para determinar a quantidade de luminária que serão instaladas. O método está baseado em basicamente três cavidades: a cavidade do teto que representa a distância entre a luminária e o teto; do ambiente que representa a distância entre a luminária e o plano de trabalho, esta cavidade representa a altura útil da luminária; e do piso que representa a distância entre o plano de trabalho e o piso como mostra a Figura 14.

Para a determinação do número de luminárias, esse método se utiliza da Equação (10) também, porém a determinação dos fatores de utilização e depreciação são bem mais rigorosos que o do método de lúmens.

Figura 14 – Cavidades zonais



Fonte: MAMEDE, 2011.

Para se obter o valor do fator de depreciação da luminária, deve-se utilizar a Equação (12). Com esta equação é facilmente observável o quão mais criterioso fica o cálculo, que leva em conta possíveis lâmpadas queimadas e a limpeza do ambiente.

$$F_{dl} = F_d F_s F_q F_f \quad (12)$$

onde:

F_{dl} é o fator de depreciação do serviço de iluminação;

F_d é o fator de depreciação da luminária;

F_s é o fator de depreciação das superfícies do ambiente devido à sujeira;

F_q é o fator de redução do fluxo luminoso por queima da lâmpada;

F_f é o fator de depreciação do fluxo luminoso da lâmpada.

O fator de utilização é um valor tabelado que é determinado com base no dados encontrados em tabelas fornecidas pelos fabricantes da refletância efetiva da cavidade do piso (ρ_{cp}), refletância efetiva da cavidade da parede (ρ_{pa}) e a relação da cavidade do recinto que é descrito pela Equação (13)

$$R_{cr} = K \cdot H_{lp} \quad (13)$$

onde:

R_{cr} é a relação da cavidade do recinto;

K é o fator de relação das cavidades;

H_{lp} é a cavidade do recinto.

Desta forma, todos os pré-requisitos para se utilizar a das equações (10) e (11) são alcançados e a determinação do número de luminárias é obtido. Este método em contrapartida do método de lúmens é bem mais trabalhoso, porém ele entrega um resultado mais preciso, fazendo grande diferença em situações que o local necessite de uma quantidade grande de fontes luminosas, como um galpão industrial ou armazém. Desta forma o projetista consegue ter uma melhor eficiência energética e economias no projeto.

O método de ponto por ponto pode ser utilizado para ambientes internos, mas é comumente utilizado em ambientes externos, desta forma ele será apresentado mais detalhadamente na próxima sessão do trabalho.

Pode-se projetar ainda os pontos de iluminação de um ambiente interno se utilizando das normas técnicas que abordam o assunto. Assim, pode-se citar duas normas interessantes a NBR 5410:2008 que trata de instalações elétricas de baixa tensão. Importante salientar que as normas citadas neste tópico, não descartam os métodos já citados.

A NBR 5410:2008 não é uma norma voltada a cálculo luminotécnico, mas sim ao dimensionamento da demanda instalada para instalações elétricas de baixa tensão, assim ela aborda diversos assuntos; sendo um deles o dimensionamento da potência

aparente da iluminação, a própria NBR 5410:2008 cita em nota do tópico 9.5.2.1.2 "que os valores indicados são para efeito de dimensionamento dos circuitos, não havendo qualquer vínculo, portanto, com potência nominal de lâmpadas."(NBR5410, 2008, p.183). Importante citar esse detalhe pois a prática as vezes não reflete a realidade da norma; porém esta norma é mais uma ferramenta na mão do projetista de iluminação.

A NBR 5410 detalha o dimensionamento da iluminação da seguinte forma: "...em cômodos ou dependências com área igual ou inferior a 6 m², deve ser prevista uma carga mínima de 100 VA; em cômodo ou dependências com área superior a 6m², deve ser prevista uma carga mínima de 100 VA para os primeiros 6m², acrescida de 60 VA para cada aumento de 4 m² inteiros."(ibid)

Como a própria Norma menciona, pode-se utilizar como fator determinante no dimensionamento de iluminação a área do cômodo, sendo assim os primeiros 6m² determina 100VA de iluminação e 60 VA para os próximos 4m² inteiros.

Vale lembrar que a norma defini o valor mínimo de potência a ser dimensionada, porém nada impede de acrescentar-se mais 60VA caso não seja atingido os 4m² exigidos pela norma.

3.2.2 Cálculo luminotécnico para ambientes externos

O ambiente externo pode ser entendido como um ambiente que não possui barreiras, possui circulação de ar em todas as direções e não traz sensação de segurança ou conforto; assim pode-se citar como exemplos ruas, vias, praças, parques, pátios,etc.

Os projetos luminotécnicos para ambientes exteriores podem ser subdivididos em áreas como iluminação pública de vias e praças, iluminação decorativa, iluminação esportiva, iluminação de outdoors e demais aplicações. Assim é importante que o projetista estabeleça o dimensionamento apropriado, desta forma os métodos e normas apresentados tem a finalidade de orientar o projetista.

Para os ambientes externos MAMEDE (2011) cita algumas metodologias de cálculo, sendo elas:

- Método de ponto por ponto
- Método do iluminamento por ponto

- Método do iluminamento pelo valor médio

Importante ressaltar que os métodos citados não tem por finalidade definir a quantidade de fontes luminosas, mas sim dimensionar o iluminamento do local, pois a NBR ISO/CIE 8995-1 só trata o iluminamento de ambientes internos. Além dos métodos citados, pode-se utilizar como base para dimensionamento de iluminação artificial as normas técnicas desenvolvidas pelas concessionárias de energia elétrica.

O método ponto por ponto surgiu no final da década de 70 e início dos anos 80, e uma nova geração de *softwares*, como o Lúmen Micro, desenvolvido pela *Lighting Technologies*, sofreu grande influência desse método, que simula com muito mais precisão as propriedades e funções da luz nos ambientes (LANCELLE, 2013).

O método então consiste em calcular o iluminamento médio vertical e horizontal de cada fonte luminosa em um determinado ponto. Assim o método permite determinar em cada ponto de área o iluminamento correspondente à contribuição de todas as fontes luminosas, assim a soma algébrica de todas as contribuições forma o iluminamento naquele ponto. O fluxo luminoso pode atingir o plano de forma horizontal e vertical, assim estabelece-se o iluminamento horizontal e o vertical.

O Iluminamento vertical e horizontal são matematicamente expressos pelas Equações (14) e (15) e ilustrados na Figura (15).

$$E_v = \frac{I \operatorname{sen}^3 \alpha}{D^2} \quad (14)$$

onde:

E_v : iluminamento vertical em lux [*lux*];

I : intensidade do fluxo luminoso [*cd*];

α : ângulo entre uma dada direção do fluxo luminoso e a vertical que passa pelo centro da lâmpada [°];

D : distância entre a luminária e o ponto localizado no plano vertical [*m*].

$$E_h = \frac{I \operatorname{cos}^3 \alpha}{H^2} \quad (15)$$

onde:

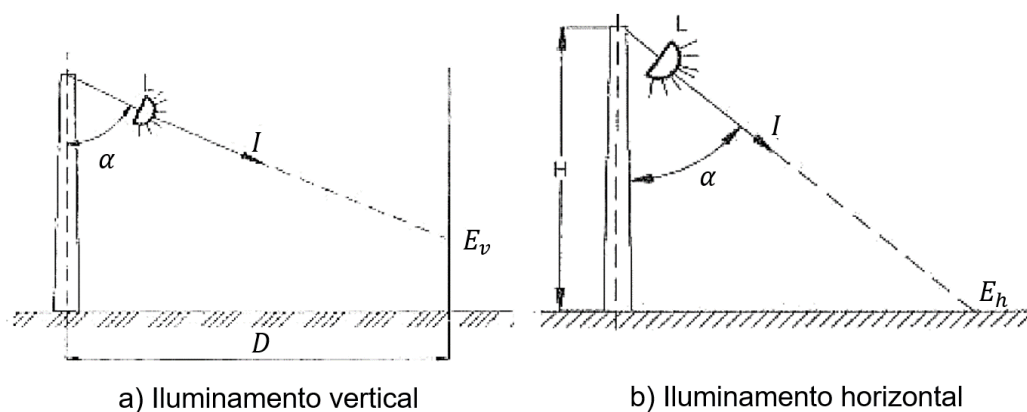
E_h : iluminamento horizontal em lux [*lux*];

I : intensidade do fluxo luminoso [cd];

α : ângulo entre uma dada direção do fluxo luminoso e a vertical que passa pelo centro da lâmpada [$^\circ$];

H : altura vertical da luminária [m].

Figura 15 – Iluminamento vertical e horizontal



Fonte: MAMEDE, 2011.

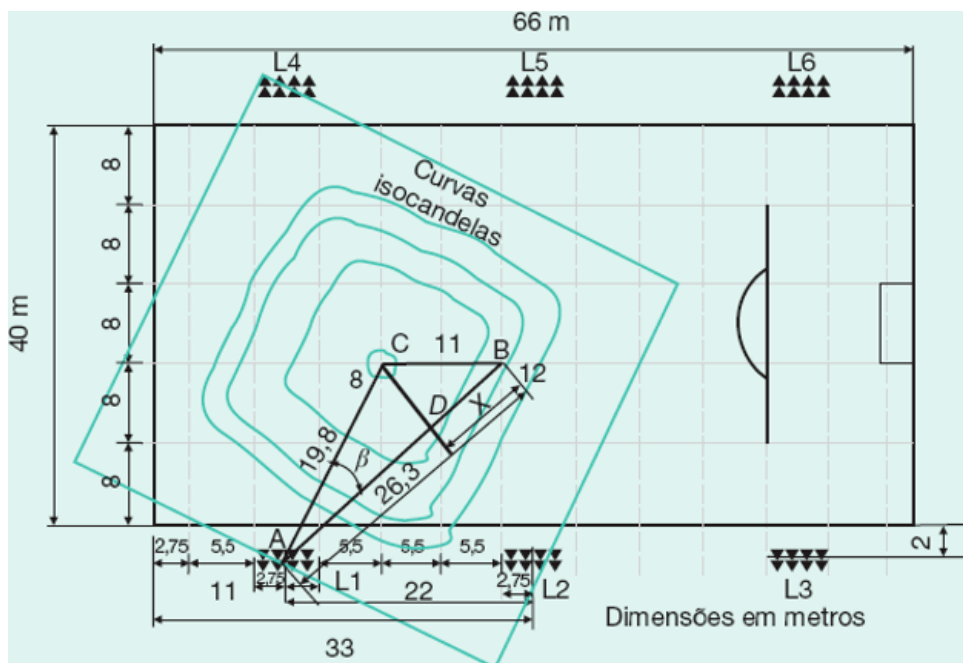
O método do ponto por ponto pode ser muito simples se somente um ponto de luz é levado em consideração, como por exemplo um ponto de luz que ilumina uma obra de arte em uma galeria, porém pode se tornar extremamente exaustivo, não pelos equacionamentos de iluminamento, mas as definições dos ângulos; assim em um refletor com várias lâmpadas o cálculo será extremamente complicado e complexo como mostra a Figura 16.

Após calcular o iluminamento vertical e horizontal dos n pontos de luz, deve-se somar o iluminamento de todos os pontos, obtendo o iluminamento total naquele ponto. Matematicamente expresso pelas Equações (16) e (17).

$$E_{vtotal} = E_{v1} + E_{v2} + E_{v3} + \dots + E_{vn} \quad (16)$$

$$E_{htotal} = E_{h1} + E_{h2} + E_{h3} + \dots + E_{hn} \quad (17)$$

Figura 16 – Exemplo de curva isolux e cálculos geométricos



Fonte: MAMEDE, 2011.

O método de iluminação por ponto é derivado do método ponto por ponto, onde é necessário que o fabricante de luminárias forneça dados de fluxo máximo e diagrama de curva isolux.

O método se baseia na soma do fluxo luminoso de todas as luminárias num determinado ponto para calcular-se o iluminamento no referido ponto. Essas contribuições são determinadas na curva isolux, onde os valores são dados em função dos múltiplos da altura da luminária onde o conjunto de curvas tem como centro um ponto abaixo da luminária representando cada uma delas os pontos que recebem o mesmo fluxo luminoso (MAMEDE, 2011). A Figura (17) é um exemplo da curva isolux.

Assim para determinar o iluminamento num ponto qualquer, utiliza-se a Equação (18), deve-se considerar ainda que a relação entre os valores máximos e mínimos de iluminamento não sejam inferiores a 0,33; sendo denominado como fator de uniformidade de iluminamento.

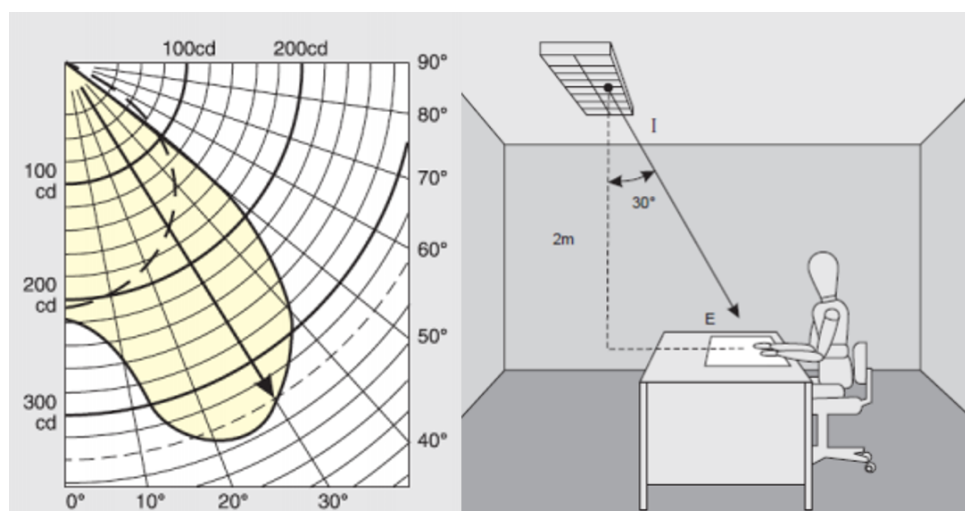
$$E_p = \frac{EK\Phi_1 N}{H^2} \quad (18)$$

onde:

E_p : iluminamento horizontal em lux [lux];

- E : iluminamento percentual no ponto considerado [%];
 K : fator luminária fornecido no diagrama isolux da luminária empregada;
 Φ_1 : fluxo luminoso da lâmpada [lm];
 N : número de lâmpadas/luminárias;
 H : altura de montagem da luminária [m].

Figura 17 – Curva Isolux e aplicação



Fonte: SAMBAQUI , 2016.

O método de iluminamento pelo valor médio busca mensurar o iluminamento médio de uma luminária em uma determinada área de atuação. Método pode ser amplamente utilizado, mas tem-se uma aplicação especial quando se trata de iluminação de calçadas e ruas. Este método é mais rigoroso que o método de iluminamento por ponto, assim obtendo um resultado melhor.

Para determinar o iluminamento médio, utiliza-se a Equação (19):

$$E_m = \frac{F_u \Phi_1 N}{L_p D_l} \quad (19)$$

onde:

- E_m : iluminamento num ponto qualquer em lux [lux];
 F_u : fator de utilização;
 Φ_1 : fluxo luminoso da lâmpada [lm];
 N : número de lâmpadas/luminárias;
 L_p : largura da pista [m];

D_1 : distância entre as luminárias [m].

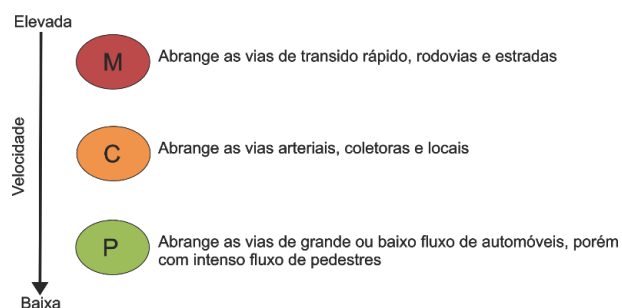
Neste método, o cálculo do fator de utilização aborda vários aspectos geométricos da área iluminada; assim o projetista consegue identificar qual a melhor fonte luminosa para o projeto, conseguindo assim cumprir com os requisitos de eficiência do projeto.

A última forma para cálculo luminotécnico de ambientes exteriores que será abordado, são os textos referência para as normas técnicas de iluminação das concessionárias de energia elétrica.

A iluminação pública pode ser projetada com as metodologias citadas acima, porém devem seguir as recomendações das normas técnicas nacionais (NBR 5101:2012) normas técnicas internacionais (EN 13201 e CIE 115-2010) e as normas internas das concessionárias que definem e estabelecem recomendações relativas a qualidade, classe de iluminação e requisitos para tráfego motorizado para todas as categorias de estradas e zonas a iluminar. Assim os principais objetivos da iluminação pública é determinar parâmetros para visibilidade e segurança do tráfego, provendo benefícios econômicos e sociais para os cidadãos.

A classe de iluminação pode ser definida por requisitos fotométricos que apontam para a necessidade de visibilidade dos utilizadores da iluminação pública. Uma vez que a tarefa visual difere entre os condutores de veículos automotores e pedestres, a série de normas EN 13201 desenvolveu as classes de forma a facilitar a desenvolver os serviços da iluminação pública na União Europeia, apontando uma uniformização e harmonização dos requisitos. A Figura 18 resume as classes e suas aplicações.

Figura 18 – Classes de iluminação existentes segundo a norma EN 13201 adaptadas para NBR 5101:2012



Fonte: Adaptado (EDP, 2016).

No Brasil a NBR 5101:2012 utiliza o mesmo critério, porém apresenta e classifica as classes M, C e P através da classificação da via, como previsto no Código de Trânsito Brasileiro. As vias podem ser urbanas e são definidas como: via de trânsito rápido, via arterial, via coletora e via local; as vias rurais são definidas como: rodovias e estradas. Cada uma das vias definidas pelo Código Brasileiro de trânsito pode ser relacionada com as classes citadas na EN 13201, onde a classe M abrange as vias de trânsito rápido, rodovias e estradas; a classe C abrange as vias arteriais, coletoras e locais; a classe P abrange as vias de grande ou baixo fluxo de automóveis, porém com intenso fluxo de pedestres.

Os requisitos fotométricos para a iluminação pública devem levar em consideração alguns pontos como: função e geometria da estrada, velocidade permitida e volume do tráfego. Assim as zonas de velocidade alta e média são definidas pelo critério da luminância da Tabela 1, já as zonas de conflito e as de baixa velocidade são definidas pelo critério da iluminância nas Tabela 2 e Tabela 3.

Tabela 1 – Requisitos fotométricos para as classes de alta e média velocidade

Classe de Iluminação	Superfície da estrada				TI(%)	SR
	Seca			Molhada		
	Lmedia (cd/m^2)	Uo	UL	Uo		
M1	2,00	0,40	0,70	0,15	10	0,50
M2	1,50	0,40	0,70	0,15	10	0,50
M3	1,00	0,40	0,60	0,15	15	0,50
M4	0,75	0,40	0,60	0,15	15	0,50
M5	0,50	0,35	0,40	0,15	15	0,50
M6	0,30	0,35	0,40	0,15	20	0,50

Fonte: Adaptado (EDP, 2016).

Tabela 2 – Requisitos fotométricos para as classes das zonas de conflito

Classe de Iluminação	Emedia (lx)	Uo (E)	TI (%)	
			Para velocidades altas e moderadas	Para velocidades baixas e muito baixas
C0	50,0	0,40	10	15
C1	30,0	0,40	10	15
C2	20,0	0,40	10	15
C3	15,0	0,40	15	20
C4	10,0	0,40	15	20
C5	7,5	0,40	15	25

Fonte: Adaptado (EDP, 2016).

Tabela 3 – Requisitos fotométricos para as classes de baixa velocidade

Classe de Iluminação	E _{media} (lx)	E _{minimo} (lx)	Requisitos adicionais caso o reconhecimento facial seja necessário	
			$E_{vertical-minima}(lx)$	$E_{semi-cilindrica-minima}(lx)$
P1	15,0	3,0	5,0	3,0
P2	10,0	2,0	3,0	2,0
P3	7,5	1,5	2,5	1,5
P4	5,0	1,0	1,5	1,0
P5	3,0	0,6	1,0	0,6
P6	2,0	0,4	0,6	0,4

Fonte: Adaptado (EDP, 2016).

onde:

L_{media} : luminância média;

U_o : uniformidade global;

U_L : uniformidade longitudinal;

TI : incremento linear.

Assim o projetista deve levar em conta os requisitos fotométricos, ângulos das luminárias e a disposição dos postes quando este se depara com um projeto de iluminação pública. A NBR 5101:2012 recomenda que os suportes de fixação das luminárias (braços e núcleos) não tenham ângulos superiores a 10°. A Tabela 4 apresenta os valores de espaçamento/altura útil mais utilizados nos projetos de iluminação pública.

Tabela 4 – Tipos de topologias de redes de iluminação pública

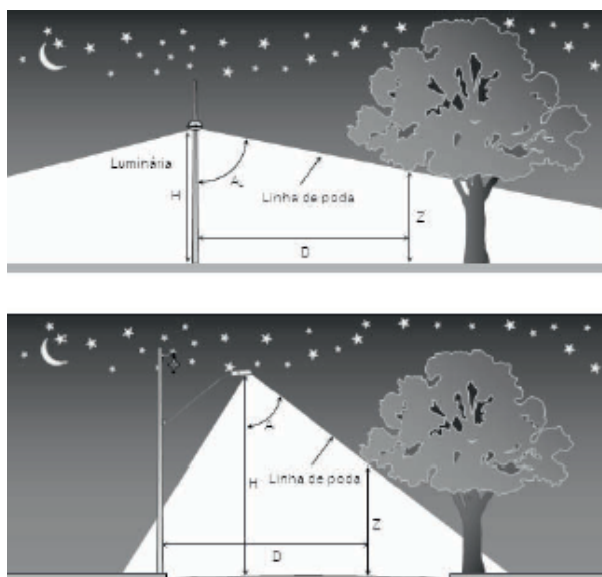
Espaçamento	Altura útil	
	Rede aérea BT	Rede subterrânea
40 metros	8 metros	12 metros
35 metros	8/7 metros	10 metros
25 metros	6 metros	8 metros
18 metros	-	4 metros

Fonte: Adaptado (EDP, 2016).

Comumente são encontradas árvores nas calçadas próximo as vias de circulação. Nesses casos a NBR 5101 traz considerações referentes a compatibilidade da iluminação e a arborização. A Figura 19 exemplifica a Equação (20), onde se considera

os "ângulos de máxima incidência de luz das luminárias nos sentidos longitudinal e transversal à via, a sua altura de montagem e a distância da árvore"(NBR 5101, 2012). Assim a Equação (20) define o cálculo para desobstrução da iluminação em árvores no sentido longitudinal e transversal da via.

Figura 19 – Método de cálculo de compatibilidade com a arborização



Fonte: NBR 5101, 2012.

$$Z = H - (A * D) \quad (20)$$

onde:

Z : altura mínima de um galho;

H : altura de montagem da luminária; A_L é igual a cotangente de 75° (ângulo de máxima incidência de luz para o sentido longitudinal);

A_T : cotangente de 60° (ângulo de máxima incidência de luz para o sentido transversal);

D : distância mínima do galho de menor altura.

Os fatores de manutenção na iluminação pública devem ser levados em consideração pois este sistema de iluminação fica exposto a todo tipo de intempere, assim deteriorando os componentes. Acumulação de sujeira, diminuição do fluxo luminoso, fontes de luz avariadas e vida útil chegando são fatores determinantes para o desempe-

nho do sistema. Desta forma é importante que na fase de projeto seja levado em conta os processos de manutenção, sendo a ferramenta o cálculo do fator de manutenção.

Dentro do sistema de iluminação pública existem diversos fatores de depreciação que reduzem os níveis de iluminação. Através do cálculo do fator de manutenção, dado pela Equação (21) e com o calendário da manutenção é possível prever as variações nos níveis de iluminância/luminância ao longo do tempo.

$$FM = FMLL * FSL * FML \quad (21)$$

onde:

FM: fator de utilização;

FMLL: fator de manutenção do fluxo luminoso contido na Tabela 5;

FSL: fator de sobrevivência da lâmpada contido na Tabela 6;

FML: fator de manutenção da luminária fornecido pelo fabricante.

Tabela 5 – Valores do FMLL

Fonte Luminosa	Número de horas de funcionamento (milhoras)				
	4	6	8	10	12
Vapor de sódio de alta pressão	0,98	0,97	0,94	0,91	0,90
Iodetos metálicos	0,82	0,78	0,76	0,74	0,73
LED	-	-	-	-	0,95

Fonte: Adaptado (EDP, 2016).

Tabela 6 – Valores do FSL

Fonte Luminosa	Número de horas de funcionamento (milhoras)				
	4	6	8	10	12
Vapor de sódio de alta pressão	0,98	0,96	0,94	0,92	0,89
Iodetos metálicos	0,98	0,97	0,94	0,92	0,88
LED	-	-	-	-	0,95

Fonte: Adaptado (EDP, 2016).

Desta forma, pode-se utilizar o seguinte esquemático para determinar um projeto de iluminação pública voltado para vias de circulação.

1. Definir as classes dos vários locais;
2. Caracterizar as estradas e seu fator peso;
3. Calcular o índice da classe;
4. Determinação das variáveis fotométricas pelo método da luminância ou iluminância;
5. Caracterização luminotécnica das vias;
6. Definir dos aparelhos que serão utilizados;
7. Definir dos espaçamentos e altura dos postes a ser instalados.

4 METODOLOGIA DO ALGORITMO E RESULTADOS

Após compreender as bases dos cálculos luminotécnicos, será apresentado como foi realizado a implementação da interface gráfica no Matlab.

O Matlab é um *software* interativo de alta performance para cálculo numérico. Suas aplicações são extensas, como processamento de sinais, cálculo matricial, construção de gráficos, etc. Uma das ferramentas do Matlab é a GUIDE, que é uma interface gráfica permite a interação do usuário do computador com um programa por meio de elementos gráficos como botões e menus.

O ambiente GUIDE permite a criação manual de uma interface gráfica do utilizador (GUI – *Graphical User Interface*) de forma rápida e fácil. A comunicação entre as ações realizadas pelo usuário sobre os elementos gráficos e a resposta do programa se dá por meio do paradigma da programação orientada a eventos (CHAPMAN, 2009).

Antes da utilização da GUI, o programador deve se atentar as funcionalidades que serão executadas, os componentes que permitirão realizar as tarefas, prever as ações de acerto e erro do usuário e a organização do *layout*. Após projetar a interface, deve-se decidir qual técnica será utilizada para criá-la. No MATLAB é possível criar uma interface de duas formas: Utilizando o ambiente interativo GUIDE, ou fazendo programaticamente, apenas através de código de programação. Para este trabalho, foi escolhido a utilização do GUIDE, pois torna o trabalho muito mais simples e intuitivo.

É possível elaborar o *layout* de uma GUI, atribuindo e modificando as propriedades dos componentes gráficos. Um arquivo de código MATLAB pode ser automaticamente gerado com as funções *callback* para programar o comportamento destes componentes, de acordo com as ações do usuário. A Figura 20 mostra a tela de interação entre o *software* e o programador.

Após compreender como a GUIDE funciona, foi feito o *layout* da interface gráfica. A interface gráfica conta com uma tela inicial onde o usuário pode escolher qual método ele irá utilizar. Basicamente está GUI inicial direciona a GUI de cálculo. Nesta parte também é possível que o usuário consultar um tutorial de utilização da interface e as normas técnicas NBR ISO-CIE 8995:2013, NBR 5410:2008 e NBR 5110:2012.

Figura 20 – Área inicial de trabalho em GUIDE

Fonte: print screen GUIDE no sistema operacional Windows 10.

Figura 21 – Tela inicial da interface gráfica

Fonte: print screen GUIDE no sistema operacional Windows 10.

Na área de trabalho apresentada na Figura 21, o usuário poderá navegar nos quatro métodos para ambientes interiores e quatro métodos para ambientes exteriores. Será tratado agora cada um desses métodos, explicando a lógica computacional que foi implementada.

4.1 Método de lúmens

O método de lúmens como abordado na sessão 3.3.2 do trabalho, consiste em identificar as características do recinto e calculá-las com base nas tabelas fornecidas pelos fabricantes. A Figura 22 mostra a área de interação do usuário para utilizar esse método.

Primeiramente o usuário entra com os dados de comprimento, largura e pé direito e calcula o índice do recinto K . Com o índice de recinto calculado o usuário se utiliza da tabela luminotécnica fornecida em formato do *software* Excel na aba de fator de utilização como mostra a Figura 23. Neste mesmo arquivo em Excel o usuário obtém valores de fator de depreciação, fluxo luminoso da lâmpada e as características da luminária, como potência e aplicação.

Figura 22 – Método de lúmens da interface gráfica

LABSIEE
Laboratório de Segurança Iluminação e Eficiência Energética
UTFPR - Universidade Tecnológica Federal
Campus Cornélio Procopio

Dados

Comprimento (m)

Largura (m)

Pé Direito (m)

Índice do Recinto (K)

Iluminamento (lux)

Potência da Lâmpada (W)

Fluxo da Lâmpada

Fator de utilização

Fator de depreciação

Número de lâmpadas

Calcular (K)

Resultados

Número de Luminárias:

Calcular

Resetar

Tabelas luminotécnicas

NBR ISO/CIE 8995

Tutorial

Voltar

Fonte: print screen GUIDE no sistema operacional Windows 10.

Figura 23 – Tabela luminotécnica para método lúmens

Fator de Área K	80		70		50		30		0		Características
	50	10	50	10	50	10	50	10	50	10	
0.60	0.46	0.44	0.45	0.44	0.43	0.36	0.35	0.31	0.34	0.30	Linha modular para iluminação de grandes áreas internas, garantindo uma iluminação tridimensional com excelente nível de iluminação nos planos verticais e horizontais. Lâmpadas HPI 250W - BU ou HPI 400W - BU. Equipamento auxiliar é necessário.
0.80	0.56	0.53	0.54	0.53	0.51	0.45	0.43	0.39	0.42	0.38	
1.00	0.64	0.60	0.62	0.60	0.58	0.52	0.50	0.46	0.48	0.44	
1.25	0.72	0.66	0.69	0.66	0.64	0.59	0.56	0.52	0.54	0.50	
1.50	0.77	0.70	0.74	0.71	0.68	0.63	0.60	0.57	0.58	0.55	
2.00	0.85	0.76	0.82	0.78	0.74	0.70	0.67	0.64	0.64	0.61	
2.50	0.91	0.80	0.87	0.82	0.78	0.74	0.70	0.68	0.67	0.65	
3.00	0.94	0.82	0.90	0.85	0.80	0.77	0.73	0.71	0.70	0.68	
4.00	0.99	0.85	0.94	0.88	0.83	0.80	0.76	0.74	0.72	0.71	
5.00	1.02	0.87	0.97	0.90	0.85	0.82	0.78	0.76	0.74	0.72	

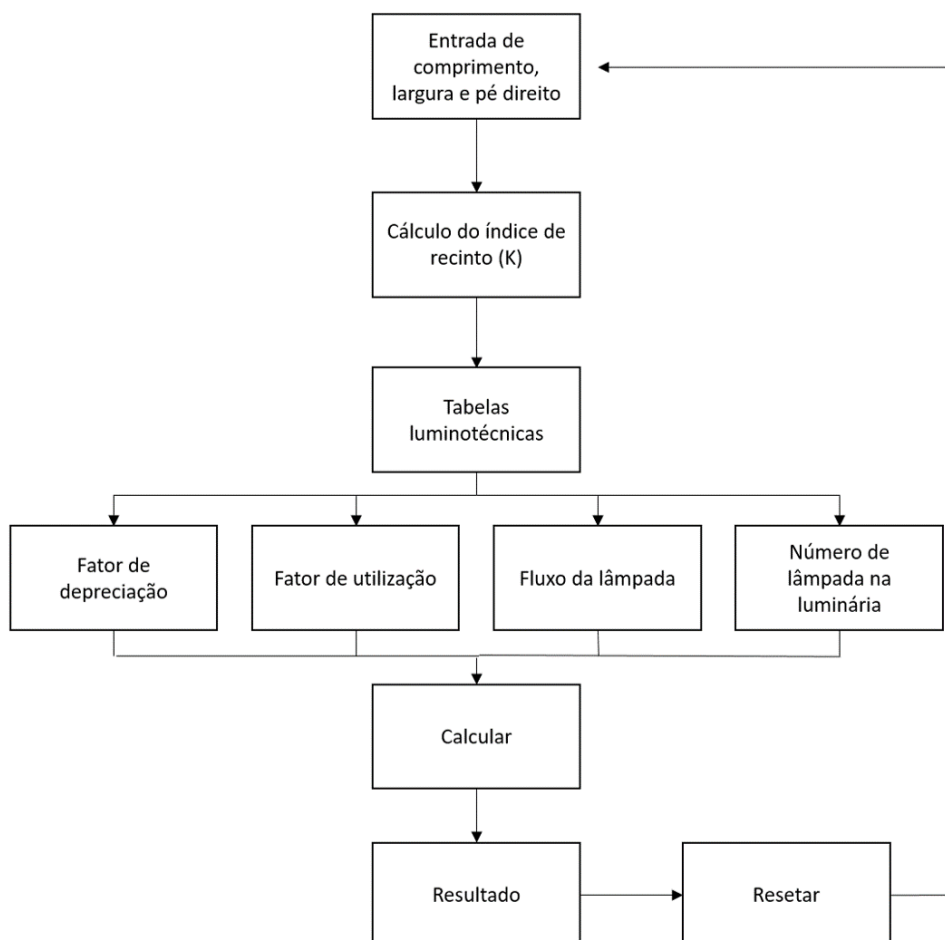
Fator de utilização interpolado (FUCal)	#DIV/0!	K_{sup}	FU_{sup}	Interpolação	$FUCal = FU_{sup} \frac{(K_{sup} - K_{cal})(FU_{sup} - FU_{inf})}{(K_{sup} - K_{inf})}$
		K_{inf}	FU_{inf}		
		K_{cal}	$FUCal$		

Fonte: print screen Excel no sistema operacional Windows 10.

Com a NBR ISO/CIE 8995 pode-se consultar o iluminamento ideal para o ambiente. Após todos os dados estarem em seu devido local, o usuário pressiona o botão "calcular" e a interface gráfica realiza o cálculo arredondado do número de luminárias para o local. Caso o usuário queira utilizar novamente a interface ele pode pressionar o botão "resetar" que todos os valores anteriores serão apagados e a memória será limpa, evitando erros no próximo cálculo.

Caso o usuário entre com um dado inválido, e entende-se como dado inválido caracteres não numéricos, a interface responde com uma mensagem de "erro" e específica em qual entrada o usuário digitou errado.

O diagrama de blocos da Figura 24 exemplifica a lógica usada para implementação deste método.

Figura 24 – Diagrama de blocos para lógica computacional do método de lúmens

Fonte: Autoria própria.

4.2 Método das cavidades zonais

Assim como o método de lúmens, o método das cavidades zonais é abordado em sua parte teórica na sessão 3.3.2 e como explicado anteriormente, este método é bem rigoroso nos cálculos sendo necessário o cálculo de diversos fatores prévios para se determinar o número de luminárias. A Figura 25 mostra a área de interação do usuário para utilizar esse método.

Neste método o usuário irá entrar com o comprimento e largura do recinto e calcular o índice do recinto K . Após esse cálculo, o usuário deverá entrar com as alturas de plano do teto, luminárias e piso para que seja calculado as relações de cavidade do teto, recinto e piso.

O fator de utilização também é obtido nas tabelas luminotécnicas, sendo esse

um valor determinado atrás da determinação das refletâncias do teto e paredes, e da relação da cavidade do recinto. Com o fator de utilização a interface gráfica calcula a correção do fato de utilização, que nada mais é que a multiplicação do fator de utilização por 1.04.

Figura 25 – Método das cavidades zonais da interface gráfica

The screenshot shows the LABSIE software interface. At the top, it identifies the 'Laboratório de Segurança Iluminação e Eficiência Energética' at 'UTFPR - Universidade Tecnológica Federal, Campus Cornélio Procopio'. The interface is organized into two main columns: 'Dados' (Data) and 'Resultados' (Results). The 'Dados' column contains multiple input fields for various parameters such as room dimensions (Comprimento, Largura, Índice do Recinto), reflectance values (Refletância das paredes, do piso, do teto), lamp characteristics (Fator de redução por queima, Fator devido à sujeira, Tempo de troca de lâmpada, etc.), and correction factors. Each input field is accompanied by a small 'Calcular' button. The 'Resultados' column features a large empty box for the 'Número de Luminárias' (Number of Luminaires) and several control buttons: 'Calcular', 'Resetar', 'Tabelas luminotécnicas', and 'Tutorial'. At the bottom, there are references to standards 'NBR ISO/IEC 8995' and 'NBR 8995'.

Fonte: print screen GUIDE no sistema operacional Windows 10.

Neste momento o usuário deverá entrar com dados que darão base para o cálculo do fator de depreciação do serviço de iluminação (F_{dl}). O primeiro dado de entrada é o de fator de depreciação do serviço da luminária (F_d) que é baseado em cima da categoria da lâmpada, limpeza do ambiente e período de manutenção da luminária. O próximo valor de entrada será o fator de depreciação do ambiente devido à sujeira (F_s) que é obtido através das tabelas luminotécnicas e da cavidade do recinto, sendo a distribuição das lâmpadas levada em conta para determinar esse fator.

Os dados de Tempo de troca de lâmpadas, Tempo de vida útil da lâmpada, Lâmpadas queimadas no fim da vida útil; são dados que dão base para o cálculo do fator de redução de fluxo por queima de lâmpada (F_q), sendo os dados utilizados para esse cálculo obtidos com o fabricante do produto.

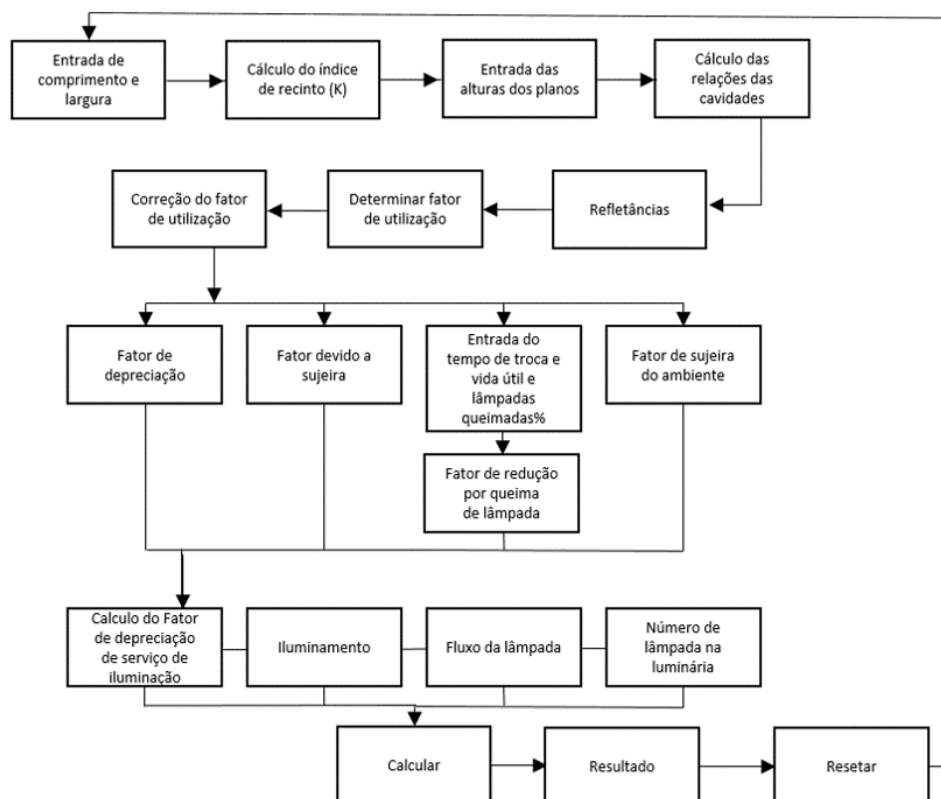
O próximo dado de entrada é o fator de depreciação do fluxo luminoso da lâmpada que pode ser encontrado também nas tabelas luminotécnicas, sendo esse valor um decréscimo do fluxo luminoso das lâmpadas pela vida útil das lâmpadas. Com

os todos os fatores de depreciação devidamente calculados e em seus respectivos locais de entrada, o usuário pode finalmente calcular o fator de depreciação do serviço de iluminação (F_{dl}).

Após está etapa, o usuária entrará com o iluminamento, fluxo da lâmpada e a quantidade de lâmpadas por luminária. Com todos os requisitos devidamente preenchidos o usuário pode calcular a quantidade de luminárias para o ambiente.

Assim como o método de lúmens este método aponta ao usuário quando este entra com um valor errado para o cálculo, como valores nulos, negativos ou não numéricos. O diagrama de blocos da Figura 26 ajuda a entender o processo de lógica do algoritmo.

Figura 26 – Diagrama de blocos para lógica computacional do método das cavidades zonais



Fonte: Autoria própria.

4.3 NBR 5410

O cálculo da NBR 5410 diferentemente dos métodos anteriores não é um método luminotécnico, mas sim de previsão de cargas. Aqui a interface foi incrementado

com a previsão das cargas de tomadas de uso geral e a previsão de carga total do ambiente. A Figura 27 mostra a tela de interatividade usuário e interface.

Assim o usuário entra com o modelo da luminária, Potência da lâmpada, fator de potência (se a lâmpada não tiver reator, deve-se usar 1), área do recinto e perímetro e a carga das tomadas de uso específico.

Figura 27 – Cálculo para NBR 5410 da interface gráfica

The screenshot shows the LABSIEE software interface. At the top, it displays the logo 'LABSIEE' and the text 'Laboratório de Segurança Iluminação e Eficiência Energética', 'UTFPR - Universidade Tecnológica Federal', and 'Campus Cornélio Procopio'. The interface is divided into several sections: 1. Input fields: 'Modelo Luminária', 'Potência (W)', 'Fator de Potência', 'Área do recinto (m²)', 'Perímetro do Recinto (m)', and 'Carga TUE's (VA)'. 2. Room selection: A 'Cômodos' section with radio buttons for 'Cozinha ou Copa' (selected), 'Área de Serviço', 'Banheiro', 'Sala ou Quarto', and 'Demais cômodos'. 3. Output fields: 'Previsão de carga da iluminação (VA)', 'Previsão de carga das TUG's (VA)', 'Quantidade de TUG's', and 'Previsão de carga TOTAL (VA)'. 4. Navigation and settings: 'Tabelas luminotécnicas' with a 'Tabelas' button, 'NBR ISO/IE 8995' with 'Norma Iluminamento', 'NBR 5410' with 'Norma para baixa tensão', 'Calcular', 'Resetar', 'Tutorial', and 'Voltar' buttons.

Fonte: print screen GUIDE no sistema operacional Windows 10.

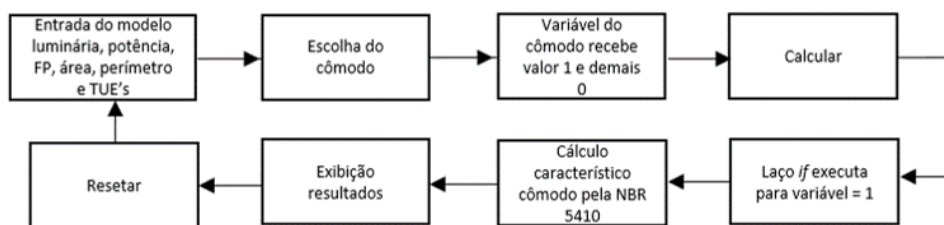
Após a entrada desses dados o usuário determinará qual tipo de cômodo será calculado. Baseado na norma, onde cada cômodo possui características distintas para quantidade mínima de tomadas e carga de iluminação baseadas no perímetro e área do cômodo.

A parte lógica por trás desse código além do usual dos métodos anteriores, onde há uma entrada de valor e um cálculo; usou-se um objeto da GUIDE do Matlab o *radio button*. Quando o usuário escolhe um dos *radio buttons* é atribuído um valor lógico a uma variável. Quando o usuário pressiona "Calcular", o código passa por um laço *if* que somente executa o cálculo que recebe a variável que teve valor atribuída com valor lógico. O laço *if* tem por sua vez o cálculo baseado na NBR 5410 de cada cômodo, assim é apresentado os valores de previsão de carga de iluminação, previsão de carga e a quantidade das tomadas de uso geral e a previsão de carga total do cômodo. Com esse último dado o projetista além de ter mais uma ferramenta para

projetar a iluminação, poderá determinar a bitola do condutor.

O diagrama de blocos da Figura 28 interpreta a lógica desta interface.

Figura 28 – Diagrama de blocos para lógica computacional da NBR 5410



Fonte: Autoria própria.

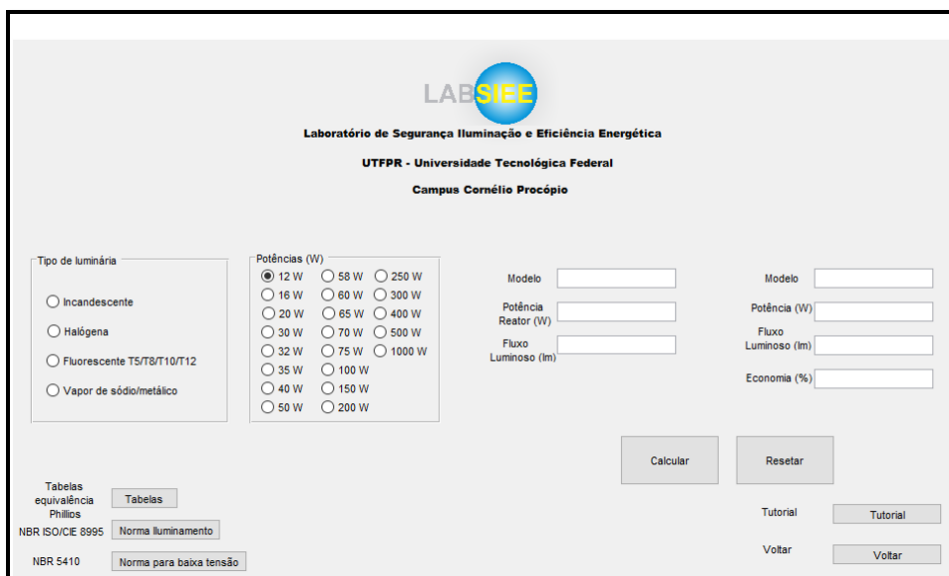
4.4 Equivalência de lâmpada LED

Esta sessão da interface gráfica tem finalidade diferente das demais, sendo sua finalidade apresentar uma lâmpada LED equivalente a uma lâmpada de qualquer outro tipo e apresentar sua economia.

Aqui o usuário primeiramente determina qual tipo de lâmpada será substituída e posteriormente escolherá qual a potência dessa lâmpada. Aqui existe a mesma lógica do método da NBR 5410, onde ao escolher um tipo de lâmpada o usuário atribui valor lógico há uma variável. Assim o laço *if* executa a variável que recebe esse valor lógico e apresenta para o usuário as potências comerciais para a lâmpada que ele escolheu. Novamente está lógica ocorre ao escolher uma determinada potência, onde é atribuído um valor lógico a outra variável para que um segundo laço *if* execute a resposta baseado nessa segunda informação.

A ultima parte se dá com o usuário entrando com o modelo da lâmpada que será substituída, potência do reator da lâmpada e fluxo luminoso. Após a entrada desses valores será apresentado um modelo LED compatível, sua potência, seu fluxo luminoso e a economia que haverá com a instalação da lâmpada LED. A Figura 29 apresenta a interface gráfica para troca de lâmpadas LED.

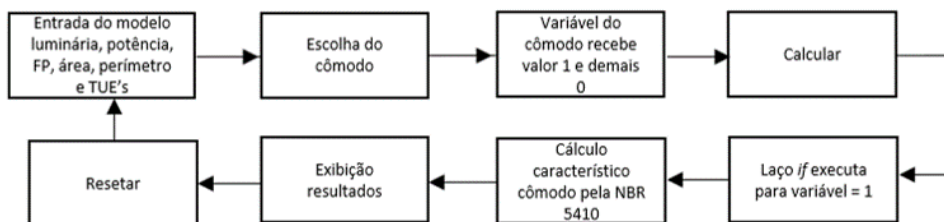
Figura 29 – Equivalência de lâmpada LED da interface gráfica



Fonte: print screen GUIDE no sistema operacional Windows 10.

Os modelos e dados apresentados no foram retirados do catálogo de substituição LED Philips, que pode ser consultado em sua totalidade na interface. O diagrama de blocos da Figura 30 ilustra a lógica da interface de substituição LED.

Figura 30 – Diagrama de blocos para lógica computacional da equivalência de lâmpada LED



Fonte: Autoria própria.

4.5 Ponto por ponto

O método de iluminação de ponto por ponto como citado nas sessões 3.2.1 e 3.2.2, pode ser utilizado tanto para ambientes internos e externos. Na ferramenta desenvolvida neste trabalho, este método está classificado como método para cálculo luminotécnico para ambientes externos, mas nada impede de ser utilizada para ambientes internos.

Nesta interface o usuário entrará com a quantidade de pontos de luz que iluminam determinado ponto, a intensidade luminosa do primeiro ponto de luz, o ângulo de entre uma dada direção do fluxo luminoso e a vertical ou horizontal que passa pelo centro da lâmpada do primeiro ponto de luz e a distância ou altura das luminárias do primeiro ponto de luz.

Após entrar com os valores o usuário pressiona o botão "Calcular", será apresentado o valor o iluminamento do primeiro ponto de luz e o valor total do iluminamento, que será igual do iluminamento do primeiro ponto de luz. Posteriormente o usuário entrará com novos dados referentes ao segundo ponto de luz; refazendo esse passo até que atinja a quantidade dos n pontos de luzes. Feito n cálculos o usuário toma como base o valor total do iluminamento, que será a soma dos n cálculos anteriores. A Figura 31 mostra como o usuário interage com a interface.

Para que a interface faça corretamente o cálculo e apresente o valor atual e a soma do valor atual e o passado, foi necessário criar variáveis globias, assim essas são válidas em toda a extensão do código. Cada cálculo é devidamente indexado a um local específico de um vetor, que é salvo em outro arquivo do Matlab, para que não aja valores indesejados no vetor. O tamanho do vetor é definido pela quantidade de pontos de luzes, assim quando tem todos os seus espaços preenchidos o cálculo é finalizado.

Figura 31 – Método de ponto por ponto da interface gráfica

The screenshot shows a software interface for calculating illuminance. At the top center is the logo for LABSIEE (Laboratório de Segurança Iluminação e Eficiência Energética) at UTFPR - Universidade Tecnológica Federal, Campus Cornélio Procopio. The interface is split into two columns: 'Iluminamento Vertical' on the left and 'Iluminamento Horizontal' on the right. Each column has input fields for 'n' (quantidade de pontos de luz), 'I (cd)' (Intensidade Luminosa), and an angle (α°). The vertical section also has a 'D (m)' field (distância entre a luminária e o ponto vertical), while the horizontal section has an 'H (m)' field (Altura vertical da lâmpada). Both sections have 'Calcular' and 'Resetar' buttons. Below the input fields, there are output fields for 'Ev (lux)' (Iluminamento vertical de um ponto) and 'Ev_total' (Iluminamento vertical de todos os pontos) for the vertical section, and 'Eh (lux)' (Iluminamento vertical de um ponto) and 'Eh_total' (Iluminamento vertical de todos os pontos) for the horizontal section. At the bottom, there are navigation buttons: 'Tutorial', 'NBR ISO/IEC 8995', 'Norma Iluminamento', 'Tabelas luminotécnicas', and 'Voltar'.

Fonte: print screen GUIDE no sistema operacional Windows 10.

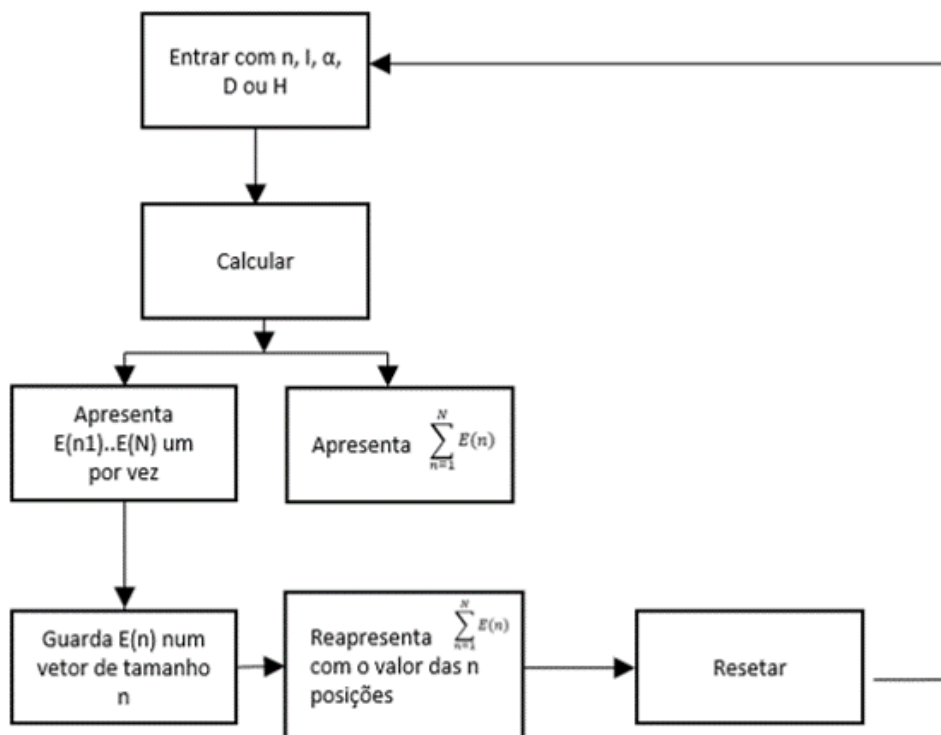
O algoritmo a seguir mostra como foi implementado a ideia descrita acima, para esse caso peculiar da interface gráfica.

```
1 % --- Executes on button press in pushbutton1.
2 function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
3 my_gui_data=guidata(gcf);
4
5 % Incrementa "Yes" countador
6 my_gui_data.yes_cnt=my_gui_data.yes_cnt+1;
7
8 guidata(gcf,my_gui_data);
9 a1=get(handles.edit1,'String');
10 a2=get(handles.edit2,'String');
11 a3=get(handles.edit3,'String');
12 a4=get(handles.edit4,'String');
13
14 global Evt
15 global i
16 i=my_gui_data.yes_cnt
17 global n_v
18 n_v= str2num(a1);
19 I_v(i)= str2num(a2);
20 alfa_v(i)= degtorad(str2num(a3));
21 D(i)= str2num(a4);
22 global Ev
23 Ev(i) = (I_v(i))*(sin(alfa_v(i))^3)/((D(i))^2)
24 set(handles.edit5, 'String', Ev(i));
25 Evt = sum(Ev)
26 set(handles.edit6, 'String', Evt);
27
28 function saveState(handles)
29 if get (hObject, 'Value' );
30 Evt = zeros(1,n_v)
31 Evt(i) = guidata(Ev(i))
32 end
33 save ('Evt.mat','Evt')
```

O diagrama de blocos da Figura 32 ajuda a compreender a lógica computacional

empregada.

Figura 32 – Diagrama de blocos para lógica computacional do método de ponto por ponto



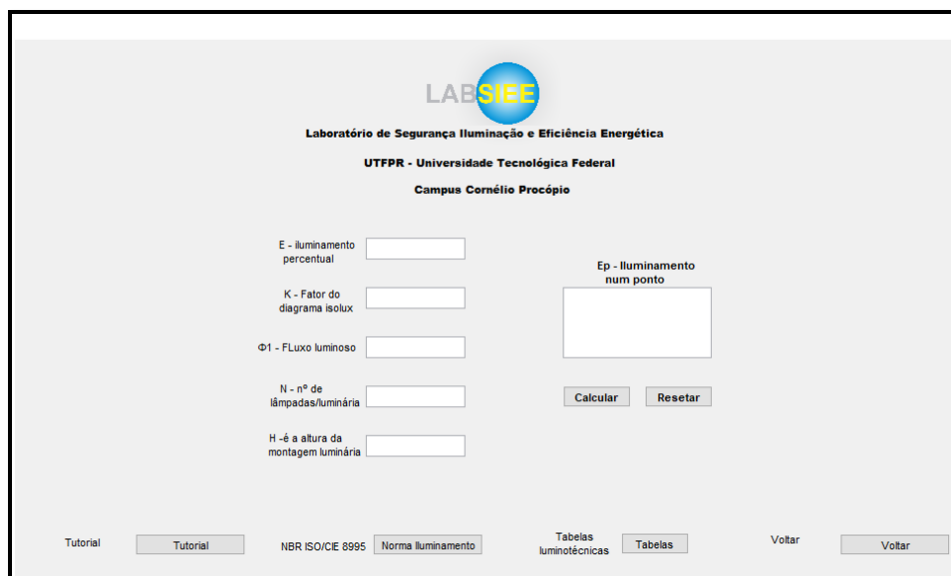
Fonte: Autoria própria.

4.6 Iluminamento por ponto

O método de iluminamento por ponto é o de mais simples implementação dos métodos já realizados. Aqui o usuário entra com os dados do iluminamento percentual, fator do diagrama isolux, fluxo luminoso, número de lâmpadas/luminárias e a altura da montagem da luminária.

Com os dados de entrada, ao pressionar "Calcular" a interface faz o cálculo da Equação (18) e apresenta o valor de iluminamento no ponto.

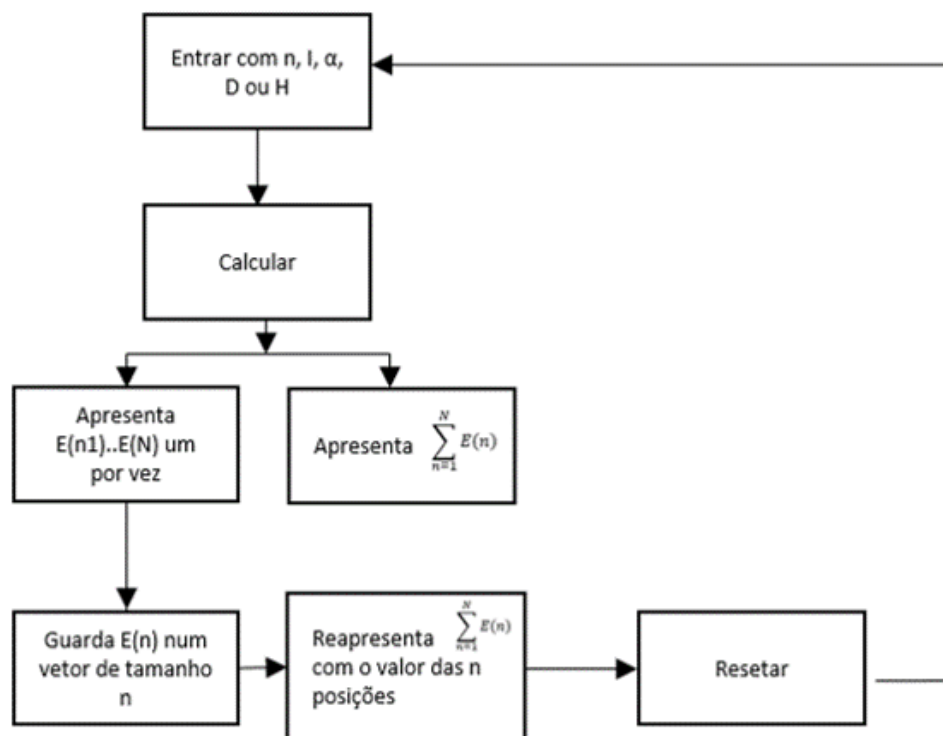
Figura 33 – Método de iluminação ponto por ponto da interface gráfica



Fonte: print screen GUIDE no sistema operacional Windows 10.

O diagrama de blocos da Figura 34 auxilia para compreender a lógica executada.

Figura 34 – Diagrama de blocos para lógica computacional do método de iluminação ponto por ponto



Fonte: Autoria própria.

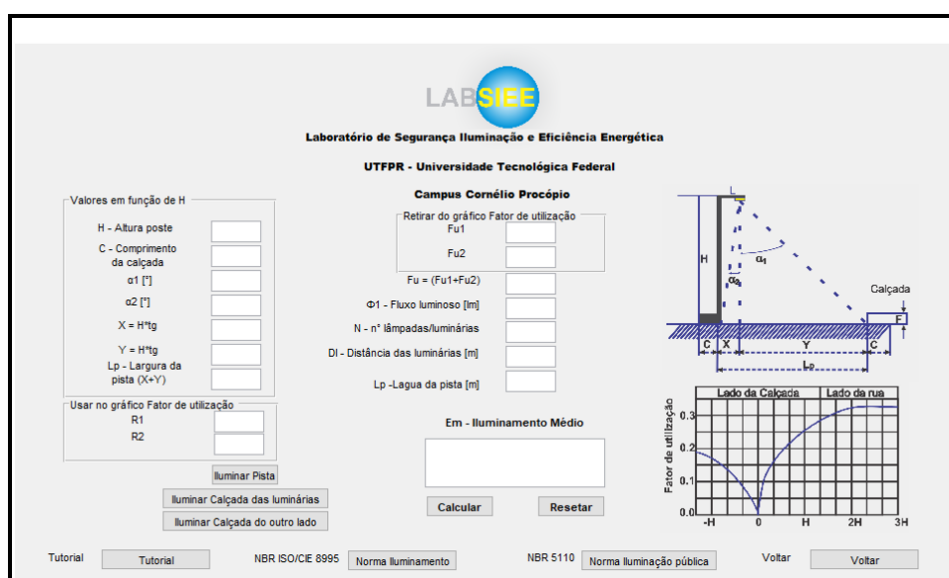
4.7 Iluminamento pelo valor médio

O método de iluminamento pelo valor médio pode ter sua explicação e utilização dividida em três partes. A primeira parte são as entradas de altura, comprimento da calçada, ângulos de incidência da iluminação e largura da pista em razão da altura do poste, pois os valores calculados $R1$ e $R2$ serão usados no gráfico disponibilizado na própria interface gráfica e na tabela luminotécnica do método. Os valores de $R1$ e $R2$ podem ser calculados com o intuito de iluminar a pista, a calçada e a calçada do outro lado.

O segundo momento é a determinação do fator de utilização, que é dividido em duas partes, onde $R1$ e $R2$ são os valores que determinam Fu_1 e Fu_2 baseado no gráfico de fator de utilização.

O terceiro momento é o cálculo para determinar o iluminamento médio, onde há a entrada do fluxo luminoso, número de lâmpadas/luminárias, distância das luminárias e largura da pista em metros. A Figura 35 mostra como o usuário interage com a interface.

Figura 35 – Método de iluminamento pelo valor médio da interface gráfica



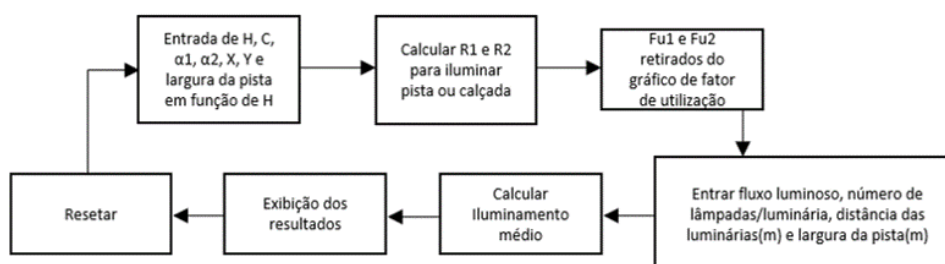
Fonte: print screen GUIDE no sistema operacional Windows 10.

Este método é muito interessante, pois seu cálculo trás um resultado muito bom, seu nível de rigorosidade também é elevado e as curvas isolux são amplamente difundidas e de fácil acesso. É interessante citar que a Philips possui o *software* livre

Philips luminaire database, que tem um banco de dados dos produtos Philips de iluminação, com diversas tabelas e diagramas luminotécnicos. A tabela luminotécnica deste método é retirada de forma integral deste *software*, podendo ser consultado o *software* da Philips para aumentar o banco de dados da própria interface.

O diagrama de blocos deste método é apresentado pela Figura 36 e exemplifica a lógica computacional da interface.

Figura 36 – Diagrama de blocos para lógica computacional do método de iluminação pelo valor médio



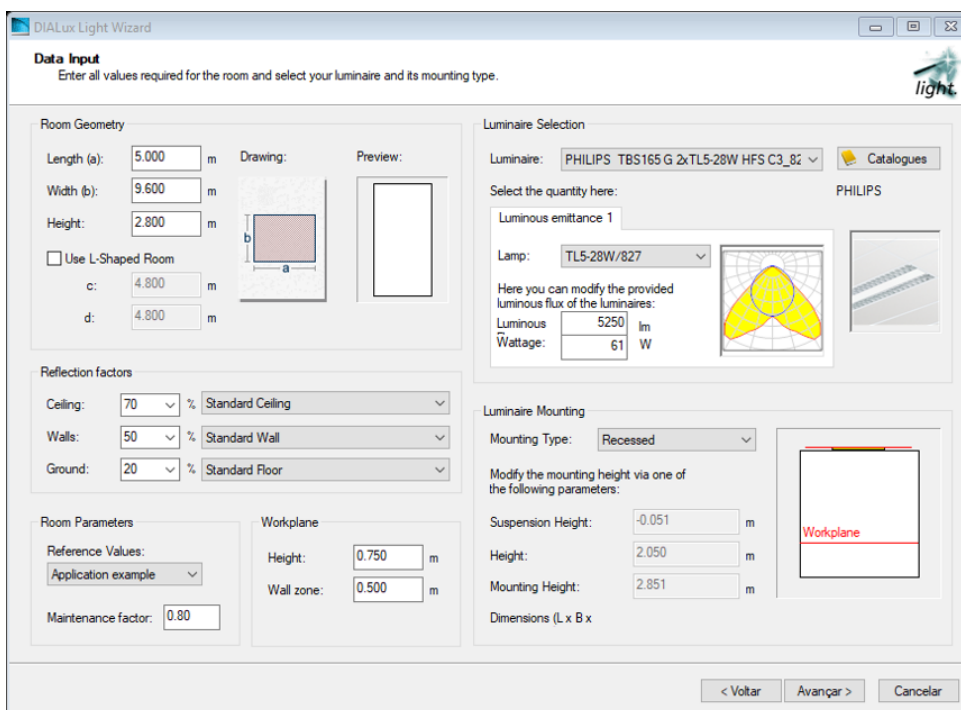
Fonte: Autoria própria.

4.8 Resultados

Nesta sessão será abordado os resultados da interface gráfica. Será usado alguns exemplos práticos e comparações entre a interface gráfica e o *software* DIALux. Será comparado o tempo utilizado para realizar o cálculo bem como a quantidade de luminárias obtidas. Será analisado também as vantagens de desvantagens da utilização da interface gráfica.

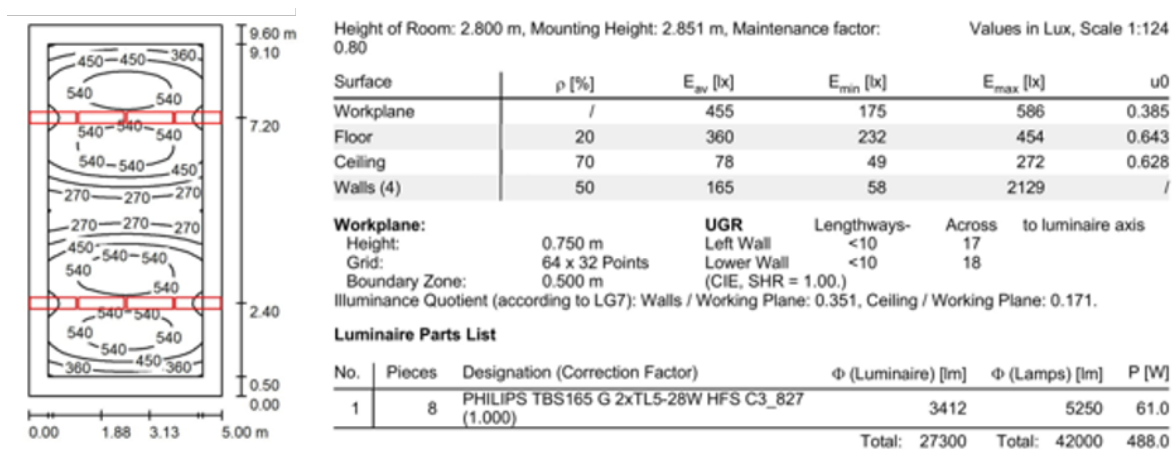
Para confrontar a interface com o *software* DIALux, utilizou-se um exemplo de uma sala de aula com 9,6m de comprimento e 5m de largura e altura de plano em 2,05m, Iluminamento de 300 lux, fator de depreciação 0,8 e fluxo luminoso de 5250lm. A Luminária escolhida foi a TBS165 G 2xTL5-28W HFS C3 827 da Philips. As Figuras 37 e 38 mostram os resultados obtidos com o *software* DIALux e as Figuras 39 e 40 apresentam os resultados obtidos com a interface gráfica.

Figura 37 – Resultados DIALux



Fonte: print screen DIALux no sistema operacional Windows 10.

Figura 38 – Resultados DIALux



Fonte: print screen DIALux no sistema operacional Windows 10.

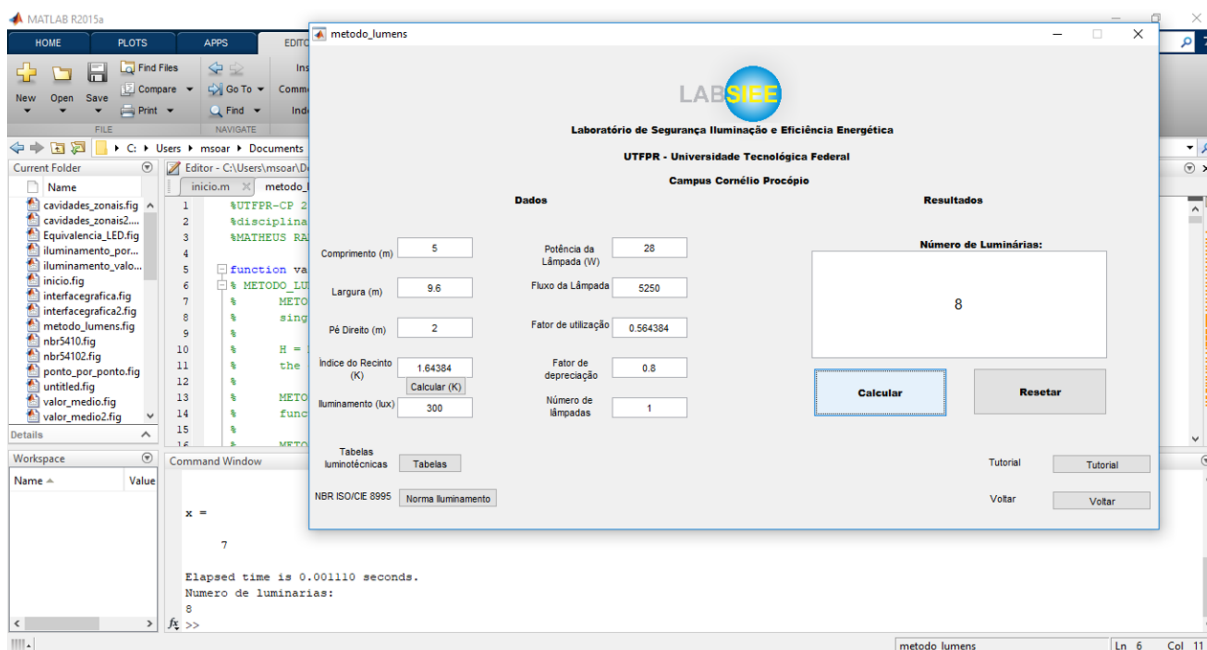
Figura 39 – Tabela luminotécnica fator de utilização método de lúmens

Fator de	80				70				50		30		0		Características
	Área K	30	50	70	30	50	70	10	30	10	30	10	30		
0.60	0.36	0.34	0.35	0.35	0.34	0.29	0.29	0.26	0.29	0.26	0.25	0.25	0.25	Luminária para iluminação Comercial de Interiores, de embutir. Fluxo luminoso total: 5250 lm Temperatura de cor correlacionada inicial - 3000 K Índice de composição de cores inicial ≥80	
0.80	0.44	0.41	0.43	0.42	0.40	0.36	0.36	0.33	0.35	0.33	0.32	0.32	0.32		
1.00	0.50	0.46	0.49	0.47	0.45	0.42	0.41	0.38	0.41	0.38	0.37	0.37	0.37		
1.25	0.55	0.51	0.54	0.52	0.50	0.46	0.46	0.43	0.45	0.43	0.42	0.42	0.42		
1.50	0.59	0.54	0.58	0.55	0.53	0.50	0.49	0.47	0.49	0.46	0.45	0.45	0.45		
2.00	0.65	0.58	0.64	0.60	0.58	0.55	0.54	0.52	0.53	0.52	0.50	0.50	0.50		
2.50	0.69	0.61	0.67	0.63	0.60	0.58	0.57	0.55	0.56	0.55	0.53	0.53	0.53		
3.00	0.71	0.63	0.70	0.66	0.62	0.60	0.59	0.58	0.58	0.57	0.55	0.55	0.55		
4.00	0.75	0.64	0.72	0.68	0.64	0.62	0.61	0.60	0.60	0.59	0.58	0.58	0.58		
5.00	0.76	0.66	0.74	0.69	0.65	0.64	0.62	0.61	0.61	0.60	0.59	0.59	0.59		
Fator de utilização interpolado (Fucal)	0.564384	K_{sup}	1.5	FU_{sup}	0.55	K_{inf}	2	FU_{inf}	0.6	Interpolação				$FU_{cal} = FU_{sup} - \frac{(K_{sup} - K_{cal})(FU_{sup} - FU_{inf})}{(K_{sup} - K_{inf})}$	

Fonte: print screen Excel no sistema operacional Windows 10.

Como pode-se observar nas Figuras 38 e 40, tanto DIALux quanto a interface gráfica tiveram o mesmo resultado, oito luminárias para o local.

O DIALux ao emitir seu resultado, imprime diversos dados e gráficos interessantes de se analisar, como o da Figura 38 onde é mostrado de forma detalhada os níveis de iluminação da sala e a disposição das luminárias. A interface gráfica por sua vez somente apresenta o resultado da quantidade de luminárias para o recinto.

Figura 40 – Resultados obtidos com método de lúmens da interface gráfica

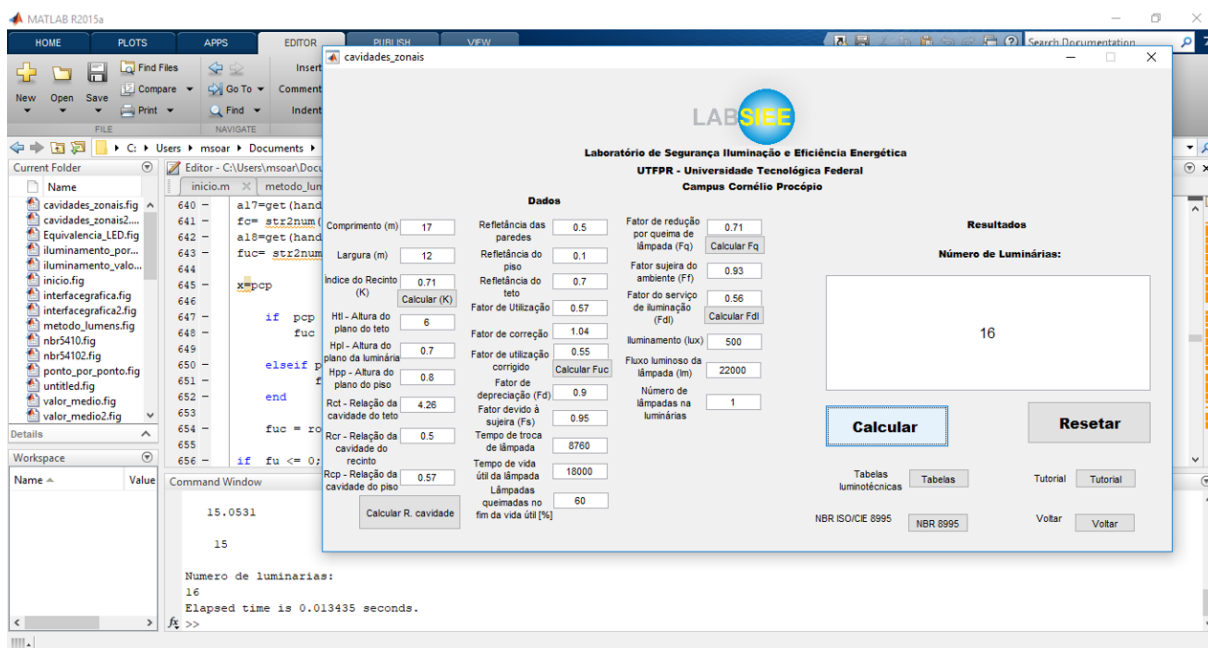
Fonte: print screen Matlab no sistema operacional Windows 10.

Apesar da interface gráfica não apresentar os dados que o DIALux emiti ao usuário, sua resposta é extremamente mais rápida. Enquanto o DIALux demorou em média de 17,9s (valor cronometrado) para calcular e emitir os dados, a interface gráfica fez os cálculos e apresentou os resultados em 1,11ms (valor obtido com a função *tictoc* do Matlab), ou seja; o resultado é apresentado praticamente de forma instantânea. É claro que a complexidade da interface gráfica é bem menor, porém um dos objetivos do trabalho foi claramente alcançado, onde obteve-se uma resposta rápida e precisa.

Sobre a facilidade e intuitividade de uso, ambos tem pontos negativos e positivos. O DIALux não é muito intuitivo, sendo necessário instalar os pacotes de luminárias e preencher corretamente os locais indicados. A interface gráfica por sua vez é mais simples de se preencher, porém é necessário que o usuário entenda e domine o conceito matemático do método para que se tenha o resultado esperado.

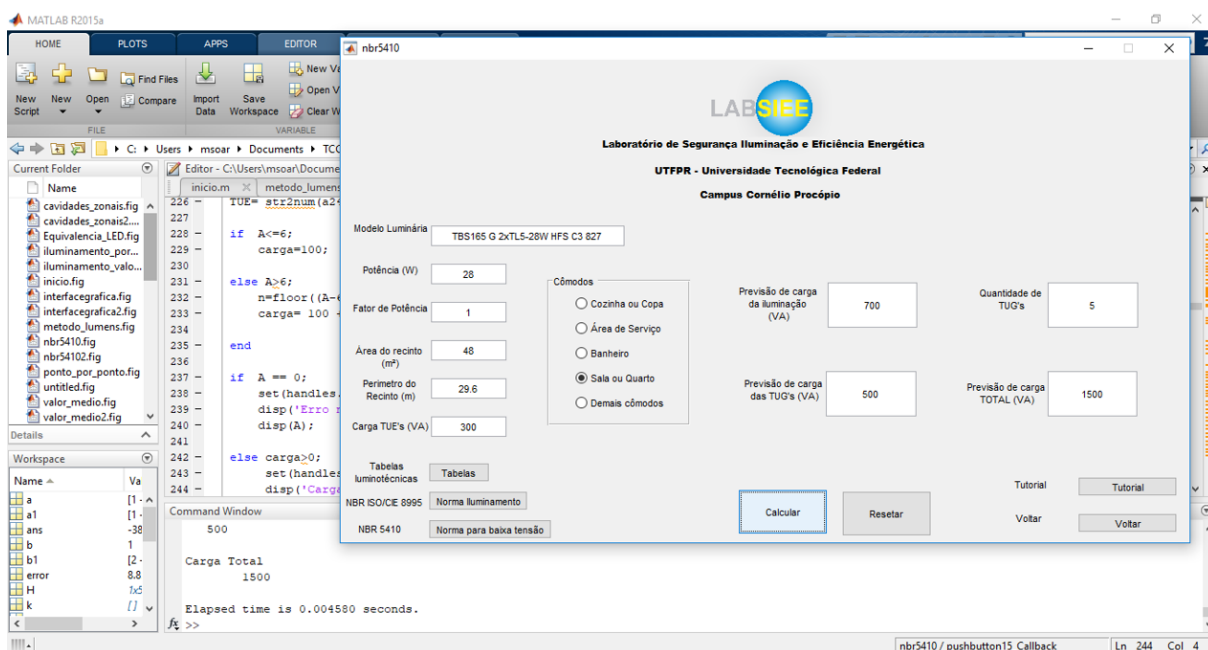
As demais partes da interface gráfica também obtiveram ótimos resultados, tanto na velocidade do cálculo quanto em sua função específica. As Figuras 41, 42 e 43 mostram as demais interfaces gráficas para cálculos de ambiente interno em execução.

Figura 41 – Resultados obtidos com método das cavidades zonais da interface gráfica para galpão 17x12m², lâmpada vapor de mercúrio, refletor T38, 400W



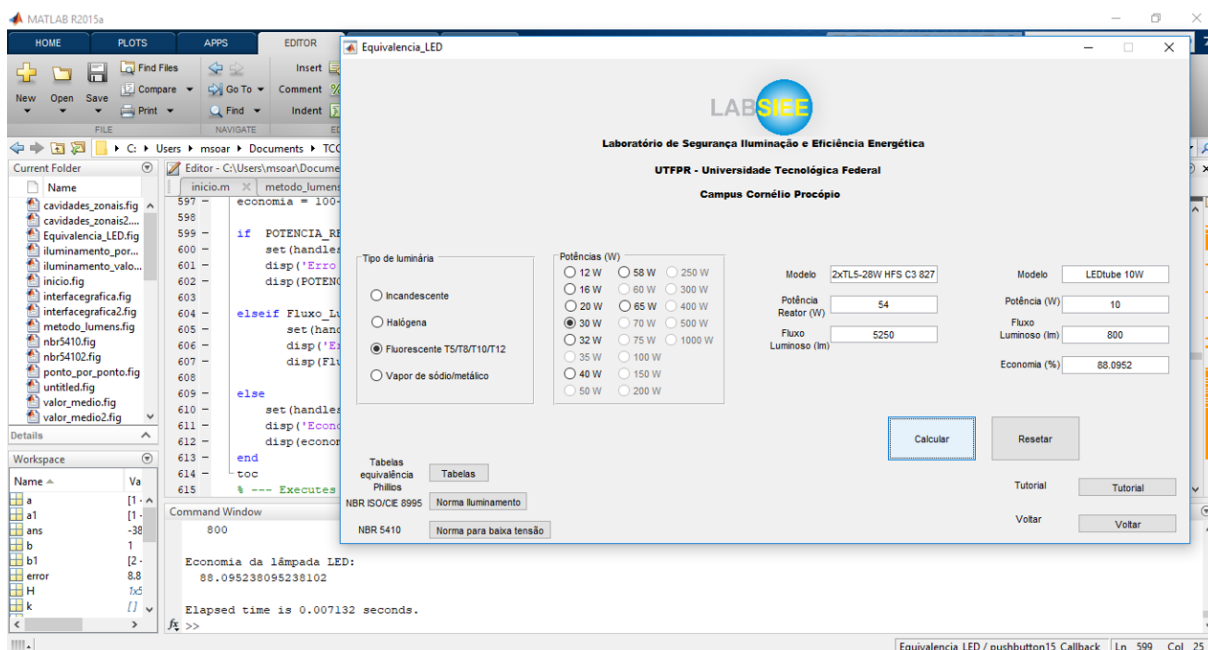
Fonte: print screen Matlab no sistema operacional Windows 10.

Figura 42 – Resultados obtidos com NBR 5410 da interface gráfica



Fonte: print screen Matlab no sistema operacional Windows 10.

Figura 43 – Resultados obtidos com a equivalência LED da interface gráfica

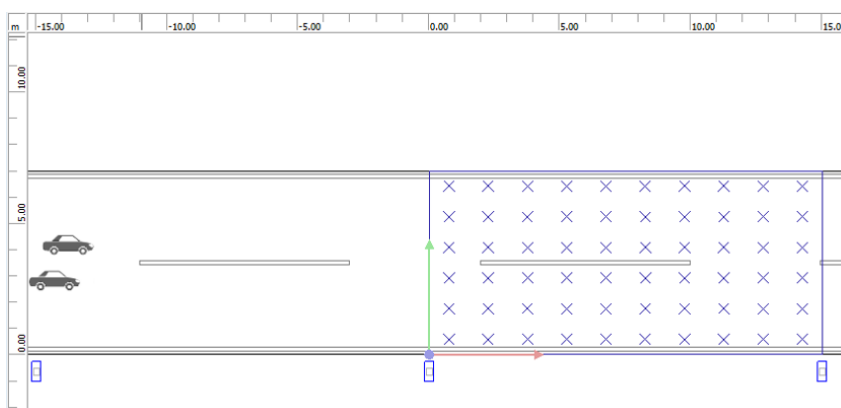


Fonte: print screen Matlab no sistema operacional Windows 10.

As interfaces para cálculo luminotécnico de exteriores, também obtiveram os resultados esperados; nível de iluminamento compatível e rápido retorno de resposta. Nos testes foi utilizado os dados da luminária SPP186 GB 1xSON-TPP150W SGR 220 Philips, fluxo luminoso de 17500 lm , potência de 169W e altura de montagem de 3,4 m .

O *software* DIALux simulou uma via de transito rápido, classe M4. Os postes foram instalados com uma distância de 15 m . Os dados da simulação são apresentados nas Figuras [44](#) [45](#).

Figura 44 – Especificações estrada DIALux



Fonte: print screen DIALux no sistema operacional Windows 10.

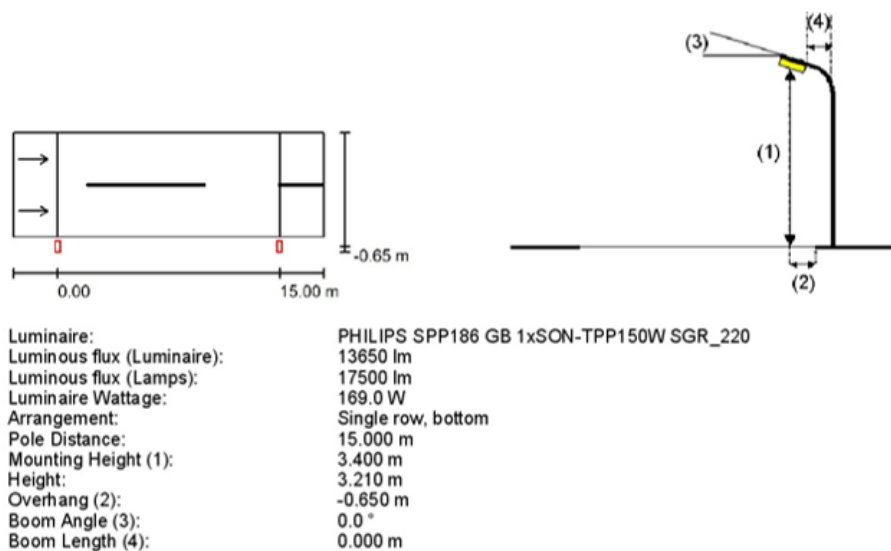
Figura 45 – Requisitos fotométricos da estrada DIALux

1	
Name	Schematic diagram of street 1
Description	
Maintenance standard	0.67
Luminares	Select luminares!
Optimised luminaire	No results
Luminaire arrangement	Single row, bottom
Pole distance [m]	10.000 ... 50.000, 1.000
Height [m]	8.000
Inclination [°]	0
Light overhang [m]	0.000
Pole distance from roadway [m]	<input checked="" type="checkbox"/> 0.650
Boom length [m]	<input type="checkbox"/> 0.650
Valuation Field Roadway 1 (ME4a)	
Lm [cd/m²]	<input checked="" type="checkbox"/> ≥ 0.75
U0	<input checked="" type="checkbox"/> ≥ 0.40
UI	<input checked="" type="checkbox"/> ≥ 0.60
TI [%]	<input checked="" type="checkbox"/> ≤ 15
SR	<input checked="" type="checkbox"/> ≥ 0.50
ULR	No results
ULOR	No results

Fonte: print screen DIALux no sistema operacional Windows 10.

Com os dados devidamente definidos e alocados, o *software* DIALux gerou um relatório de dados, onde é apresentada a segunda folha do relatório na Figura 46. Nesta parte do relatório é apresentado o fluxo luminoso e dados da montagem da luminária.

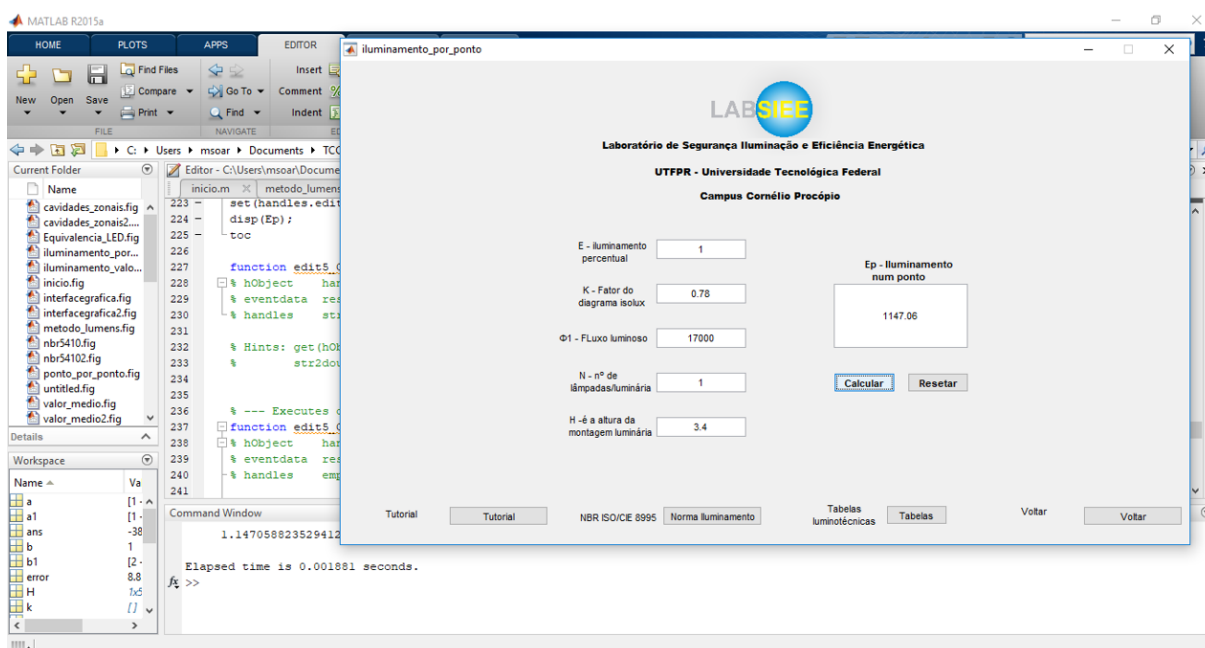
Figura 46 – Resultados simulação via DIALux



Fonte: print screen DIALux no sistema operacional Windows 10.

A interface gráfica também obteve bons resultados, tanto no iluminamento calculado, quanto no tempo de resposta. A Figura 47 apresenta os valores de iluminamento a resposta da interface na ordem de 0,992ms.

Figura 47 – Resultados obtidos com a método de iluminamento por ponto da interface gráfica



Fonte: print screen Matlab no sistema operacional Windows 10.

Aparentemente os resultados podem parecer contraditórios, porém devem ser interpretados corretamente. O DIALux não fornece neste momento o iluminamento, sendo necessário dividir o fluxo da lâmpada pela área de projeção, obtendo o iluminamento médio na parte da pista analisada. Já o método de ponto por ponto calcula o iluminamento horizontal entre N luminárias, por tanto para se obter um iluminamento médio na área da pista estudada é necessário dividir esse iluminamento pela largura da pista. Assim a Tabela 7 mostra os resultados obtidos para o iluminamento.

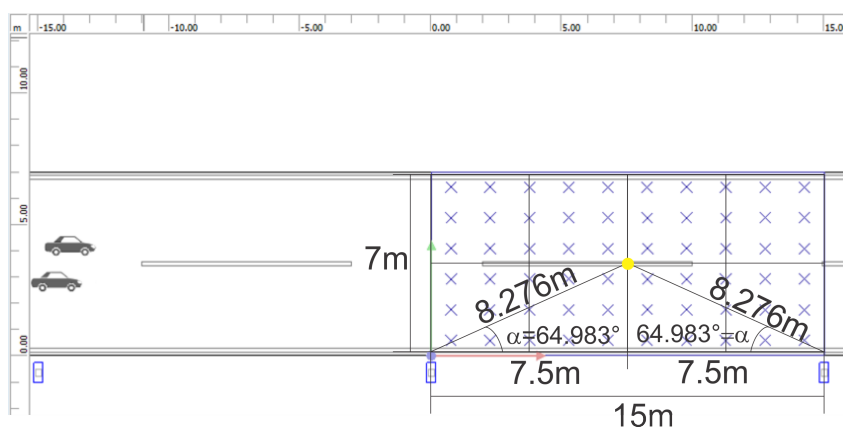
Tabela 7 – Interpretação dos resultados DIALux e Interface iluminamento por ponto

	Resultados obtidos	Fator de divisão	Iluminamento médio da pista
DIALux	17500 <i>lm</i>	15m x 7m = 105m ²	166,67 <i>lux</i>
Ponto por ponto	1180,8 <i>lux</i>	7m	168,68 <i>lux</i>

Fonte: A autoria própria.

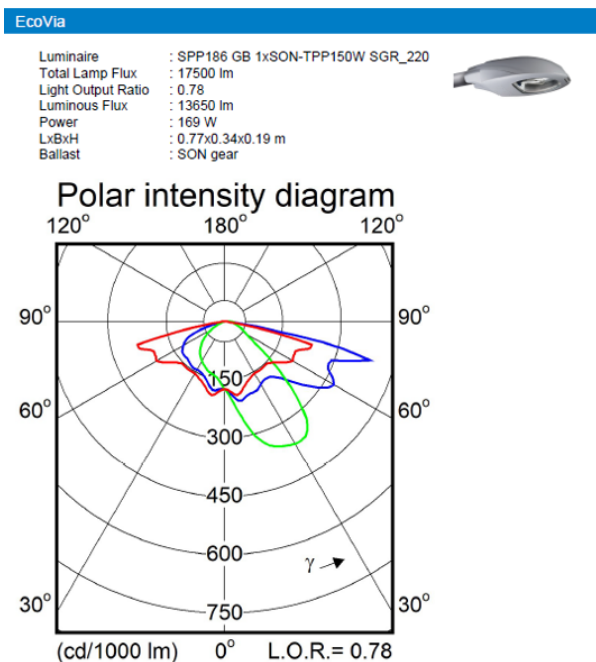
O método de ponto por ponto da interface gráfica foi utilizado para determinar o iluminamento no ponto central da pista estudada no método de iluminamento. Por questões de praticidade adaptou-se a Figura 44 com os dados geométricos necessários para o cálculo, sendo apresentada na Figura 48. A curva isolux utilizada é apresentada na Figura 49 e a Figura 50 apresenta o iluminamento no ponto.

Figura 48 – Dados geométricos para determinação do iluminamento pelo método de ponto por ponto



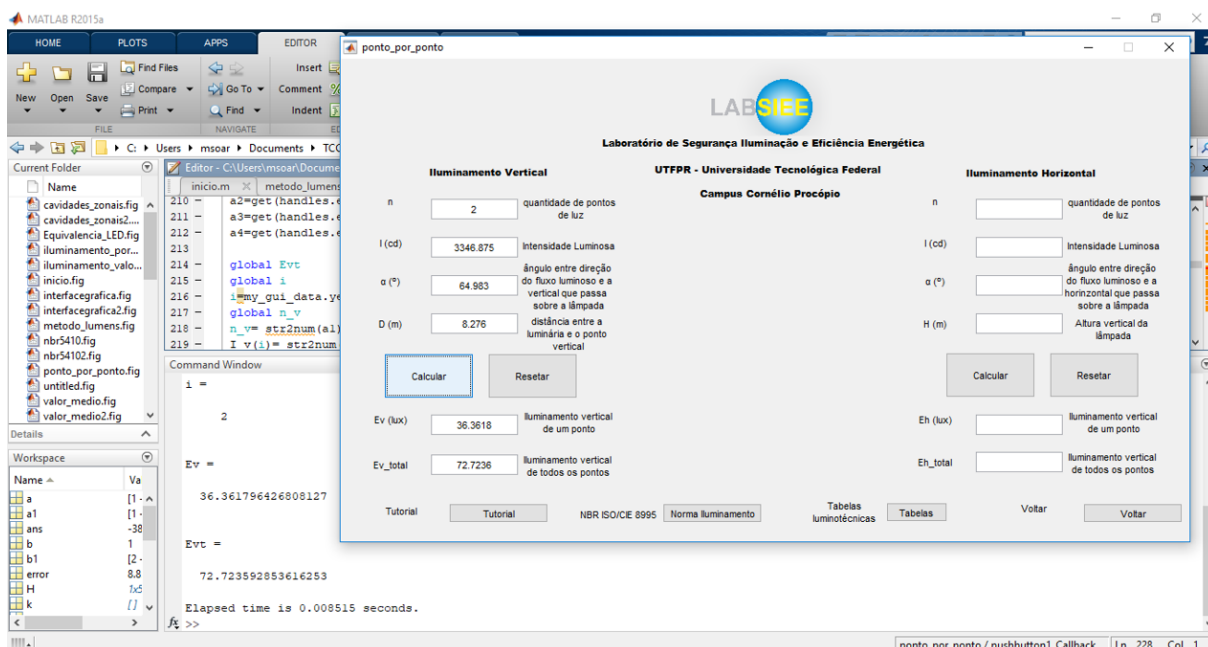
Fonte: A autoria própria.

Figura 49 – Curva Isolux da luminária SPP186 GB 1xSON-TPP150W SGR 220



Fonte: Software Philips Cat.

Figura 50 – Resultados obtidos com a método de ponto por ponto da interface gráfica.



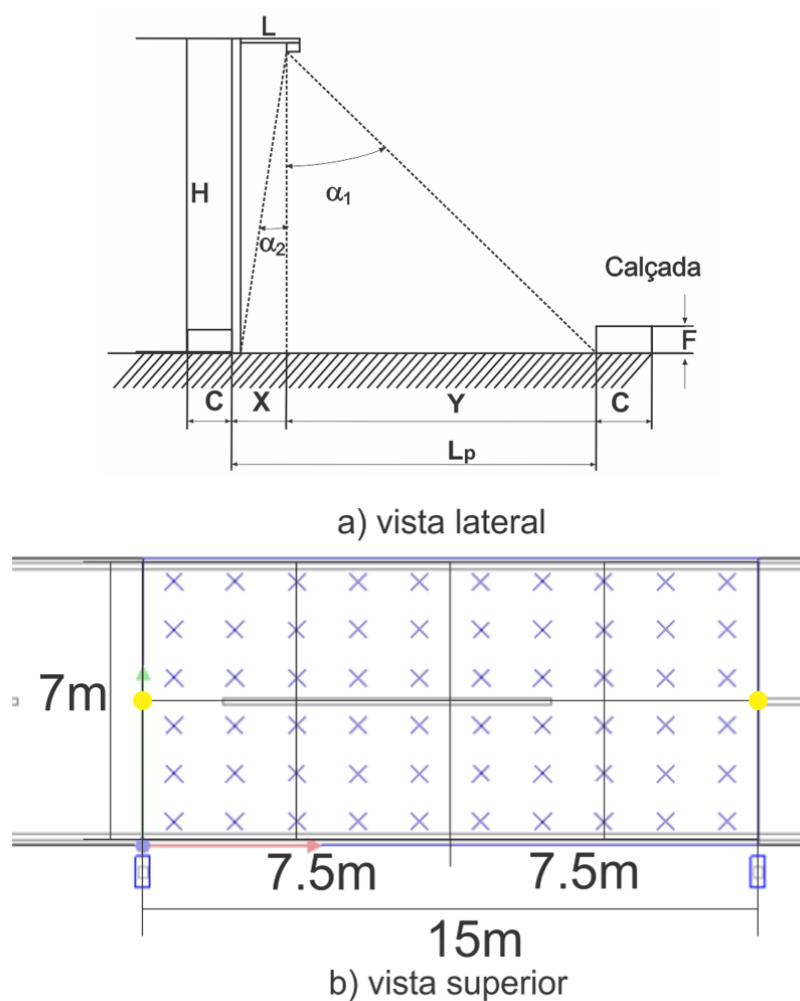
Fonte: print screen Matlab no sistema operacional Windows 10.

Para a interface do método de iluminação pelo valor médio, também será

utilizado os mesmo dados de pista utilizados para método de iluminação por ponto e ponto por ponto. Porém diferentemente dos outros métodos que abrangeram uma totalidade ou ponto central, será usado um ponto a frente do poste. A Figura 51 mostra o poste numa vista lateral e frontal.

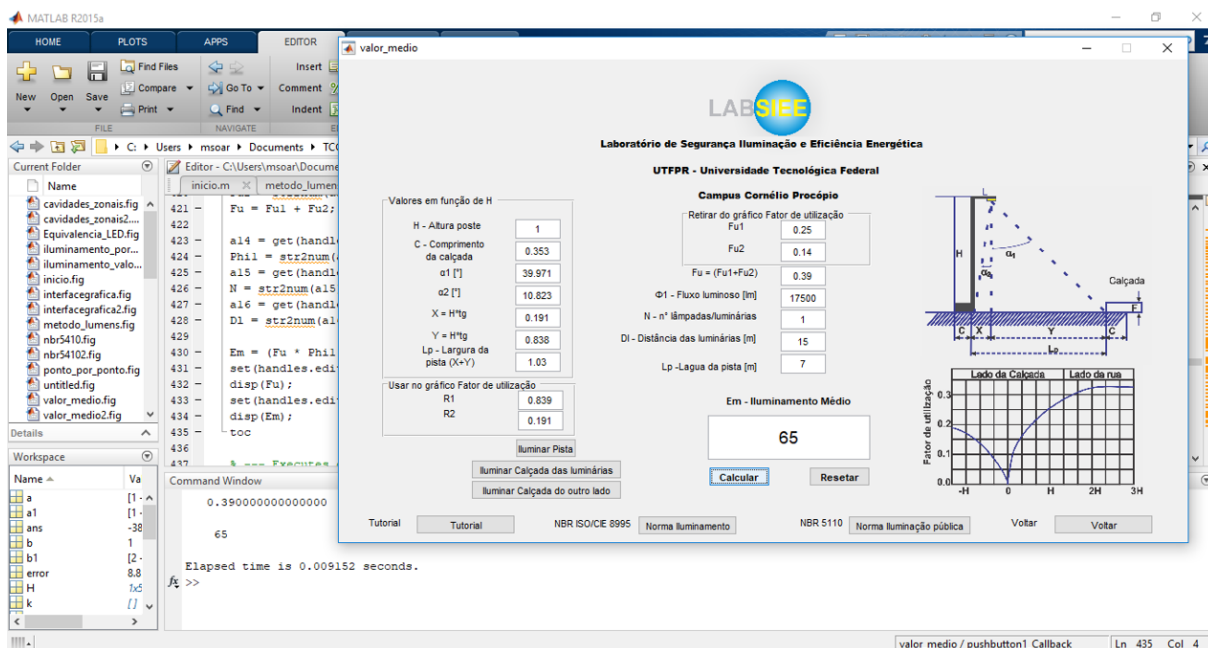
No primeiro momento as dimensões da pista devem ser calculadas em função de H e encontrar R_1 e R_2 . Com esses dados calculados se encontra os fatores de utilização de ambos no gráfico apresentado no método. Ao final indica-se os valores de fluxo luminoso e distância da luminárias e o resultado é apresentado ao usuário. Assim obteve-se o seguinte resultado para de iluminação no ponto proposto para esse método.

Figura 51 – Vista superior e lateral da pista e poste de iluminação.



Fonte: Autoria própria.

Figura 52 – Resultados obtidos com a método de iluminação por valor médio da interface gráfica.



Fonte: print screen Matlab no sistema operacional Windows 10.

A Tabela 8 resume os resultados obtidos e apresentados nessa sessão, mostrando o resultado e o tempo que cada interface gráfica o calculou.

Tabela 8 – Tempo de resposta

Método luminotécnico	Resposta	Tempo de cálculo
Método de lúmens	8 luminárias	1,110ms
Método das cavidades zonais	16 luminárias	13,435ms
NBR 5410	1500 VA	4,580ms
Equivalência LED	88,1% Economia	7,132ms
Ponto por ponto	168,68lx	8,515ms
Iluminamento por ponto	72,72lx	1,881ms
Iluminamento pelo valor médio	65 lx	9,152ms

Fonte: Autoria própria.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho visou criar uma ferramenta que combinasse modelagens matemáticas para diversas aplicações luminotécnicas. Os procedimentos matemáticos foram baseados em literaturas referências no ensino luminotécnico e os procedimentos computacionais baseados em programação orientada a eventos no *software* Matlab.

Os resultados obtidos com a interface luminotécnica satisfizeram os objetivos do trabalho; onde os fenômenos físicos e métodos matemáticos foram compreendidos e colocados em prática. A utilização da ferramenta matemática computacional Matlab, se mostrou eficaz em compilar e algoritmo proposto, conseguindo rapidez e confiabilidade nas respostas.

Os resultados rápidos em comparação ao *software* DIALux, não correspondem com um pensamento de melhoramento do *software*, mas sim de quantidade menor de processamento. Enquanto o DIALux se preocupa com questões tridimensionais e resultados gráficos, a interface criada neste trabalho se preocupa somente em dar uma resposta objetiva: Um determinado número de luminárias ou iluminamento em um determinado ponto. Por conta desta objetividade da interface gráfica é que ela consegue obter respostas mais rápidas. Tanto DIALux quanto a interface gráfica luminotécnica são ferramentas que trabalham juntas, cada uma com uma perspectiva diferente de um mesmo resultado.

Observa-se nos resultados do algoritmo sua confiabilidade, pois em todos os estudos propostos na sessão 4.8 a interface obteve resultados extremamente próximos ao *software* DIALux, podendo assim confirmar que os cálculos realizados na interface gráfica são propícios a serem colocados em prática numa instalação elétrica.

Apesar de ter demonstrado ser objetiva, não se mostrou ser tão prática; sendo necessário um domínio prévio sobre as modelagens matemáticas dos métodos luminotécnicos. Sugere-se que para trabalhos futuros a interface venha ficar mais prática, ao ponto que um usuário iniciante em projetos luminotécnicos possa trabalhar facilmente nela.

Também seria interessante que a ferramenta gera-se um relatório técnico, que abrangesse as características do conjunto lâmpada luminária, dados utilizados,

distribuição das luminárias e diagramas de iluminância como da Figura 38, onde é mostrado a iluminância em vários pontos do ambiente.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ILUMINAÇÃO. **Abilux aponta medidas para reduzir o consumo de energia.** Disponível em: <http://www.abilux.com.br/portal/pdf/destaques/destaque_2015-02-12.pdf>. Acessado em: 14 de mar. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISSO/CIE 8995-1** – Iluminação de ambientes de trabalho Parte 1: Interior. Rio de Janeiro. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5101** – Iluminação Pública - Procedimentos. Rio de Janeiro. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410** – Instalações Elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5413** – Iluminâncias de interiores. Rio de Janeiro. 1992.

BARBOSA, J. S. **Iluminação de interiores: Análise e orientação para aplicações.** 2007. 131 f. Monografia – Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2007

CHAPMAN, S. J. **Programação em MATLAB para engenheiros.** 4.ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2009.

COSTA, G. J. C. **Iluminação Econômica, Cálculo e Avaliação.** São Paulo: EDIPUCRS, 2005. p.561.

CREDER, H. **Instalações Elétricas.** 15. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007. p. 427.

EDP **Manual de Iluminação Pública.** Disponível em: <<http://www.edpdistribuicao.pt/pt/profissionais/EDP%20Documents/Manual%20Ilumina%C3%A7%C3%A3o%20C%C3%BAblica.pdf>>. Acessado em: 09 de jul. 2017.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **CEN/TR 13201-1:2004** - Road lighting - Part 1: Selection of lighting classes. Julho, 2004.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION **EN 13201-2:2003** - Road lighting - Part 2: Performance requirements. Novembro, 2003.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION **EN 13201-3:2003** - Road lighting - Part 3: Calculation of performance. Novembro, 2003.

FINOCCHIO, M. A. F. **Engenharia de Iluminação**: Luminotécnica e lâmpadas elétricas. Disponível em: <http://paginapessoal.utfpr.edu.br/mafinocchio/disciplinas-da-graduacao/engenharia-de-iluminacao/APOSTILAENGENHARIADEILUMINA.pdf/at_download/file>. Acesso em: 06 de mar. 2017.

FINOCCHIO, M. A. F. **Apostila de Engenharia de Iluminação**. Publicação Interna, LABSIEE/UTFPR-CP, Cornélio Procópio, 2014.

GRIENEISEN, H. P. **As bases da fotometria em medições goniofotométricas**. Congresso Brasileiro de Metrologia, Bento Gonçalves – RS, nov./dez. 2015.

KIAN. **Catálogo comercial 2017**. Disponível em:<<http://www.kian.com.br/phocadownload/catalogo-produtos-kian.pdf> >. Acessado em: 05 de out. 2017.

KROEMER, K. H. E.; GRANDJEAN, E. **Manual de ergonomia**: adaptando o trabalho ao homem. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2004. 328p.

LANCELLE, L. **DIALux evo: evolução?** Revista Lume Arquitetura. Editora Ltda. São Paulo, n. 62, p.69-72, jun/jul 2013.

MACHADO, R. A. F. **Um Estudo Comparativo de Sistemas de Iluminação de Pátios de Aeronaves: Vapor de Sódio de Alta Pressão e Sistema de Iluminação de Plasma**. Revista Especialize On-line IPOG - Goiânia - 6ª Edição nº 006 Vol.01/2013—dezembro/2013. Disponível em:<<http://www.institutodeposgraduacao.co>

m.br/uploads/arquivos/544c3fde09efe940510562112fc68c92.pdf>. Acessado em: 16 de mar. 2017.

MAMEDE FILHO, J. **Instalações Elétricas Industriais**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011. p.666.

MARTINO, J. M. **Notas de aula**: Sistemas de Informação gráfica. Disponível em:<<http://www.dca.fee.unicamp.br/~martino/disciplinas/ea978/na2.pdf>>. Acessado em: 04 de out. 2017.

MORAES, L. N.; CLARO, A. **Estudo comparativo de sistemas de iluminação artificial considerando luz natural e consumo de energia**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 13, n. 4, p. 59-74, jul./set. 2013.

OSRAM. **Manual Luminotécnico Prático**. Disponível em: <www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Livros/ManualOsram.pdf>. Acessado em: 14 de mar. 2017.

RODRIGUES, C. R. B. S. et al. **Um estudo comparativo de sistemas de iluminação pública**: Estado sólido e lâmpadas de vapor de sódio em alta pressão. *2010 9th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications - INDUSCON 2010*, Sao Paulo, 2010, p. 1-6.

SAMBAQUI, A. B, K. **Notas de aula – Método ponto a ponto**. Disponível em: <[http://joinville.ifsc.edu.br/~anabarbara/Projetos_Eletricos/Aula%205%20-%20Calculo%20Luminotecnica%20\(Metodo%20Ponto%20a%20Ponto\).pdf](http://joinville.ifsc.edu.br/~anabarbara/Projetos_Eletricos/Aula%205%20-%20Calculo%20Luminotecnica%20(Metodo%20Ponto%20a%20Ponto).pdf)>. Acessado em: 03 de mar. 2018.

WENDT, M. ANDRIESSE J. W. **LEDs in Real Lighting Applications**: from Niche Markets to General Lighting, *Conference Record of the 2006 IEEE Industry Applications Conference Forty-First IAS Annual Meeting*, Tampa, FL, 2006, p. 2601-2603.

WONWOO,K. JEONG, T.K. **Effect of Background Luminance on Discomfort Glare in Relation to the Glare Source Size.** Indoor and Built Environment, Vol. 19, Issue 1, p. 175 – 1833. 15 mar. 2010a.

WONWOO,K. JEONG, T.K. **A Position Index Formula for Evaluation of Glare Source in the Visual Field .** Indoor and Built Environment, Vol 20, Issue 1, p. 47 – 53. 24 nov. 2010b.