

Interface gráfica para cálculo luminotécnico no Matlab

Marco Antonio Ferreira Finocchio (UTFPR – Cornélio Procópio) mafinocchio@utfpr.edu.br

Jeferson Gonçalves Ferreira (CECA – Cornélio Procópio) jefersongf_07@hotmail.com

Matheus Ramos Soares (UTFPR – Cornélio Procópio) matheussoares@alunos.utfpr.edu.br

Resumo:

O presente trabalho tem por finalidade apresentar uma ferramenta de cálculo luminotécnico simples e prática desenvolvida no software Matlab. Para o desenvolvimento da ferramenta, utilizou-se a ferramenta GUIDE no Matlab e programação orientada a eventos.

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

Graphical interface for lighting calculation in Matlab

Abstract:

The present work aims to present a simple and practical calculation tool developed in Matlab software. For the development of the tool, we used the GUIDE tool in Matlab and event-oriented programming.

Key-words: Lighting calculation, luminaires, Matlab, GUIDE.

1. Introdução

Estudo realizado pela Associação Brasileira da Indústria de Iluminação (ABILUX) 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 importante um projeto luminotécnico que possibilite a execução das diversas tarefas.

Os principais pontos que o projetista deve considerar para um bom projeto de iluminação segundo MAMEDE (2011):

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 a situação. Fatores como teto, altura útil, disposição de vigas,

tirantes de aço de sustentação; todos esses são fatores físicos do projeto a ser analisados.

Por conta da complexidade dos cálculos, diversos softwares foram desenvolvidos para realizar cálculos luminotécnicos, 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 desenvolver uma ferramenta de fácil utilização com respostas rápidas para cálculo de projetos luminotécnicos de ambientes internos e externos, utilizando normas técnicas e metodologias apresentadas na literatura.

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.

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.

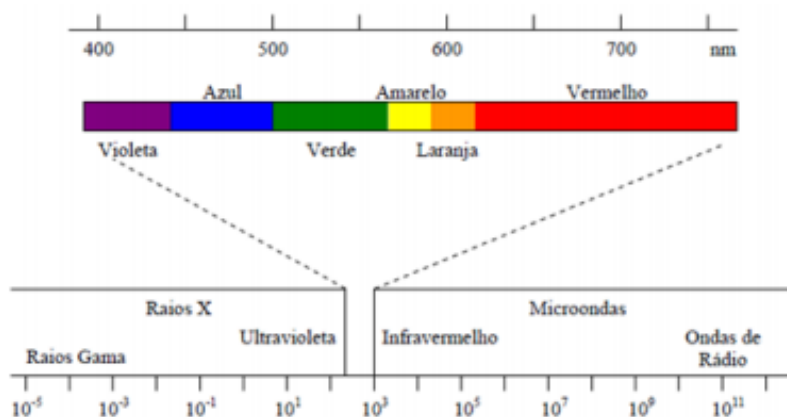


Figura 1 – Sensibilidade visual do olho humano

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.

O lúmen representa então a quantidade de luz irradiada por uma abertura de 1m² feita na superfície de uma esfera de 1m de raio com intensidade igual a 1 candela em todas as direções. Define-se 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 a Equação 1 e a Figura 2 que demonstra este conceito.

$$\Phi = K_m \int_{380}^{780} \frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda} V(\lambda) d(\lambda) \quad (1)$$

K_m : valor do watt-luminoso = 683lm/W;

$\Phi_e(\lambda)$: distribuição espectral do fluxo radiante [W];

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

Φ : fluxo luminoso em lúmens [lm].

Os limites da integral correspondem à limitação visual do olho humano em relação ao comprimento de onda (380-780 lm).



Figura 2 – Fluxo Luminoso

Segundo COSTA (2005) a iluminância é a densidade de luz necessária para uma determinada tarefa visual. No Brasil a norma técnica NBR ISO/CIE 8995-1 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.

A iluminância é o limite da razão do fluxo luminoso Φ , incidente num elemento de superfície que contém o ponto dado, para a área ΔA deste elemento, quando esta superfície tende a zero Equação 2, (COSTA, 2005). A Figura 3 exemplifica este conceito.

$$E = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta \Phi}{\Delta A} \quad (2)$$

onde:

E: iluminância em lux [lx];
 $\Delta \Phi$ fluxo luminoso em lúmens [lm];
 ΔA : área [m²].

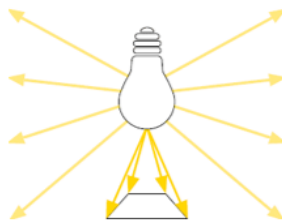


Figura 3 – Iluminância relacionada com a densidade de fluxo

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.

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.

O ofuscamento direto pode ser reduzido ou eliminado com vidros difusores ou opacos. A Equação 3 e a Figura 4 definem e exemplificam o conceito do ofuscamento.

$$tg_{\varphi} = \frac{D}{H_{no}} \quad (3)$$

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].

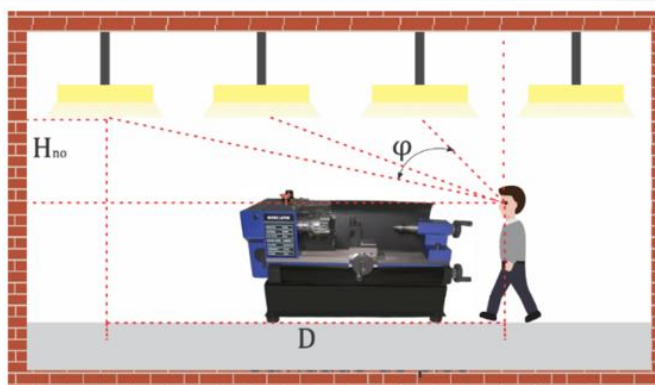


Figura 4 - Ofuscamento de um operador de máquina

3. Normas técnicas para iluminação

A NBR ISO/CIE 8995-1, norma brasileira que especifica os requisitos de iluminação para locais de trabalho internos para as pessoas desempenharem tarefas visuais de maneira eficiente, com conforto e segurança durante no trabalho. Esta norma explicita os requisitos de iluminação para locais de trabalho interno, conforto visual e segurança, cancelando e substituindo as normas ABNT NBR 5413 (Iluminância de interiores), com última revisão em 1992 e a ABNT NBR 5382 (Iluminação de ambientes de trabalho).

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. 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 atendendo 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 a separação das diversas salas de aula.

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. Já a NBR 5413 aborda a iluminância de forma mais simples, apontando valores mínimos e máximos a serem utilizados.

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.

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.

4. 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 são subdivididos em duas áreas de aplicação: para ambientes internos e ambientes externos. Será apresentada a metodologia das cavidades zonais para ambientes internos e ambientes externos o método de iluminamento de ponto por ponto.

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 é a distância entre o plano de trabalho e o piso Figura 5.

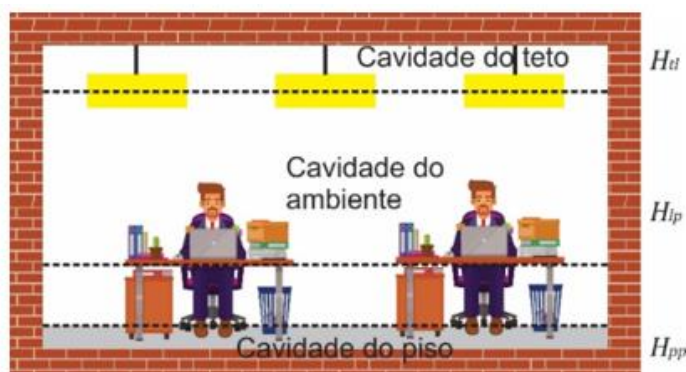


Figura 5 – Cavidades do recinto

O fluxo luminoso total é calculado pela Equação 4 e o número de luminárias pela Equação 5.

$$\Phi_T = \frac{ES}{F_u F_{dl}} \quad (4)$$

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_{dl} : fator de depreciação do recinto.

$$N_{lu} = \frac{\Phi_T}{N_{la} \Phi_{la}} \quad (5)$$

N_{lu} : quantidade de luminárias para o recinto;

Φ_T : fluxo total calculado [lm];

N_{la} : número de lâmpadas por luminária;

Φ_{la} : fluxo da lâmpada em lúmens [lm] prescrito na tabela fornecida pelo fabricante.

O fator de depreciação da luminária, é o resultado da multiplicação de outros fatores, que levam em conta possíveis lâmpadas queimadas e a limpeza do ambiente. O fator de utilização é um valor tabelado que é determinado com base nos dados encontrados em tabelas fornecidas pelos fabricantes da refletância efetiva das cavidades. Assim, todos os pré-requisitos para se utilizar as Equações 7 e 8 são atingidos e a determinação do número de luminárias é obtido.

Este método é muito trabalhoso, porém ele entrega um resultado muito preciso, fazendo grande diferença em situações que o local necessite de uma quantidade grande de fontes luminosas, como um galpão industrial ou armazém.

O método ponto por ponto surgiu no final da década de 70 e início dos anos 80, e uma nova geração 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 6 e 7.

$$E_v = \frac{I \sin^3 \alpha}{D^3} \quad (6)$$

$$E_h = \frac{I \cos^3 \alpha}{H^2} \quad (7)$$

E_v : Iluminamento vertical em lux [lx];

E_h : Iluminamento horizontal em lux [lx];

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

D : Distância entre a luminária e o ponto localizado no plano vertical [m];

H : Altura vertical da luminária [m].

5. Metodologia do algoritmo

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 que 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, deve se atentar as funcionalidades que serão executadas, os componentes que permitirão realizar as tarefas preverem as ações de acerto e erro do usuário e a organização do *layout*.

Assim, será apresentado como foram feitas a interfaces para o método das cavidades zonais e o método de ponto por ponto.

O método das cavidades zonais como explicado anteriormente é rigoroso nos cálculos sendo necessário o cálculo de diversos fatores prévios para se determinar o número de luminárias. A Figura 7 mostra a área de interação do usuário para utilizar esse método.

Antes de obter o resultado final, o usuário deverá realizar cinco cálculos de forma progressiva. O primeiro deles é do índice do recinto, que será utilizado na determinação das relações de teto, recinto e piso, que será o segundo cálculo. Com os resultados do segundo cálculo encontra-se as refletâncias, valor tabelado que pode ser encontrado nas tabelas luminotécnicas fornecidas. Com as refletâncias do ambiente, encontra-se o fator de utilização e o terceiro cálculo corrige o fator de utilização quando necessário. O quarto cálculo é sobre o fator de redução por queima de lâmpadas que leva em consideração a vida útil médio da lâmpada, tempo de manutenção e porcentagem de lâmpadas queimadas ao final da vida útil. Após feito esse passo, multiplica-se todos os fatores de depreciação do ambiente. Assim, todos os passos para o cálculo final foram feitos e o usuário obtém sua resposta. A Figura 8 mostra o diagrama de blocos para a interface do método das cavidades zonais.

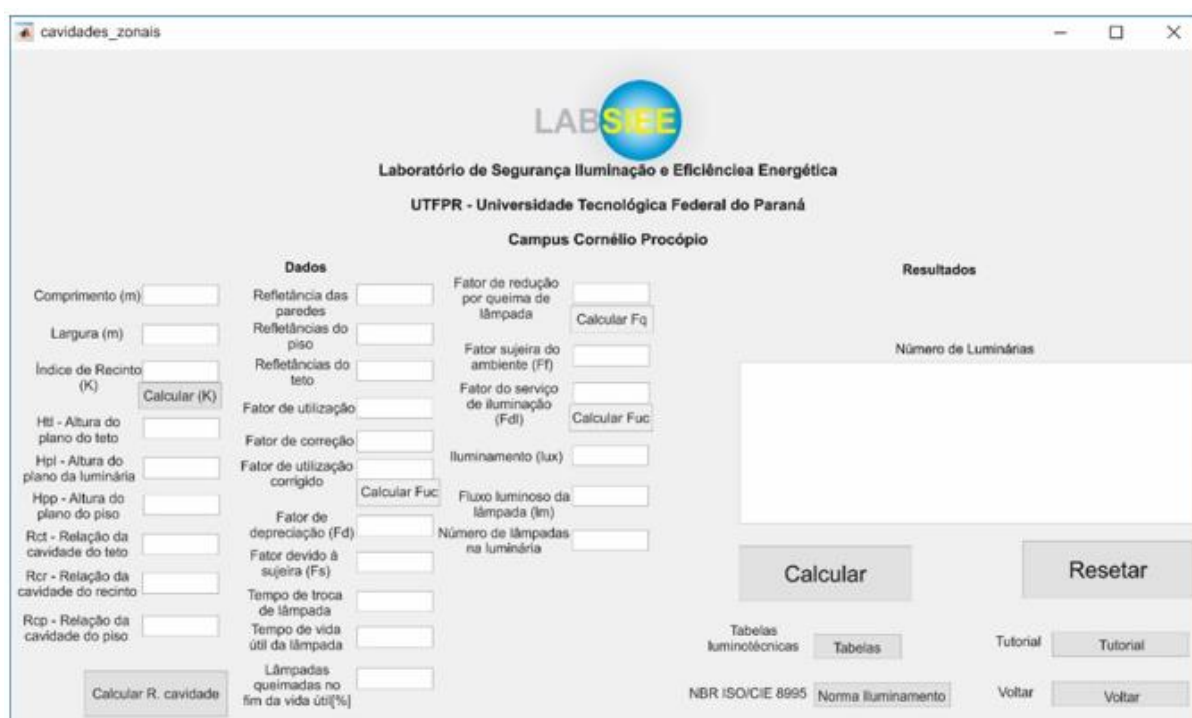


Figura 7 – Interface gráfica para método das cavidades zonais

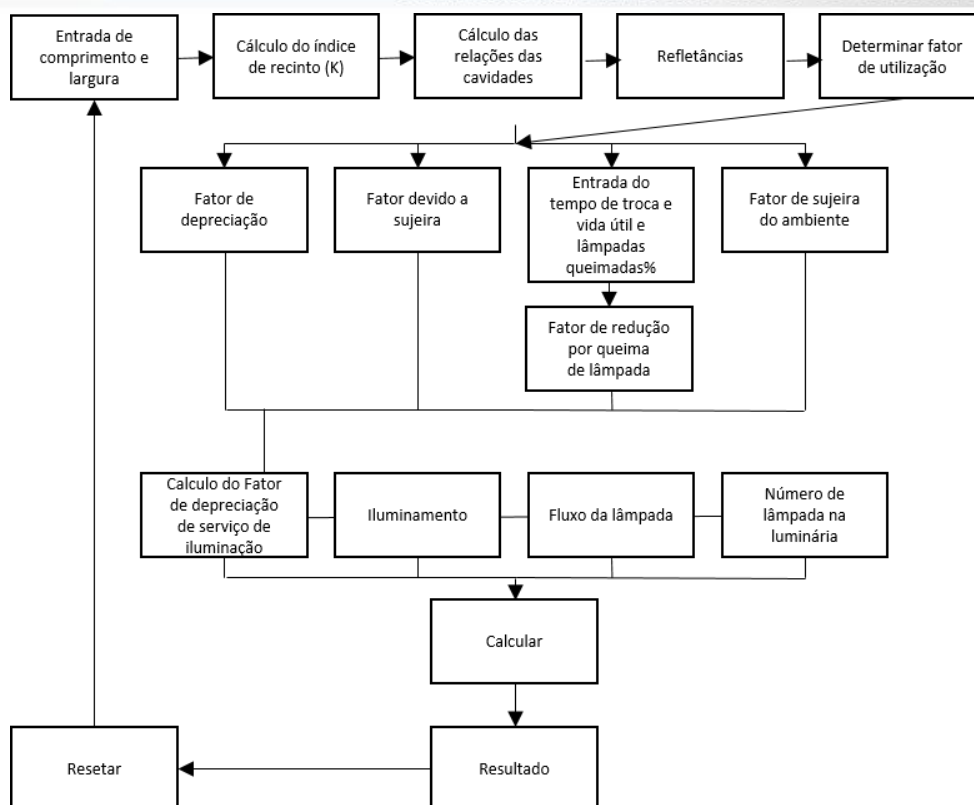


Figura 8 – Diagrama de blocos da interface do método das cavidades zonais

Na ferramenta desenvolvida neste trabalho, pode ser classificada como método para cálculo luminotécnico para ambientes externos, mas pode 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 as somas dos n cálculos anteriores. A Figura 9 mostra como interagir 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 globais, 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 9 – Interface gráfica do método de iluminamento de ponto por ponto

O diagrama de blocos da Figura 10 ajuda a compreender a lógica computacional empregada.

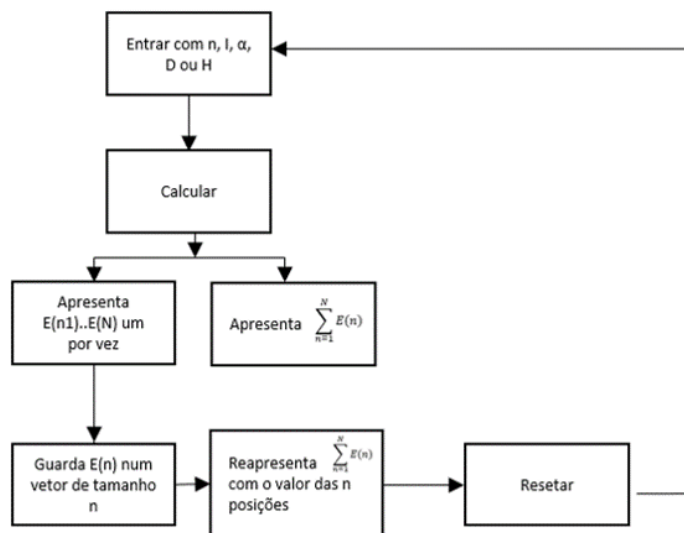


Figura 10 – Diagrama de blocos método de ponto por ponto

6. Resultados

Para comprovar a eficácia das interfaces, ambas foram confrontadas com o software DIALux, onde foi comparado a resposta e o tempo de resposta. Cada interface foi submetida a um exemplo de aplicação, no caso o método das cavidades zonais foi submetido a um galpão industrial 17x12m², lâmpada vapor de mercúrio, refletor T38, 400W. A Figura 11 mostra os resultados obtidos pelo método das cavidades zonais.

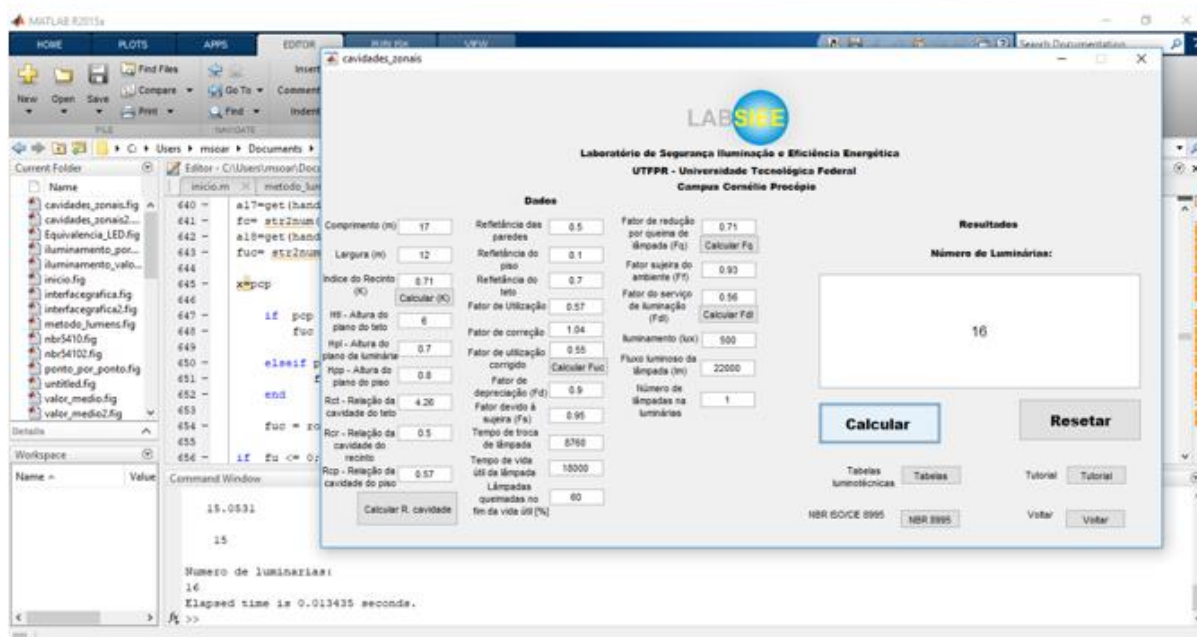


Figura 11 – Resultados obtidos com a interface gráfica para método das cavidades zonais

Já o método de iluminamento de ponto por ponto foi submetido a uma via de trânsito rápido, classe M4, com postes instalados com uma distância de 15m sendo 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 3,4m. A Figura 12 mostra os resultados obtidos pelo método de iluminamento de ponto por ponto.

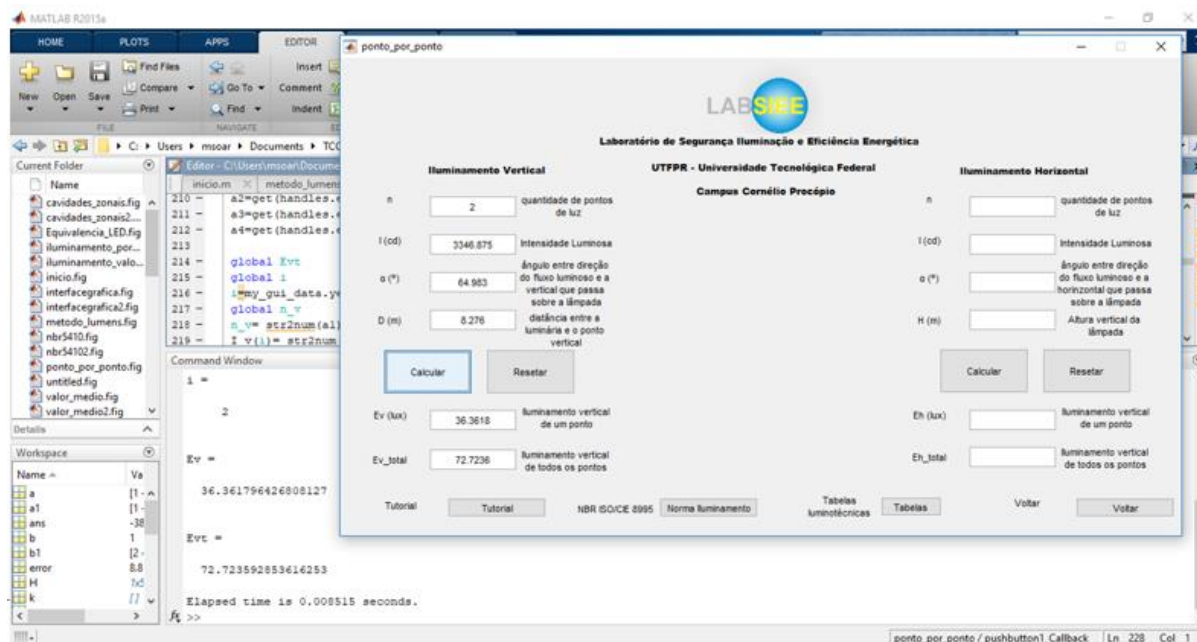


Figura 12 – Resultados obtidos pelo método de iluminamento de ponto por ponto

Ao confrontar os resultados do método das cavidades zonais com DIALux, observa-se o mesmo resultado, de 16 luminárias para o ambiente; porém o tempo de resposta do DIALux foi muito maior que o da interface gráfica, aproximadamente 17,9s (valor cronometrado), mas a resposta da interface gráfica foi de 13,435ms (valor obtido com a função *tictoc*).

O método de iluminamento de ponto por ponto necessita de uma maior interpretação, pois 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. Assim, para ter o iluminamento médio na área da pista estudada é necessário dividir esse iluminamento pela largura da pista. A Tabela 1 mostra os resultados obtidos do iluminamento.

	Resultados Obtidos	Fator de Divisão	Iluminamento médio pista
DIALux	17500 lm	$15\text{m} \times 7\text{m} = 105\text{m}^2$	166,67 lux
Ponto por ponto	1180,8 lux	7m	168,68 lux

Tabela 1 – Comparativo DIALux e Interface método de ponto por ponto

7. 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 para um determinado ambiente. 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.

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 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. 2018.

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 5413 – Iluminâncias de interiores. Rio de Janeiro. 1992.

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



VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Ponta Grossa, PR, Brasil, 05 a 07 de dezembro de 2018

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

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

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