

AVALIAÇÃO INTEGRADA DO DESEMPENHO VISUAL E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PELO DIALUX EVO 8 PARA PROJETOS DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

INTEGRATED EVALUATION OF VISUAL PERFORMANCE AND ENERGY EFFICIENCY BY DIALUX EVO 8 FOR ARTIFICIAL LIGHTING PROJECTS

Júlia Silva de Moraes¹

Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Alagoas, Brasil, arq.juliademoraes@gmail.com

Adrián Muros Alcojor²

Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, Catalunya, Espanha, adrian.muros@upc.edu

Leonardo Salazar Bittencourt³

Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Alagoas, Brasil, lsb54@hotmail.com

Resumo

O comportamento ambiental dos edifícios vem sendo discutido visando integrar aspectos quantitativos e qualitativos do desempenho energético ao processo de elaboração de projetos de iluminação artificial. O objetivo deste artigo é examinar a capacidade do software DIALux evo 8 em avaliar, de forma integrada, o desempenho visual e a eficiência energética de modelos virtuais durante a elaboração de projetos de iluminação artificial residencial. O delineamento do estudo consistiu na: (i) definição de indicadores de desempenho visual e eficiência da iluminação artificial; (ii) verificação do potencial de elaboração destes indicadores pelo software; (iii) aplicação da simulação em ambiente residencial. Os indicadores relativos ao conforto visual avaliados foram: iluminância mantida, uniformidade, índice limite de ofuscamento unificado, índice reprodução de cor e temperatura de cor. Os indicadores concernentes à eficiência energética avaliados foram: eficiência luminosa, densidade de potência da iluminação, densidade de potência limite da iluminação e densidade de potência relativa. A simulação objetivou fomentar a discussão da capacidade de análise por meio das métricas determinadas pelo software e dos aspectos relacionados à interface com o usuário durante as análises de desempenho visual e energético. Verificou-se que todos dos indicadores propostos são calculados pelo DIALux evo 8, porém a análise integrada propiciada pela interface gráfica do software prioriza as análises das iluminâncias. O índice limite de ofuscamento e as densidades de potência da iluminação são apresentados somente na documentação, demandando análises comparativas realizadas externamente ao programa. Observou-se limitações referente às normas utilizadas pelo software, exclusiva à EN 12464-1, consequentemente não incluindo tipologias residenciais. A contribuição deste trabalho consiste em discutir os recursos oferecidos pelo software e suas repercussões na gestão de projetos luminotécnicos.

Palavras-chave: Simulação. DIALux evo 8. Indicadores da iluminação artificial. Edifícios residenciais.

Abstract

The environmental behavior of buildings has been discussed in order to integrate quantitative and qualitative aspects of energy performance into the process of preparing artificial lighting projects. The purpose of this study is to examine the capacity of the DIALux evo 8 software to evaluate, in an integrated way, the visual performance and energy efficiency of virtual models during the elaboration of residential artificial lighting projects. The outline of the study consisted of: (i) definition of visual performance and efficiency indicators for artificial lighting; (ii) verification of the potential for the elaboration of these indicators by the software; (iii) application of simulation in residential environment. The visual comfort indicators evaluated were: maintained illuminance, uniformity, unified glare rating, color rendering index and color temperature. The indicators concerning energy efficiency evaluated were: luminous efficacy and lighting power densities. The simulation aimed to promote the discussion of capacity through the metrics determined by the software and aspects related to the user interface during the analysis of visual and energy performance. It was found that all of the proposed indicators are calculated by DIALux evo 8, however the integrated analysis provided by the software's graphical interface prioritizes the analysis of illuminances. The Unified Glare Rating and lighting power densities are presented only in the documentation, requiring comparative analyzes performed outside the program. There were limitations regarding the standards used by the software, exclusive to EN 12464-1, consequently not including residential types. The contribution of this work consists of discussing the resources offered by the software and its repercussions in the management of lighting projects.

Keywords: Simulation. DIALux evo 8. Artificial lighting indicators. Residential buildings.

How to cite this article:

MORAES, Júlia Silva de; MUROS ALCOJOR, Adrián; BITTENCOURT, Leonardo Salazar. Avaliação integrada do desempenho visual e eficiência energética pelo DIALux evo 8 para projetos de iluminação artificial. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 11, p. e020005, 2020. ISSN 1980-6809.

Introdução

Os avanços na integração de tecnologias computacionais na arquitetura, ocorridos a partir de 1990, permitiram que a prática e a teoria da Arquitetura evoluíssem simultaneamente, trazendo novas abordagens e orientações metodológicas de projeto, entre elas aquelas que consideravam os aspectos formais do projeto arquitetônico como consequência dos condicionantes tecnológicos. Observa-se o crescimento de edifícios baseados na tectônica (FRAMPTON, 1995) e no desempenho, bem como o interesse nos paradigmas envolvendo a complexidade desses projetos (OXMAN, 2006, 2008, 2017).

As tecnologias de modelos arquitetônicos paramétricos buscam a integração de sistemas computacionais para o desenvolvimento de projetos. Neste sentido, os modelos de simulação baseados em desempenho contam com *softwares* que oferecem processos dinâmicos de formação com base em objetivos específicos de desempenho e o projeto de arquitetura emerge como consequência desses condicionantes (OXMAN, 2006, 2008, 2017).

A simulação de modelos arquitetônicos com ênfase em desempenho pressupõe a utilização de um “conjunto de critérios que são padrões utilizados para testar julgamentos e decisões” (GRONDZIK; KWOK, 2013, p. 12). Neste sentido, os indicadores são entendidos como valores referenciais que auxiliam o projetista em relação ao desempenho que se deseja obter. O indicador é uma medida, geralmente quantitativa, usado para ilustrar e comunicar fenômenos complexos de forma simples, incluindo as tendências e os progressos ao longo do tempo (EEA, 2005).

Os ambientes arquitetônicos necessitam de um conjunto de indicadores que melhor expressem o desempenho dos sistemas instalados. Ao comparar seu próprio desempenho com o desempenho do referencial estabelecido, os gestores de um edifício podem identificar, de forma simplificada, possibilidades de incremento em seu desempenho (CBCS, 2013).

Os indicadores de iluminação artificial em ambientes residenciais

Os principais indicadores referentes ao desempenho da iluminação artificial em ambientes residenciais foram examinados por Moraes, Muros Alcojor e Bittencourt (2018). Estes indicadores determinam as iluminâncias mantidas em ambientes residenciais (ABNT, 2013a). Já o desempenho energético da iluminação é avaliado por meio de limites mínimos de eficiência luminosa descritos no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais – RTQ-R (ELETROBRAS; UFSC, 2014).

Moraes, Muros Alcojor e Bittencourt (2018) alertam que a falta de um conjunto de indicadores residenciais que associem conforto visual e eficiência energética leva os projetistas brasileiros a recorrerem a parâmetros de outros usos arquitetônicos como os comerciais, de serviços e públicos (ABNT, 2013b), ou até mesmo a normativas internacionais (ASHRAE, 2016; CEN, 2011), muitas vezes com critérios de desempenho diferentes do desejado para residências.

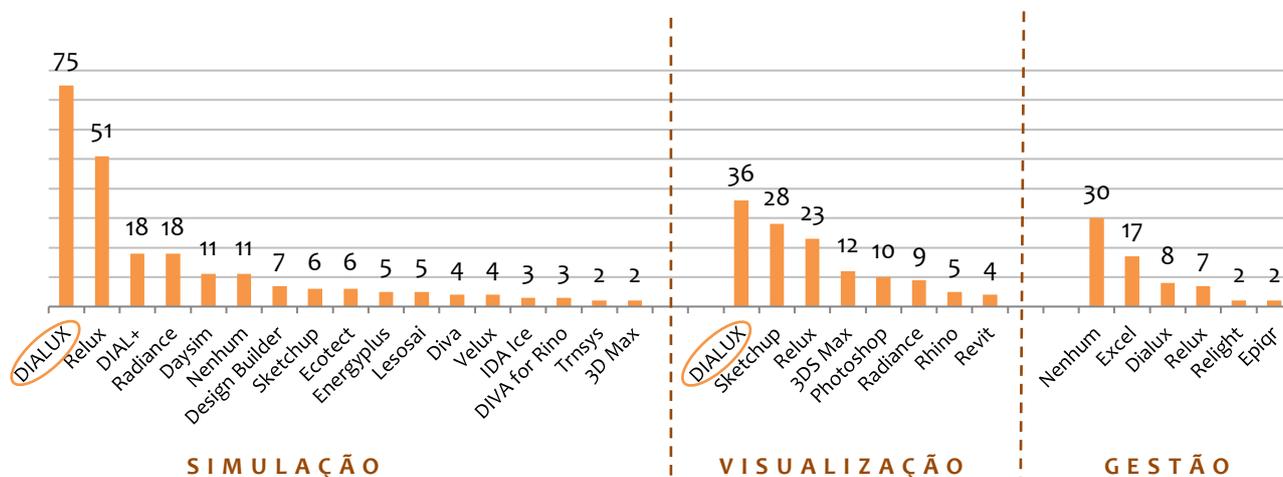
Buscando contribuir para essa lacuna identificada nas normativas nacionais e aspectos relacionados ao uso desses referenciais em simulações de ambientes residenciais, este artigo amplia a investigação a respeito dos referenciais normativos de projeto de iluminação artificial residencial (MORAES, MUROS ALCOJOR, BITTENCOURT, 2018), a partir da análise dos indicadores da iluminação artificial obtidos por meio de modelos computacionais e de aspectos relacionados ao uso desses referenciais normativos em simulações de modelos virtuais.

Softwares de apoio ao projeto de iluminação

A luz e sua interação com a arquitetura são estimadas com modelos matemáticos usados nos softwares de iluminação. Esses programas, cada vez mais integrados e parametrizados, auxiliam o projeto com ferramentas de cálculo, visualização e gerenciamento de aspectos quantitativos e qualitativos, tais como uniformidade luminosa, contrastes, refletância das superfícies internas, bem como questões estéticas da luz em ambientes internos e externos do edifício (MONEDERO, 2015).

A Figura 1, baseada no estudo de Kaempff et al. (2016), apresenta as preferências de cerca de mil profissionais de diferentes países em relação a diversas ferramentas ou programas de iluminação indicados para simulação, visualização e gestão disponíveis. Observa-se que a maioria dos softwares é dedicada ao desempenho energético e à iluminação natural. Os softwares *DIALux* e *Relux*, por sua vez, destacam-se entre os mais utilizados para simulações computacionais e visualização de projetos. Segundo Meshkova e Budak (2013), o *DIALux* é um dos programas mais populares para simular a iluminação. Essa grande aceitação ocorre principalmente por ser gratuito, por estar disponível em aproximadamente 25 idiomas e por contar com as parcerias que possibilitam a utilização do software com diferentes catálogos de luminárias dos principais fabricantes (*DIAL GMBH*, 2019a, 2019c).

Figura 1 – Preferência dos profissionais em relação aos diversos programas de iluminação indicados para simulação, visualização e gestão



Fonte: Os autores (adaptado de interface de *DIALux evo 8*).

Recentemente, Baloch et al. (2018) desenvolveram uma revisão sistemática da literatura abrangendo 70 artigos publicados no período de 2001 a 2017 abordando a simulação da iluminação de espaços arquitetônicos em meio virtual. Nessa revisão, o *DIALux* não está presente na lista dos mais citados em revistas indexadas, apresentando apenas uma citação. Isso ocorre pela facilidade com que os pesquisadores desenvolvem seus próprios programas com base em algoritmos de sua preferência particular, com apoio de programas como o MATLAB em conjunto com outros, tais como *EnergyPlus*, *Radiance*, *Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench (LabVIEW)*, *Transient System Simulation (TRNSYS)*.

Esse resultado demonstra um certo distanciamento entre os estudos acadêmicos e o mercado profissional, uma vez que a suíte de programas *DIALux* lidera a preferência dos profissionais nos aspectos relacionados à simulação e visualização de projetos de iluminação (KAEMPF et al., 2016). Não obstante, já se observa um gradativo interesse

no *DIALux* por parte da área acadêmica, como a sua utilização em teses e dissertações (CORDEIRO, 2018; MOURA, 2015).

Este artigo tem como objetivo examinar a capacidade do *software DIALux evo 8* em avaliar, de forma integrada, o desempenho visual e a eficiência energética quando da elaboração de projetos de iluminação artificial em ambientes residenciais. O conhecimento do desempenho (geralmente expresso na forma de indicadores de desempenho da iluminação artificial) durante a elaboração de projetos é relevante, uma vez que permite ajustes nos rumos dos projetos desde suas etapas iniciais, permitindo estimar o impacto decorrente de diferentes decisões projetuais.

Método

Para alcançar o objetivo proposto realizou-se um estudo seguindo as seguintes etapas: (i) adoção dos indicadores de desempenho visual e eficiência energética dos sistemas da iluminação artificial em ambientes residenciais propostos em Moraes, Muros Alcojor e Bittencourt (2018, p. 37); (ii) verificação de quais desses indicadores são calculados no *software DIALux evo 8*; (iii) realização de simulações computacionais. As simulações tem o objetivo de verificar a capacidade do *software* em realizar análises de desempenho energético de edificações, concomitantemente com a visualização do efeito luminotécnico e arquitetônico em ambientes residenciais.

Os indicadores examinados neste artigo foram obtidos em publicações que enfocam essa temática; especialmente nas normas e certificações atuais (ABNT, 2013a, 2013b; ELETROBRAS; UFSC 2014, 2015). As grandezas fotométricas apresentadas em Moraes, Muros Alcojor e Bittencourt (2018, p. 37) correspondem às unidades de medida adotadas para o estabelecimento de indicadores concernentes ao conforto visual e dedicadas à obtenção de maior eficiência energética no ambiente habitado. Estas grandezas serão examinadas com o auxílio do *software DIALux evo 8*.

Os indicadores relativos ao conforto visual - iluminância mantida (E_M), uniformidade (U_o), índice limite de ofuscamento unificado (UGR_L), índice reprodução de cor (IRC) e temperatura de cor (T_{cp}) - expressam condições favoráveis ao desempenho das atividades realizadas em ambientes residenciais. Já os concernentes à eficiência energética - eficiência luminosa (η), densidade de potência da iluminação (DPI), densidade de potência limite da iluminação (DPI_L) e densidade de potência relativa (DPI_R) - são decorrentes de aspectos complementares, como o desempenho dos equipamentos instalados (lâmpadas, luminárias e complementos), as características do ambiente construído (forma, dimensões, acabamento das superfícies internas, tipologia das aberturas) e aspectos comportamentais dos usuários (MORAES; MUROS ALCOJOR; BITTENCOURT, 2018).

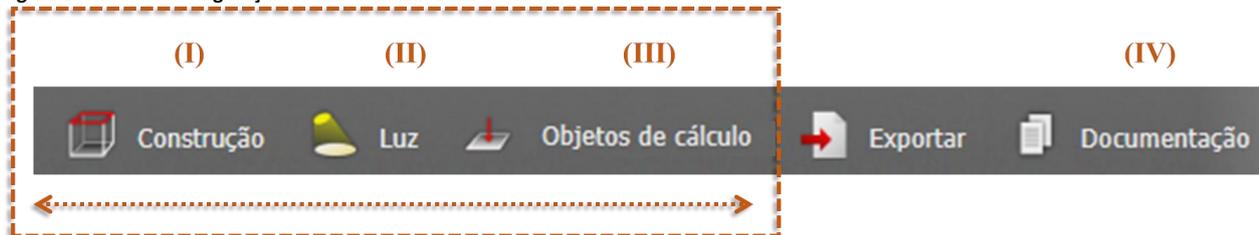
A segunda etapa verifica quais indicadores determinados na fase anterior são considerados como referenciais de projeto pelo *software*. Para isso, foram examinados os manuais eletrônicos e o suporte técnico disponibilizado pelo *software* (DIAL GMBH, 2019a).

A terceira e última etapa realiza a modelagem de um ambiente residencial utilizando o *DIALux evo 8* como ferramenta para simulação e análises de desempenho energético, a fim de verificar a capacidade do *software* de simular análises energéticas concomitantemente com a visualização do efeito luminotécnico e suas repercussões na gestão dos projetos da edificação que se quer examinar.

Verificação dos indicadores de iluminação artificial calculados no *DIALux evo 8*

A simulação do desempenho de sistemas de iluminação artificial com modelos virtuais, pelo software *DIALux evo* (DIAL GMBH, 2019a), consiste em um processo de construção e retroalimentação de dados relativos ao projeto de iluminação, a partir da configuração de três itens fundamentais: **(I) construção**, **(II) luz** e **(III) objetos de cálculo**. Estes itens são detalhados nos parágrafos subsequentes. Os demais itens, **(IV) exportação e documentação**, referem-se à manipulação dos dados de saída das simulações, como exportação de dados e imagens, e apresentação de relatórios (Figura 2).

Figura 2 – Itens de configuração dos modelos no *DIALux evo 8*



Fonte: Os autores (adaptado de interface de *DIALux evo 8*).

Construção

A fase de construção refere-se aos aspectos relacionados aos parâmetros de modelagem do ambiente (edifício ou espaço urbano), às atividades desenvolvidas no ambiente modelado e às características das superfícies constituintes, atribuídos aos materiais, bem como de cores das superfícies.

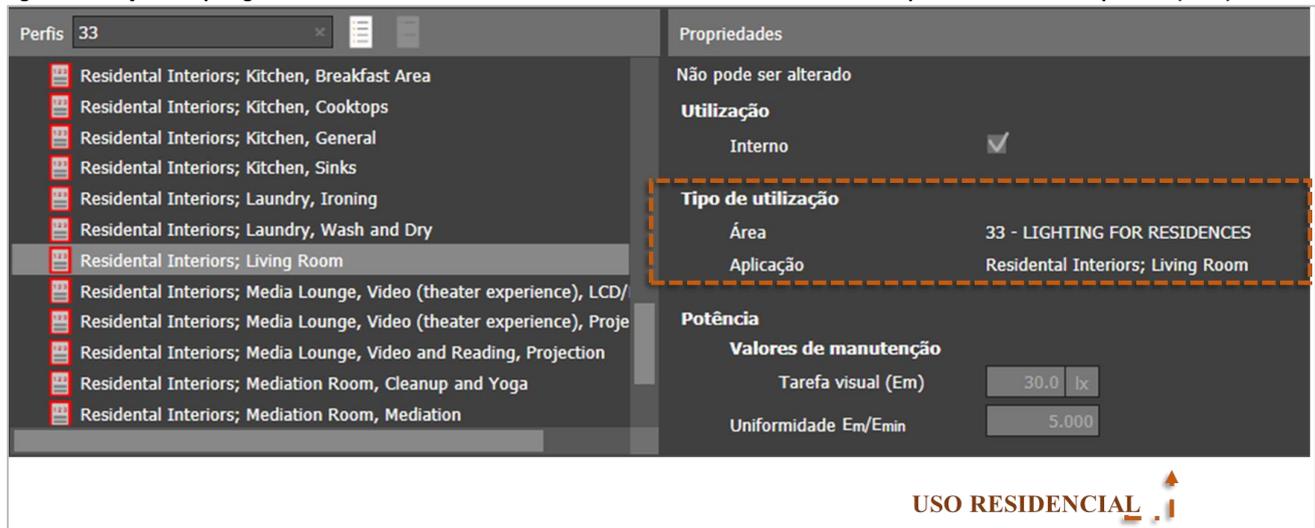
O processo de construção é realizado por uma série de ferramentas que permitem a modelagem da edificação no espaço virtual, podendo ser um ambiente, um andar, vários pavimentos, ruas e ambientes externos. Isso ocorre com o *input* dos atributos relativos ao mesmo, incluindo a inserção do mobiliário dos ambientes e espaços urbanos a partir de um catálogo de objetos parametrizados. No *DIALux evo* existe um catálogo de objetos que podem ser reproduzidos no modelo com dimensões e características dos materiais constituintes modificados (DIAL GMBH, 2019a). O modelo a ser utilizado nas simulações poderá também ser construído em outros programas paramétricos que possuam interface com o *DIALux evo*, a exemplo do *AutoCAD* e do *Revit*, ambos da suíte da *Autodesk*, além do *SketchUp*.

Na etapa de construção, são definidas as atividades exercidas pelos usuários de cada ambiente, no andar e no edifício. Neste momento, as características dos ambientes internos são associadas aos parâmetros estabelecidos pela EN 12464-1 (CEN, 2011) e CIE 97 (2005), que tratam do conforto visual nos ambientes de trabalho, e à manutenção de equipamentos elétricos de iluminação. Ainda nessa etapa, são definidas as métricas do desempenho da iluminação artificial, assim como os referenciais de desempenho visual a serem examinados, tais como iluminâncias mínimas necessárias para o desenvolvimento dos diversos tipos de atividades, como também IRC e outros indicadores.

Como segunda opção normativa, o software disponibiliza, desde a versão 7 (DIAL GMBH, 2017), os parâmetros para obtenção do conforto visual adotados pela *Illuminating Engineering Society* no *IES Lighting Handbook* (2011). Como a EN 12464-1 (CEN, 2011) não abrange o uso residencial no seu escopo, os parâmetros descritos no manual IES (2011) são empregados nas simulações realizadas em tais ambientes. A Figura 3

demonstra o uso residencial e suas aplicações e atividades exercidas nos ambientes descritos pela IES (2011).

Figura 3 – Eleição da tipologia residencial e atividades exercidas nos ambientes internos utilizando os parâmetros descritos pela IES (2011)



Fonte: Os autores (adaptado de interface de *DIALux evo 8*).

Características das superfícies: materiais e cores

As características e cores das superfícies dos materiais que compõem os ambientes podem ser inseridas de duas formas: (i) pela modelagem paramétrica, utilizando o catálogo de materiais e cores disponíveis no software ou (ii) pela configuração direta do ambiente (Figura 4).

As propriedades físicas do objeto arquitetônico, como o tipo do material, sua textura e cor, são exibidas na tela do catálogo de materiais e cores do *DIALux evo*. Caso as configurações descritas no catálogo não atendam às características do modelo em construção, é possível criar a textura desejada a partir do tipo de material e do grau de refletância da superfície (Figura 4).

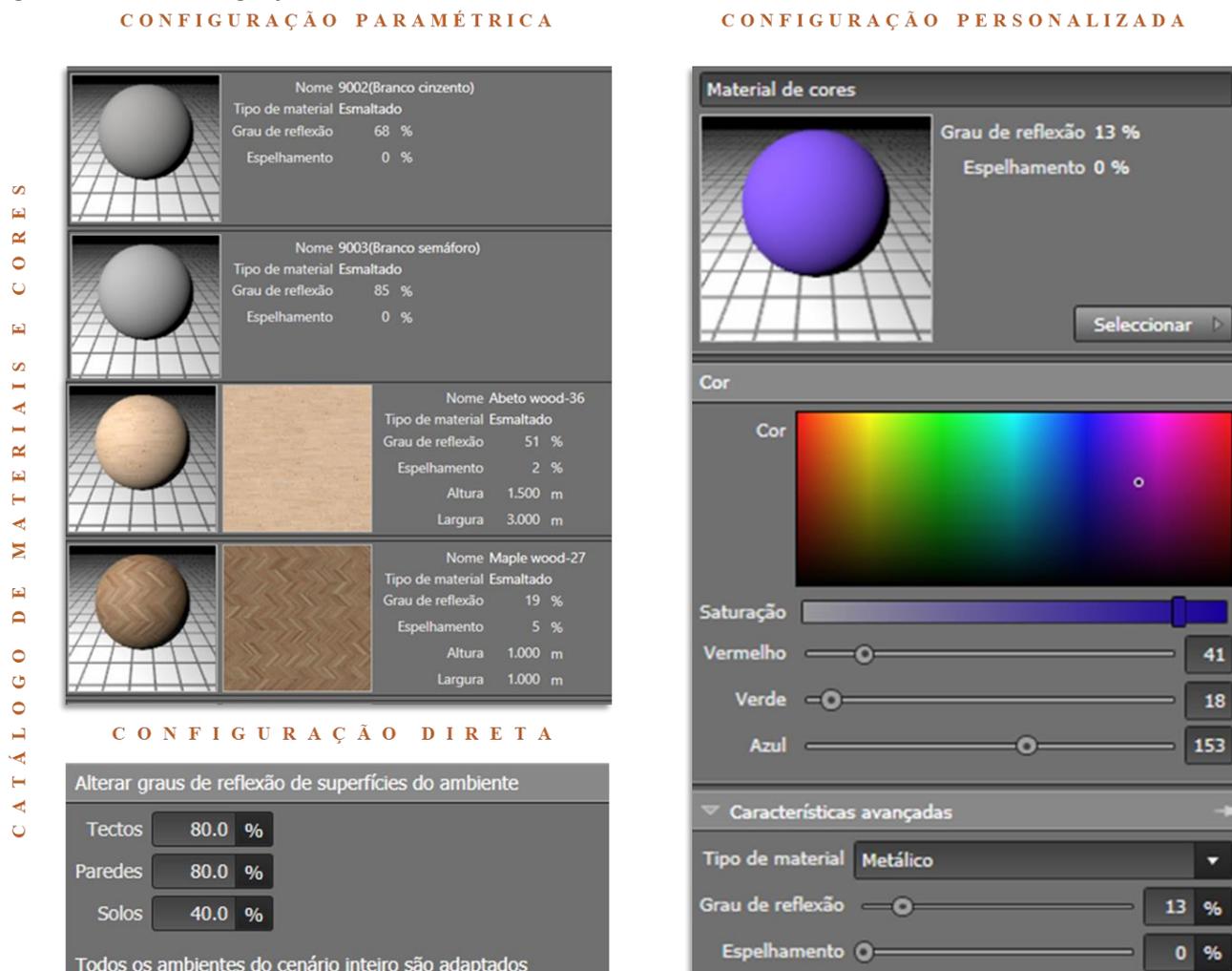
Por outro lado, o método de configuração direta ou rápida consiste na inserção imediata das refletâncias das superfícies do ambiente de piso, paredes e teto, de acordo com a CIE (2005). Este método pode ser utilizado tanto no início da modelagem quanto nos ajustes finais da construção dos modelos.

Luz

O *DIALux evo* considera três aspectos como fundamentais para a modelagem da iluminação artificial em ambientes virtuais: (i) os sistemas de iluminação artificial, (ii) os cenários e (iii) o consumo energético dos sistemas.

Os parâmetros que compõem os **sistemas de iluminação artificial** incluem luminárias, lâmpadas e sistemas de controle de luz diurna. Eles são inseridos utilizando uma plataforma eletrônica composta de catálogos de sistemas de iluminação, que contribuem para o banco de dados do programa, denominados *LUMsearch plug-in* (DIAL GMBH, 2019c).

Figura 4 – Interface de configuração dos materiais e cores no *DIALux evo*



Fonte: Os autores (adaptado de interface de *DIALux evo 8*).

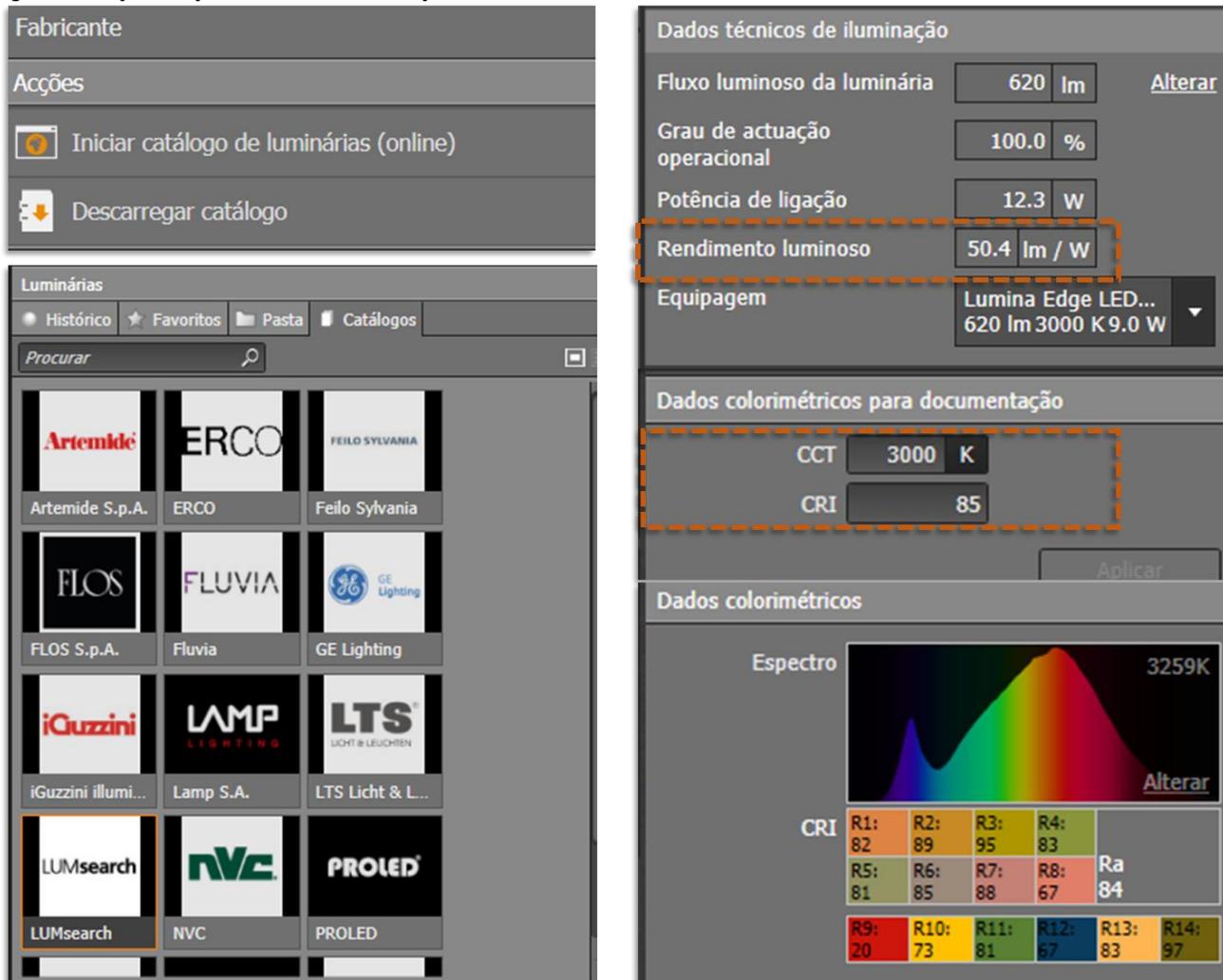
O *LUMsearch* (DIAL GMBH, 2019c) é uma ferramenta de busca *online* de sistemas de iluminação. Conta com fabricantes com atuação no país, que disponibilizam os dados luminotécnicos, no formato ULD ou EULUMDAT (*.ldt). Os dados fotométricos das fontes de luz, como por exemplo o fluxo luminoso (lm), a eficiência luminosa (lm/W), a temperatura de cor (K) e o IRC são automaticamente inseridos na luminária ou sistema de iluminação.

Os parâmetros contidos nos sistemas de iluminação citados anteriormente podem ser personalizados e modificados durante a modelagem, sendo possível a inclusão de lâmpadas e luminárias de outros fabricantes. Durante a personalização, são inseridos e ajustados os parâmetros de desempenho almejados pelo projetista. Este processo encontra-se sintetizado na Figura 5. Vale ressaltar que a disponibilização e edição dos dados relacionados à eficiência luminosa (lm/W) da luminária é uma ferramenta nova apresentada pelo *software* a partir da versão 8 (DIAL GMBH, 2018, 2019a).

O *LDT Editor 1.2* (DIAL GMBH, 2019b) é outro *software* que permite a personalização dos dados fotométricos a serem utilizados nas simulações. Este *software* é indicado para editar parâmetros luminotécnicos, se necessário for, como dimensões, configuração de lâmpadas e intensidade luminosa, adequando os sistemas disponíveis às necessidades do projeto. Os parâmetros podem ser salvos como um arquivo EULUMDAT,

independentemente do formato de arquivo original, e integrados ao projeto de iluminação desenvolvido no DIALux.

Figura 5 – Seleção e edição de sistemas de iluminação



(I) Pesquisa por sistemas de iluminação

(II) Edição de parâmetros

Fonte: Os autores (adaptado de interface de *DIALux evo 8*).

Uma vez definidos os sistemas de iluminação, a ferramenta denominada “cenários de luz” permite a organização desses sistemas por grupos no mesmo ambiente, que podem ser compostos de sistemas de iluminação natural, artificial ou integrados. A ferramenta permite o desenvolvimento de múltiplos cenários e efeitos produzidos pela interação desses grupos.

Outro aspecto importante diz respeito às técnicas de controle da luz no ambiente. Os cenários facilitam a visualização de efeitos produzidos por dimerizadores, filtros e outros equipamentos. Dessa forma, é possível ajustar o fluxo luminoso da fonte, alterar critérios de cor e de outras características típicas de um projeto de iluminação.

O software agrega o gestor de consumo de energia às configurações dos sistemas de luz. Esta ferramenta oferece três opções de medição: consumo dos sistemas de iluminação em kWh por ano; Indicador Numérico de Energia da Iluminação (*Lighting Energy Numeric Indicator*) - LENI em kWh por ano por metro quadrado; e custo anual, Euro por ano (pois se trata da moeda padrão do programa). As faixas numéricas

apresentadas podem ser ajustadas em função das necessidades do projetista. O LENI é um indicador determinado de acordo com as especificações da norma EN 15193 - 1 (CEN, 2017), que especifica a medida da eficiência energética das instalações de iluminação em edifícios. É considerado um indicador completo por incluir nas variáveis que o compõe aspectos referentes à luz natural, sistemas artificiais e equipamentos de controle da luz, incluindo as rotinas de uso do ambiente e das pessoas na edificação. O LENI possibilita também apresentar aspectos específicos de cada ambiente da iluminação, denominado sub - LENI, *Lighting Energy Numeric Indicator for an area* - $LENI_{sub}$ e outros aspectos como o intervalo de tempo - que pode ser anual (CEN, 2017). Estes parâmetros podem ser editados e configurados em função das particularidades da simulação programada.

No *DIALux evo*, o LENI e os indicadores de consumo da iluminação são associados a um taquímetro, visível em todas as etapas do projeto. Esta ferramenta mede os consumos e sinaliza os ambientes que estão acima dos limites estabelecidos pelo projetista (Figura 6).

Figura 6 – Medição do consumo de energia e custos



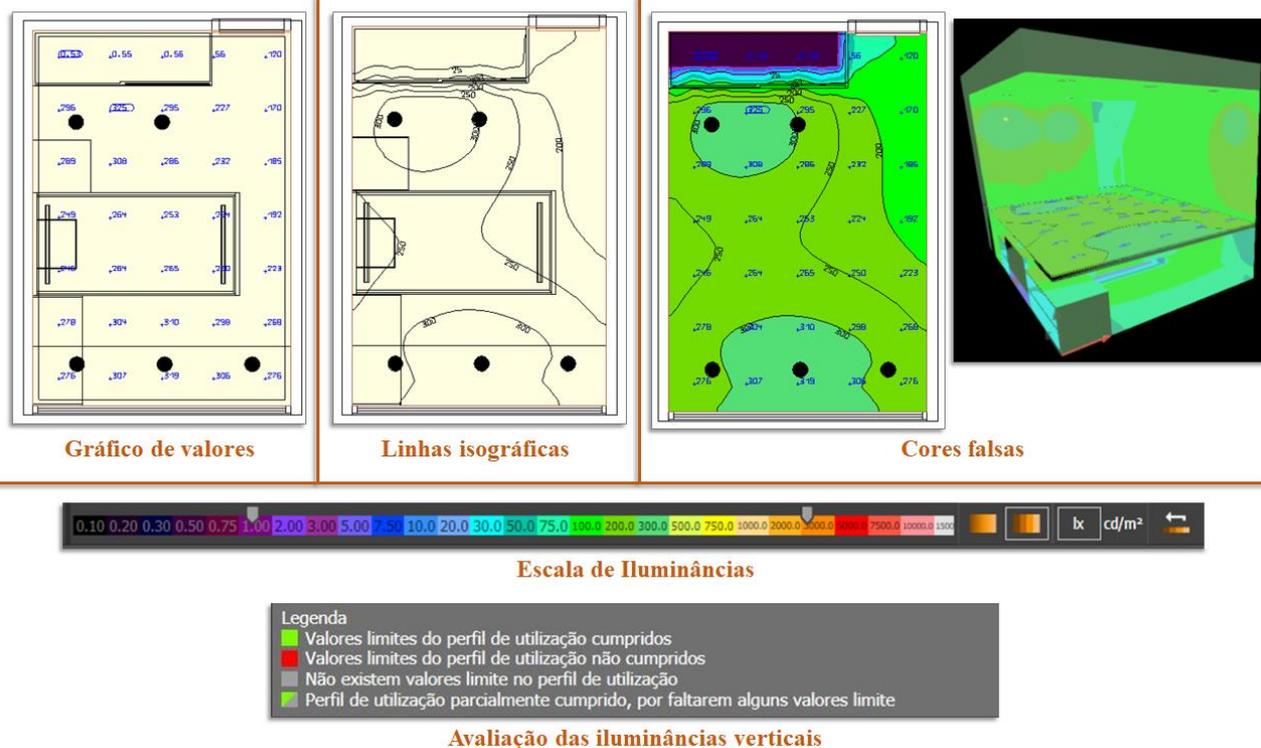
Fonte: Os autores (adaptado de interface de *DIALux evo 8*).

Objetos de cálculo

A etapa de objeto de cálculo consiste na definição de parâmetros relativos ao cálculo de iluminação. Isso significa pensar nas atribuições do modelo nos planos de uso, que podem ser as superfícies ou o ambiente como um todo. Também envolve a definição das zonas marginais aos planos, ou seja, as distâncias em relação às paredes e outros elementos, se necessário for.

O software permite a configuração de diagramas que representam as iluminâncias obtidas no modelo em relação aos planos definidos. Estes diagramas podem representado em termos de gráfico de valores, linhas isográficas e escalas de cores (Figura 7).

O gráfico de valores apresenta uma malha de pontos contendo as iluminâncias do ambiente no plano determinado pelo projetista ou seguindo os parâmetros determinados pela norma técnica estabelecida pelo programa: a EN-12464 (CEN, 2011). Já as linhas isográficas, ou curvas de isoiluminância, são traçadas pelos pontos com igual iluminância, obtidos pela interpolação das iluminâncias contidas no plano de referência.

Figura 7 – Espacialização dos resultados no ambiente virtual do *DIALux evo*

Fonte: Os autores (adaptado de interface de *DIALux evo 8*).

As linhas isográficas são também apresentadas utilizando cores. O software oferece três gamas de cores, para valores baixos, valores médios e valores altos, totalizando 27 disponíveis. Os valores apresentados pelas iluminâncias em escala de cores, nas unidades lux ou em Candelas/m², são utilizados em todos os diagramas e vistas do projeto. Por esse motivo, são chamadas de "cores falsas globais" (DIAL GMBH, 2019a).

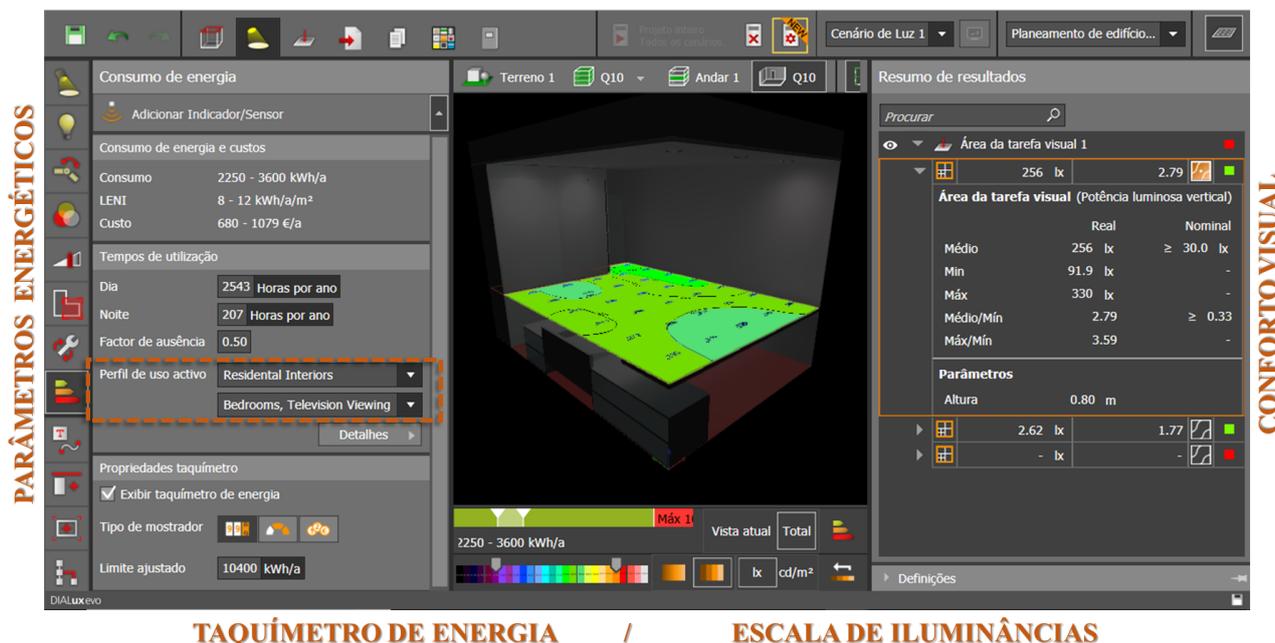
Ao finalizar as três etapas elencadas, por este trabalho, (I) **construção**; (II) **luz**; (III) **objetos de cálculo** - é possível visualizar, em uma única tela do programa, os indicadores considerados mais acessíveis ao usuário (Figura 8). Como exemplo, a Figura 8 apresenta um modelo de simulação de iluminação residencial situada no centro. Na lateral direita encontra-se um resumo dos indicadores de conforto visual, contendo dados relativos à iluminância, na lateral esquerda estão os parâmetros de desempenho energético. Na parte inferior da tela encontra-se o taquímetro de consumo energético e a escala de iluminâncias, onde o software acusa se as metas estabelecidas para cada projeto foram alcançadas.

A janela lateral direita, denominada "Resumo dos resultados" (Figura 8), determina os valores relativos à potência de iluminância vertical e ao fator de uniformidade do modelo simulado. Estes dados possibilitam ao projetista iniciar análises de conforto visual e ofuscamento, utilizando o fator de ofuscamento (U_o) obtido na simulação. Outros resultados gráficos, bem como valores relacionados ao Limite de Ofuscamento Unificado (UGR_L) são apresentados posteriormente na fase de **documentação**.

Documentação

A etapa de **documentação** refere-se aos resultados obtidos nas simulações, decorrentes das três etapas anteriormente descritas. Na documentação, constam informações dos sistemas de iluminação, montagem, instalação e desempenho visual e energético das soluções modeladas previamente. As informações emitidas podem ser sobre um ambiente, um andar, um edifício ou um grupo de edifícios.

Figura 8 – Indicadores de desempenho energético e visual no modelo de simulação



Fonte: Os autores (adaptado de interface de *DIALux evo 8*).

Nos relatórios encontram-se as DPIs correspondentes ao plano de uso do ambiente, denominadas pelo *software* como Potência de Ligação Específica e apresentam os valores expressos em W/m^2 e $W/m^2/100$ lx. Encontra-se também o rendimento luminoso do sistema de iluminação, em lm/W . Como exemplo, a Figura 9 demonstra a saída de dados disponibilizados pelo *software* de um modelo de desempenho da iluminação para um ambiente residencial.

Após verificar quais indicadores estão inseridos como referenciais de projeto pelo *DIALux evo 8*, foi possível identificar a aplicação dos indicadores e reuni-los em dois grupos sintetizados no Quadro 1. Os indicadores denominados **simulação integrada** são aqueles determinados pelo *software* para realização de análises de desempenho integradas do modelo simulado. Já o segundo grupo de indicadores, disponibilizados na fase de **documentação**, dependem de configurações adicionais dedicadas à saída de dados nos relatórios. Estes dados podem ser organizados de forma a conter todos os parâmetros disponíveis na saída de dados ou apenas dados parciais, a critério do projetista.

Observa-se que a maioria dos indicadores referentes ao conforto visual encontram-se determinados na fase denominada **simulação integrada**. Já os indicadores relativos ao desempenho energético, tais como a densidade de potência da iluminação, apresentam-se como dados de saída, na fase de **documentação**. Desta forma, todos os indicadores propostos em Moraes, Muros Alcojor e Bittencourt (2018, p. 37) são calculados pelo *DIALux evo 8*.

Figura 9 – Indicadores de desempenho energético da iluminação artificial disponibilizados na documentação

| RELATÓRIO | | DIALux | |
|----------------------------------|-------------------|--------------|----------------------------|
| # Luminária | Φ(Luminária) [lm] | Potência [W] | Rendimento luminoso [lm/W] |
| 5 [REDACTED] - 08 EF36-E10700830 | 700 | 10.5 | 66.7 |
| Somatório de todas as luminárias | 3500 | 52.5 | 66.7 |

Potência de ligação específica: $5.31 \text{ W/m}^2 = 2.28 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ Superfície da divisão 9.88 m^2

Os valores de consumo de energia referem-se às luminárias planeadas para o ambiente, sem considerar cenários de iluminação e seus estados reostáticos.
Consumo: 91 - 140 kWh/a de no máximo 350 kWh/a

DPI DO AMBIENTE

Fonte: Os autores. Adaptado de interface de *DIALux evo 8*

Quadro 1– Indicadores investigados disponíveis nas fases de simulação e documentação

| | Simulação Integrada | Documentação |
|-----------------------|---|---|
| Conforto visual | E (lux) E _{med} (lux) E _{min} (lux) E _{max} (lux) E _{min} / E _{med} E _{min} /E _{max} U _o R _a T _{cp} (K) | UGR _L |
| Eficiência Energética | η (lm/W) C (kWh/a) LENI (kWh/a/m ²) | DPI _L (W/m ²) DPI _R (W/m ² · 100 lux) |

Sendo: E = Iluminância (lux); E_{max} = Iluminância máxima(lux); E_{min} = Iluminância mínima (lux); E_{med} = Iluminância média (lux); C = Consumo (kWh/a). Indicadores determinados pelo *software*. Fonte: Os autores

Capacidade de análises de desempenho da iluminação artificial de edificações pelo *DIALux evo 8*

A discussão da capacidade de análises de desempenho da iluminação artificial de edificações pelo *DIALux evo 8* incide nas métricas determinadas pelo *software* e nos aspectos relacionados à interface com o usuário durante as análises de desempenho visual e energético.

Métricas determinadas no *software*

Ao iniciar o processo de modelagem, observam-se limitações no que se refere aos parâmetros relacionados aos ambientes residenciais e às métricas estabelecidas no *software* como referenciais de projeto. Por se tratar de um *software* que possui abrangência mundial, a adoção apenas das normativas europeias (CEN, 2011) é um aspecto limitador, pois muitos projetistas buscam atender outras normas internacionais. A *International Organization for Standardization* – ISO, por exemplo, possui a ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013b) com abrangência internacional, vigente inclusive no Brasil. Esta e outras normativas poderiam estar contempladas como alternativas à EN 12464-1 (CEN, 2011).

Outro aspecto relacionado à EN 12464-1 (CEN, 2011) refere-se aos usos arquitetônicos descritos pela norma. A norma atende aos ambientes interiores, tarefas ou atividades para os setores industrial, comercial e público, excluindo o setor residencial. Esta exclusão indica uma carência normativa com relação à simulação do desempenho visual da iluminação artificial em ambientes residenciais. Isto tem levado o projetista a buscar,

por analogia, parâmetros utilizados para ambientes similares, como aqueles constantes de edificações comerciais e de serviços.

O LENI foi instituído pelas normas europeias como um indicador de análise energética do ambiente por meio da EN 15193-1 (CEN, 2017), que determina um método padrão de cálculo para a avaliação do desempenho energético dos edifícios. Consta no seu escopo que a referida norma não tem a função de definir limites ou valores referenciais de projeto, e sim ser um meio alternativo de demonstrar a conformidade dos sistemas de iluminação.

O indicador de densidade de potência da iluminação – DPI (W/m^2) seria uma possibilidade viável para comparação de desempenho energético. Para este indicador existem documentos normativos que o instituíram nas análises energéticas, a exemplo da *ASHRAE Standard 90.1* (ASHRAE, 2016). Estes documentos determinam referenciais de desempenho energético considerando as particularidades do ambiente e das atividades exercidas, como ocorre com a EN 15193-1 (CEN, 2017). No caso da *ASHRAE Standard 90.2* (2018), atualizada recentemente trazendo novas orientações de eficiência energética para residências, não se nota a especificação de critérios para a iluminação residencial como verificado nas demais tipologias consideradas pela *ASHRAE 90.1* (ASHRAE, 2016).

Vale ressaltar que tanto a *ASHRAE 90.1* (2016) como a EN 15193-1 (CEN, 2017) não atendem à tipologia residencial, aspecto este apontado por Moraes, Muros Alcojor e Bittencourt (2018) como lacuna normativa.

A interface gráfica relativa às análises energéticas

O *software DIALux evo 8* possui uma boa interface gráfica, possibilitando trabalhar, de forma associada, o sítio, o edifício e seus ambientes e as unidades isoladas. Permite também conciliar três aspectos fundamentais: a visualização do efeito luminotécnico desejado, o conforto visual e a eficiência dos sistemas instalados. Observa-se, porém, que a interface gráfica do *software* prioriza as análises das iluminâncias, no que se refere ao conforto visual e ao desempenho energético medido pela estimativa do consumo de energia e seu respectivo LENI. Estes indicadores são rapidamente identificados durante a simulação.

A preferência por análises de conforto visual com abordagem baseada em iluminâncias associadas a parâmetros de uniformidade da luz é notória. Baloch et al. (2018) ratificam esta característica, demonstrando que esse tipo de preferência se tornou comum na maioria dos programas. No caso das análises realizadas utilizando o *DIALux evo*, os gráficos que apresentam informações detalhadas a respeito da previsão do risco de desconforto por ofuscamento (UGR_L) são apresentados sob a forma de relatório.

Ao contrário dos demais parâmetros, a DPI apresenta dificuldade de visualização no *software* durante a simulação, levando o projetista a recorrer aos relatórios finais (documentação) sempre que desejar obter a DPI do ambiente. A busca por indicadores nos relatórios requer um processo trabalhoso que, por sua vez, demanda análises comparativas realizadas externamente ao programa. Este aspecto poderia ser eliminado pelo aprimoramento das áreas de trabalho do *software*, permitindo a inclusão de seleção de ferramentas contendo tais indicadores, bem como campos destinados à inserção de métricas relacionadas à DPI que auxiliem o projetista nas avaliações energéticas.

Lacunas e tendências

A consulta na página eletrônica do fabricante permite prever que, em um futuro próximo, estarão contemplados nas novas versões do *DIALux evo* a criação de novas ferramentas gráficas que favoreçam a visualização de indicadores complementares àqueles determinados atualmente nas análises energéticas disponibilizadas pelo *software*, apresentando uma interface gráfica mais amigável e integrada à visualização do efeito produzido pela luz artificial no modelo de simulação.

Espera-se que o *software* também introduza outros padrões de desempenho visual e energético, a exemplo da ISO (ABNT, 2013b) e da ASHRAE (2016), bem como desenvolva novas ferramentas que favoreçam a inserção de referenciais de projeto personalizados pelo projetista. Este aspecto favorece a prática de *benchmarking* aplicada à iluminação de ambientes, visando o alcance de melhores índices de desempenho.

O banco de dados *LUMsearch* (DIAL GMBH, 2019c) integrado ao *DIALux evo* é uma importante ferramenta que contribui para simulação de modelos virtuais, pois aproxima o mercado da iluminação e o projeto por meio do *software*, favorecendo a introdução de tecnologias mais eficientes no atendimento do impacto decorrente de diferentes decisões projetuais. O aperfeiçoamento dessa ferramenta poderá contribuir para o processo de *benchmark* da iluminação nos ambientes habitados, bem como dos sistemas de iluminação desenvolvidos pelas empresas participantes.

Conclusão

O *software DIALux evo 8* apresenta uma interface que integra questões esperadas pelas áreas de projeto e tecnologia, que vão desde a modelagem, parametrização, visualização dos efeitos luminotécnicos, aos critérios de desempenho visual e de eficiência energética, estabelecidos por normas ou por critérios de projeto.

As lacunas observadas no uso dessa ferramenta referem-se à aplicação do *software* em tipologias residenciais, no que se refere às métricas adotadas no *software* como referenciais de projeto. Esta barreira é percebida durante a configuração das atividades, pois a tipologia residencial não se encontra presente. O padrão IES (2011) foi definido recentemente pelo *software* como alternativa para realização das análises do conforto visual do projeto residencial. Esta opção é também recomendada por Moraes, Muros Alcojor e Bittencourt (2018) como parâmetro considerado viável para suprir a lacuna normativa existente.

Outro aspecto importante refere-se ao fato de que alguns indicadores que não possuem a mesma facilidade de visualização das métricas no *software* durante a simulação, levando o projetista a recorrer aos relatórios finais (documentação) sempre que desejar examinar o desempenho do ambiente. Vale ressaltar que essa característica, que envolve a etapa da documentação, já faz parte da rotina dos demais programas, pois a maioria baseia-se no conceito de relatório de desempenho para disponibilização de dados.

Os resultados da investigação apontaram para a necessidade de incorporar, nas análises disponibilizadas pelo *software*, outros padrões normativos como referenciais de desempenho visual e energético dos diferentes ambientes simulados. Este aspecto poderia ser associado a novas ferramentas gráficas, considerando a necessidade de ampliar a grade de opções de referenciais disponibilizados pelo *software*, favorecendo assim o processo de *benchmarking* da iluminação artificial.

Ainda assim, o *DIALux evo 8* é um *software* que concilia aspectos de visualização do efeito produzido pela iluminação artificial com análises de desempenho visual e

energético, possibilitando examinar o impacto decorrente de diferentes decisões projetuais, o que o torna recomendado como uma ferramenta gráfica de suporte para a tomada de decisões.

Além disso, a equipe técnica responsável pelo *software* demonstra receptividade às críticas e rapidez na solução de problemas eventualmente encontrados, conforme demonstrado no histórico das versões do programa (DIAL GMBH, 2017, 2018). Isso pode ter contribuído para a preferência dos profissionais pelo *software*, segundo a literatura consultada (MESHKOVA; BUDAK, 2013; KAEMPF et al., 2016).

As questões apresentadas neste artigo ressaltam a importância da utilização de indicadores como referenciais que podem ser utilizados durante o processo de gestão do projeto dos sistemas de iluminação artificial, contribuindo dessa maneira para o aperfeiçoamento das ferramentas computacionais capazes de realizar análises energéticas integradas à visualização dos efeitos luminotécnicos produzidos no modelo de simulação.

A simulação de indicadores de desempenho da iluminação artificial residencial é uma importante etapa de projeto de arquitetura, pois permite balizar decisões do ponto de vista da eficiência energética dos sistemas de iluminação e do conforto do usuário. Os indicadores obtidos por simulação podem contribuir para o aperfeiçoamento das normas nacionais, com reflexo positivo nas atividades profissionais dos projetistas.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES).

Referências

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**. Edificações Habitacionais. Desempenho Parte 1: Requisitos gerais Prefácio. Rio de Janeiro, 2013a. 60p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS . **NBR ISO/CIE 8995-1**. Iluminação de ambientes de trabalho. Rio de Janeiro, 2013b. 46 p.

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE Standard 90.1**. Energy Standard for Buildings Except Low-rise Residential Buildings. Atlanta, 2016.

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE Standard 90.2**. Energy-Efficient Design of Low-Rise Residential Buildings. Atlanta, 2018.

BALOCH, A. A., SHAIKH, P. H., SHAIKH, F., LEGHARI, Z. H., MIRJAT, N. H., UQAILI, M. A. Simulation tools application for artificial lighting in buildings. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, November 2017, p. 3007–3026, 2018. Elsevier. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.035>.

CEN - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 12464-1. Light and lighting - Lighting of work places**. Part 1: Indoor work places. UK, 2011.

CEN - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **CSN EN 15193-1 - Energy performance of buildings - Energy requirements for lighting - Part 1: Specifications, Module M9**. UE, 2017.

CIE - COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE. **CIE 097:2005 Maintenance of indoor electric lighting systems**. Vienna, Austria, 2005.

CORDEIRO, Ana Carolina Aquareli. **O uso de cobogós como segunda pele em edifícios de escritórios: análise do desempenho lumínico de diferentes geometrias**. 2018. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018. DOI:<https://doi.org/10.11606/D.102.2018.tde-25042018-103424>.

DIAL GMBH. **DIALux evo 7. Version history**. 2017. Disponível em: <https://www.dial.de/en/dialux/dialux-desktop/versionshistorie/dialux-evo-70/>. Acesso em: 10 Janeiro 2019.

DIAL GMBH. **DIALux evo 8. Version history**. 2018. Disponível em: <https://www.dial.de/en/dialux-desktop/versionhistory/dialux-evo-8/>. Acesso em: 10 Janeiro 2019.

DIAL GMBH. **DIALux evo manual**. A collection of all wiki articles. 2019a. Disponível em: http://en.wiki.dialux.com/index.php/Main_Page. Acesso em: 10 Janeiro 2019.

DIAL GMBH. **LDT Editor 1.2 Program**. 2019b. Disponível em: <https://www.dial.de/en/ldt-editor/>. Acesso em: 10 Janeiro 2019.

DIAL GMBH. **LUMsearch DIAL**. The DIALux product finder. 2019c. Disponível em: <https://www.dial.de/en/lumsearch/>. Acesso em: 10 Janeiro 2019.

EEA - EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. **EEA core set of indicators**. EEA Technical report No 1/2005. Copenhagen: EEA, 2005. Disponível em: https://www.eea.europa.eu/publications/technical_report_2005_1. Acesso em: 10 Maio 2014.

ELETOBRAS; UFSC. **Manual de aplicação do RTQ-C. 4.1. Versão 3**. Brasília: PROCEL, 2015. Disponível em: http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/manual_rtqc2016.pdf. Acesso em: 10 Agosto 2017.

ELETOBRAS; UFSC. **Manual para Aplicação do RTQ-R. 4.2**. Brasília: PROCEL, 2014. Disponível em: http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/residencial/downloads/Manual_de_aplica%C3%A7%C3%A3o_do_%20RTQ-R-v01.pdf. Acesso em: 10 Agosto 2017.

FRAMPTON, K. **Studies in tectonic culture: The poetics of construction in nineteenth and twentieth century architecture**. Cambridge: MIT PRESS, 1995, 430 p.

GRONDZIK, W. T.; KWOK, A. G. O processo de projeto. In: **Manual de Arquitetura Ecológica**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

IES - ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY. **The Lighting Handbook - 10th Edition**. New York: IES, 2011.

KAEMPF, J.; PAULE, B. **Lighting retrofit in current practice Evaluation of an international survey** Switzerland: IEA Solar Heating and Cooling Programme, 2016. (Technical Report of Subtask T50-C1)

MESHKOVA, T. V.; BUDAK, V. P. Dialux 4.10 and DIALux evo - Main Differences. **Light & Engineering**, v. 21, n. 4, p. 58–63, 2013. ISSN 0236-2945.

MINISTÉRIO DE FOMENTO. Código Técnico de la Edificación de España. Documento Básico DB-HE. Ahorro de Energía. **BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO**, p. 67137 – 67209. Madrid, 2013.

MONEDERO, J. **Simulación visual de la iluminación. Teoría. Técnicas. Análisis de casos**. Barcelona: Oficina de Publicacions Acadèmiques Digitals de la UPC, 2015.

MORAES, Júlia Silva de; MUROS ALCOJOR, Adrián; BITTENCOURT, Leonardo Salazar. Análise de indicadores de desempenho da iluminação artificial em ambientes residenciais. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 9, n. 1, p. 35-46, mar. 2018. ISSN 1980-6809. DOI: <https://doi.org/10.20396/parc.v9i1.8650219>.

MOURA, Mariangela. Iluminação: **Análise de cenários utilizando a tecnologia led**. 2015. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <http://www.poscivil.uff.br/conteudo/iluminacao-analise-de-cenarios-utilizando-tecnologia-led>. Acesso em: 10 Janeiro 2017.

OXMAN, R. Digital architecture as a challenge for design pedagogy: theory, knowledge, models and medium. **Design Studies**, v. 29, n. 2, p. 99–120, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.destud.2007.12.003>.

OXMAN, R. Theory and design in the first digital age. **Design Studies**, v. 27, n. 3, p. 229–265, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.destud.2005.11.002>.

OXMAN, R. Thinking difference: Theories and models of parametric design thinking. **Design Studies**, v. 52, p. 4–39, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.destud.2017.06.001>.

¹ **Júlia Silva de Moraes**

Arquiteta. Doutora. Endereço Postal: Grupo de Estudos em Conforto Ambiental – GECA. Av. Lourival Melo Mota, s/n, Tabuleiro do Martins, Maceió, Alagoas, Brasil, 57072-900

² **Adrián Muros Alcojor**

Arquiteto. Doutor. Endereço Postal: Taller de Estudios Lumínicos - TEL. Av. Diagonal, 649. Barcelona, Cataluña, España, 08028

³ **Leonardo Salazar Bittencourt**

Arquiteto. Doutor. Endereço Postal: Grupo de Estudos em Conforto Ambiental – GECA. Av. Lourival Melo Mota, s/n, Tabuleiro do Martins, Maceió, Alagoas, Brasil, 57072-900