2020 ENTAC
XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais
Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

PROTEÇÃO SOLAR E SEU IMPACTO NA ILUMINAÇÃO: PROPOSTA DE FERRAMENTA DE APOIO AO ESTUDO E PROJETO

SCHMID, Aloísio Leoni (1[1])

(1) Universidade Federal do Paraná, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil - PPGECC, iso@ufpr.br

RESUMO

Apresenta-se uma nova ferramenta específica para o ensino prático da proteção solar na arquitetura. Combinando rigor físico e caráter amigável da interface, a geometria é restrita à de uma sala com uma abertura em um ou dois panos e sua proteção solar. Estas diretrizes definiram o desenvolvimento, em linguagem Java, da ferramenta, que reúne elementos de Astronomia, Geometria Analítica, Teoria da Iluminação, Computacão Gráfica e Métodos Numéricos. A ferramenta entrou em utilização em turmas de ensino remoto emergencial.

Palavras-chave: *proteção solar, iluminação natural, raytracing, radiosidade, sDA, ASE.*

ABSTRACT

A new, a specific tool for supporting the practical teaching of solar protection devices in Architecture is proposed. It combines physical rigor and a friendly interface by restricting the geometric possibilities to only one room with one window with one or two panes, and its solar protection device. Such guidelines helped define the development of the tool in the Java language. It combines elements from Astronomy, Analytical Geometry, Lighting Theory, Computer Graphics and Numerical Methods. The tool was applied in distance learning classes.

Keywords*: Solar Protection Devices, Daylighting, Raytracing, Radiosity, sDA, ASE.*

1 INTRODUÇÃO

O projeto de proteção solar de aberturas é competência básica nos currículos de graduação em Arquitetura e Urbanismo. Requer conhecimento teórico sobre geometria solar e iluminação natural e, ainda, treinamento prático que se beneficia de atividades conjuntas com projeto de arquitetura (SCHMID, 2007). Todavia, projetos já por demais amadurecidos dificultam a análise de insolação e iluminação.

Propõe-se uma ferramenta de software, com caráter de objeto digital de aprendizagem (ODA), para a prática do projeto de proteção solar em aberturas livremente concebidas para ambientes hipotéticos.

---

[1] SCHMID, Aloísio. PROTEÇÃO SOLAR E SEU IMPACTO NA ILUMINAÇÃO: PROPOSTA DE FERRAMENTA DE APOIO AO ESTUDO E PROJETO. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

Como método de pesquisa, foi adotado o *Design Science Research* (ou ciência do artificial), apresentado por Dresch et al. (2014) que consiste na pesquisa sistemática (aqui, exploratória) de um artefato inovador visando ao seu aprimoramento.

2 BREVE REVISÃO

Esta revisão aborda itens fundamentais à compreensão do problema de projetar proteção solar de aberturas em edifícios sem prejudicar o aporte de luz natural.

2.1 Métricas para iluminação natural

Desde 1960 tem sido propostos diversos critérios para a qualidade da iluminação natural de ambientes. O fator de luz do dia (*daylight factor*) se baseia na iluminância no interior como fração da iluminância no exterior (HOPKINSON et al., 1966; ABNT, 2005). A iluminância mínima se baseia na constância da iluminação elétrica (ABNT, 2013). Para medir ofuscamento há o DGI (*daylight glare index* - sem tradução para o português). São todos indicadores estáticos, baseados numa única cena (BELLIA et al., 2008). O caráter instantâneo da avaliação limita sua utilidade.

Mais recentemente, afirmaram-se as métricas dinâmicas com base em registros climáticos que quantificam o atendimento - contínuo no tempo - a critérios de iluminância mínima e um limite tolerável para o ofuscamento. Citam-se o sDA (*spatial daylight autonomy*) como medida da iluminação útil, e o ASE (*annual solar exposure*) como medida da irradiação solar direta no ambiente - associada a ofuscamento e, também, à carga térmica de refrigeração (WYMELENBERG & MAHI, 2016).

2.2 A carta solar: uma ferramenta gráfica

A carta solar é um dispositivo utilizado há pelo menos seis décadas e sintetiza de maneira gráfica os ângulos solares ao longo do ano. Sua aplicação no ensino-aprendizagem de proteção solar tem forte apelo: um sabor clássico e a elegância da matemática, tornada visível pela geometria. Dela se extraem ângulos mínimos que caracterizam dispositivos de proteção mais comuns como as marquises e *brises-soleil* verticais (FROTA, 2004). Porém, para sua utilização, já se exige de discentes o raciocínio espacial em coordenadas esféricas. Isto torna o ensino-aprendizagem desafiador. Há aqui o pressuposto de que grau de abstração é um desafio maior na atualidade que há vinte anos, já que hoje proliferam aplicativos portáteis, o apelo visual e imediato da mensagem, característica do paradigma digital.

2.3 Os modelos de céu segundo a CIE e a ISO

As normas técnicas CIE S 11, 2003, e ISO 15469, 2004 padronizam a distribuição de valores de luminância do céu em os 15 tipos, representados sobre a projeção esférica da abóbada celeste. Há cinco coeficientes descrevendo o estado da atmosfera. O modelo de céu CIE, originário de um artigo de Perez et al. (1990), permite uma tal parametrização que é possível, com os valores de irradiância global e direta disponíveis nos arquivos climáticos como EPW (Energy Plus Weather), a identificação dos tipos de céu (CLARO, 2018 e MARSH, 2019).

2.4 Ferramentas de software para estudo da iluminação

No Brasil, podem ser mencionadas as ferramentas Light Shelf (CASTRO, 1996), Troplux (CABUS, 2005) e Radlite (CASTRO, 2017) de apoio ao projeto de janelas para a ilumi-

nação; Sol-Ar (UFSC, 2020) para traçado de cartas solares; para análise e Mestre (SCHMID, 2004) para geração de imagens realistas da iluminação em ambientes.

O sistema Radiance, desenvolvido, verificado e mantido em 1996 pelo Lawrence Berkeley Laboratory em Berkeley, EUA, permanece uma referência na representação fidedigna da luz (LARSON et al., 1998). Este foi consultado em diversos momentos do desenvolvimento da presente ferramenta.

3 MÉTODO

Foi desenvolvida uma ferramenta em linguagem Java, em abordagem de programação orientada a objetos e respondendo ao fluxo de eventos provocados pelo usuário. Serão apresentados rapidamente aspectos da linguagem Java e depois apresentados requisitos à ferramenta, e como foram resolvidos e implementados.

3.1 Linguagem Java

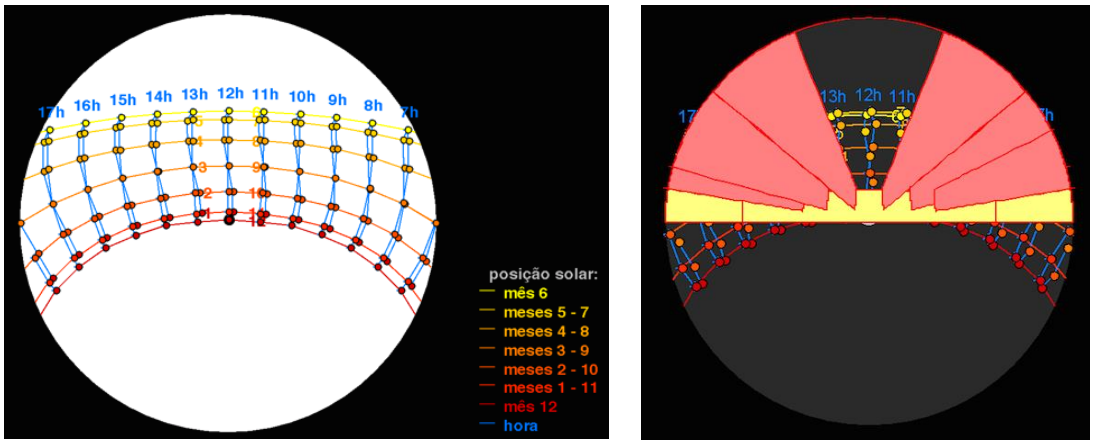
A ferramenta foi desenvolvida com a plataforma gráfica javax. Num objeto JFrame se encontra a moldura principal, dentro de que um JPanel acolhe diferentes objetos GUI (Graphic User Interface) dos tipos JTextField, JCheckBox e JScroolBar customizados, JMenuBar e JSliderBar. Houve desenvolvimento próprio de um *tracking ball*, de botões de forma livre emulando luminosos em LED e botões de pressionar e girar.

3.2 Carta solar

Um item necessário à ferramenta era o traçado de cartas solares para qualquer localidade. Para viabilizar isto sem depender de algum banco de dados, aplicando a Geometria Analítica, foi realizada a modelagem dos astros do sistema solar, com reais tamanhos e distâncias, inclinação do eixo terrestre e movimentos de translação e rotação. Os ângulos solares na Terra, para cada latitude, são calculados destas relações entre sólidos, sendo o horário do nascer do sol e do por do sol, em cada dia, calculado iterativamente, dada a complexidade de uma solução analítica.

O resultado é ilustrado na Figura 1 (esq.). Os ângulos solares foram dispostos sobre a projeção hemisférica e reproduziram naturalmente os analemas (as figuras em forma de algarismo 8 que descrevem a trajetória aparente do sol no céu em cada horário fixo, ao longo do ano).

Figura 1 - Esquerda: carta solar para a latitude -25˚ com visualização dos analemas. Direita: máscara de sombreamento para brises-soleil verticais e perpendiculares ao plano da janela.



Fonte: O autor

Já a máscara de sombreamento permite verificar se um dispositivo de proteção solar, para dada geometria, localização e orientação, é efetivo.

Foi resolvida, nesta ferramenta, a partir da modelagem de sólidos. Na Figura 1 (dir.) é representada a máscara de sombreamento de um conjunto de *brises-soleil* verticais, transversais à fachada norte - solução imprópria, como a ferramenta sugere.

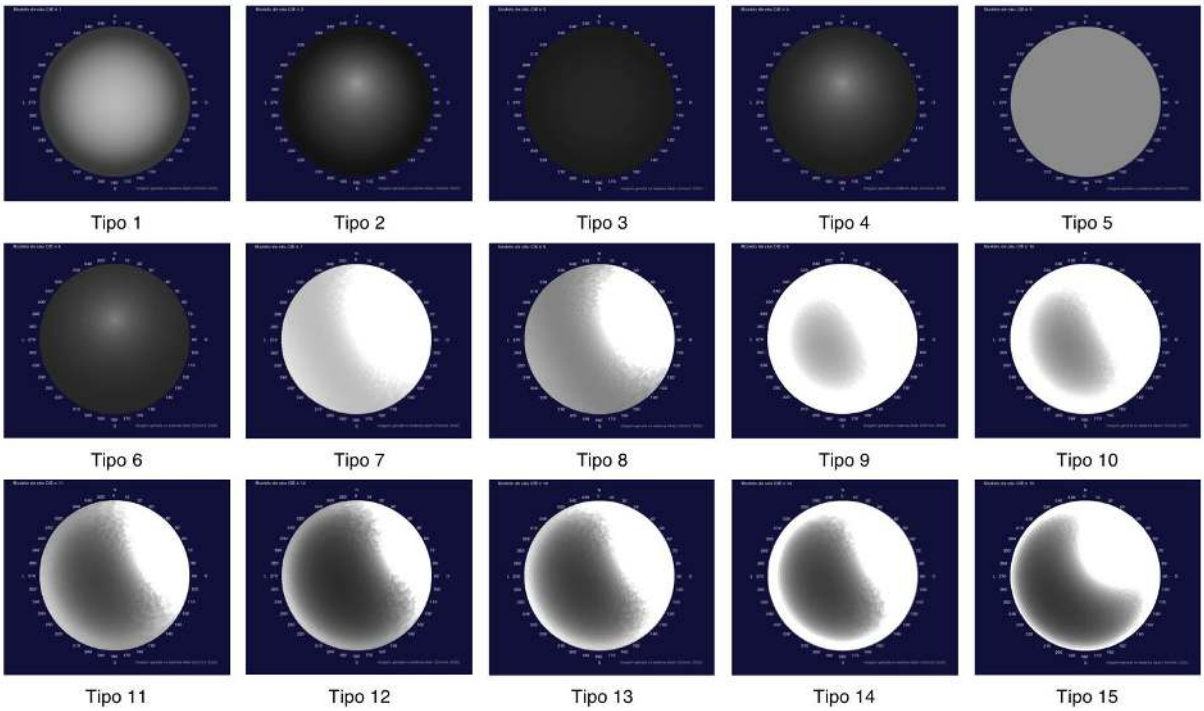
3.3 Representação do céu

Não bastaria resolver a proteção solar, cobrindo cada porção da carta solar, sem considerar o aporte de luz do céu. Para tanto, é básica a consideração de como se dá a distribuição de luminância do céu.

Foi adotado um céu de luminância variável a depender da direção para onde, da Terra, se olha, e criado um mosaico (ou *patchwork*) que representa a abóbada celeste em projeção cônica (Figura 2). Foi realizada a divisão em segmentos (*patches*) de igual espaçamento angular para azimute e altura. Foram implementadas equações para cálculo da luminância do zênite, da distribuição da luz difusa pela abóbada celeste em função da latitude, hora e mês.

Como resultado, é possível como é que o desempenho de um dispositivo de proteção solar aplicado a dada geometria de edifício, localização e orientação, varia de acordo com o tipo de céu.

Figura 2 -- Os 15 tipos de céu CIE em projeção cônica, qual representados pela ferramenta. data considerada: 21/6 (solstício de inverno do hemisfério sul); horário considerado: 9h00.



Fonte: O autor

3.3 Modelagem do ambiente

Optou-se por restringir a geometria dos modelos de edifício para simplificar tanto o processo de desenvolvimento da ferramenta como o seu uso.

Há um ambiente único: uma sala com abertura em uma única parede. Parâmetros são o azimute e a inclinação dessa parede (estes dois já permitem uma ampla ga-

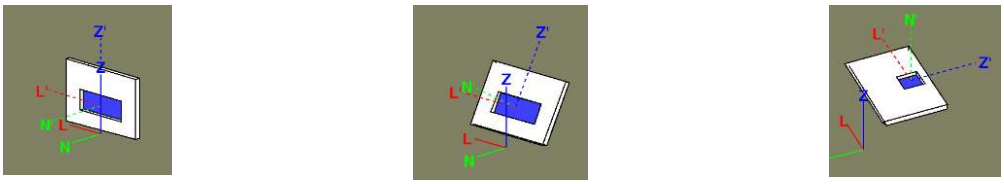
ma de estudos); sua espessura e largura, cota de peitoril, altura total da janela, a existência de uma bandeira superior na janela e o tipo de vidro - foram incluídos vidros incolor, reflexivo, branco difusor, além de janelas fotovoltaicas cristalina e orgânica (OPV). Esquadrias podem ser definidas como texturas opacas a serem aplicadas sobre o vidro (além do impacto visual, influenciam o cálculo do índice de ofuscamento DGI). As partes da fachada frontal (peitoril, bonecas, verga) são modeladas em sua espessura, e as demais (laterais, fundo, piso, teto) como uma única superfície voltada para dentro. Vidros são modelados como duas superfícies paralelas, a de dentro e a de fora. Elementos de proteção solar são descritos a seguir.

3.5 Modelagem da proteção solar

Era necessária uma ferramenta que contemplasse os principais tipos de proteção solar: marquises e prateleiras de luz, venezianas e *brises-soleil*, toldos, colunas externas. Ainda, os elementos diversos de proteção das janelas zenitais.

Para permitir tal gama, foram definidos dois perfis de elementos de proteção solar: retangular e trapezoidal. Coordenadas são fornecidas por campos de texto.

Figura 3 - sistema de coordenadas local L', N', Z' para auxiliar a entrada de dados



Fonte: O autor

Elementos retangulares são definidos pelas coordenadas de seu centro, medidas num sistema de coordenadas local com origem no centro da janela inferior (Figura 3), e pelas dimensões ao longo de cada eixo. A rotação ao redor de cada eixo é possível. A dimensão da espessura realiza extrusão no perfil.

Elementos trapezoidais têm o perfil dado pelas coordenadas locais de quatro pontos necessariamente coplanares. O quadrilátero livre é extrudado numa espessura. Há possibilidade de rotação da peça ao redor de cada um dos três eixos.

O bloco com seis faces pode ter eliminada uma das dimensões, que é convertida num conjunto de seis lâminas bidimensionais bifaciais, facilitando a representação de persianas ou *brises-soleil*. Há para tais conjuntos a possibilidade de rotação individual das lâminas ao redor de dois eixos.

3.6 Ângulos de proteção solar

Um critério de caracterização de sistemas de proteção solar é o conjunto de ângulos α, β e γ.

Para estes ângulos foi implementado o cálculo automático. Dada a liberdade do usuário em sair das soluções canônicas como marquise e *brises-soleil* verticais, a ferramenta calcula numericamente estes ângulos, valendo-se do *raytracing* aplicado em raios sequenciais próximos.

3.7 Perspectiva solar e manchas de insolação

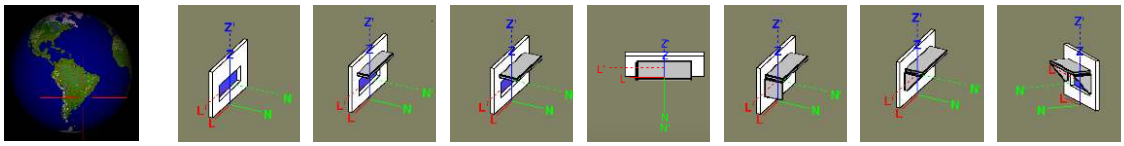
A efetividade de um esquema de proteção solar para determinada data e dado

horário é evidenciada por um desenho isométrico. Partes do interior da edificação visíveis através da janela revelam insuficiente a cobertura da proteção solar (Figura 4).

Existe correspondência entre uma dada posição relativa dos astros no sistema solar e os ângulos solares de altura e azimute resultantes numa localidade sobre a Terra. A exploração desta correspondência apresenta potencial pedagógico - isto é comprovado pelo autor em duas décadas de docência. Para explorar este efeito, a ferramenta implementou um *superzoom*: uma alavanca faz a progressão da perspectiva solar (do ponto de vista do sol) distante até a perspectiva solar próxima.

O observador seleciona a hora mediante movimentos horizontais, e o mês mediante movimentos verticais do *tracking ball*.

Figura 4 - perspectiva solar distante e próxima para dimensionar elementos de proteção

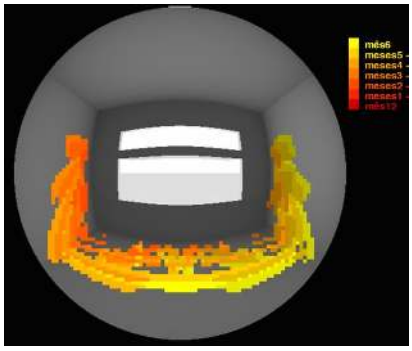


Fonte: O autor

É possível, também, a visão correspondente do lado interno, com traçado da mancha de insolação sobre o piso e paredes, e sobreposição das manchas de diferentes horas e de diferentes meses do ano (Figura 5). Discentes podem assim mudar elementos de proteção solar, verificando se as manchas desaparecem.

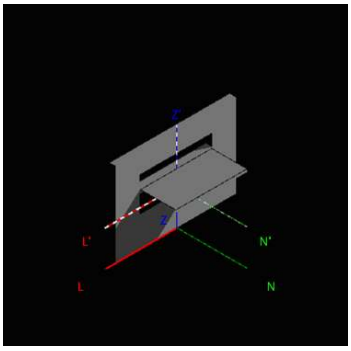
O usuário tem ainda a opção de se desvincular do sol e gravitar ao redor da fachada, mediante movimentação do *tracking ball* (Figura 6).

Figura 5 - Manchas solares, cores significam hora e mês, por uma janela protegida com prateleira de luz



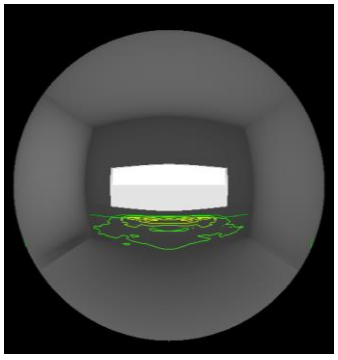
Fonte: O autor

Figura 6 - Representação da sombra externa de prateleira de luz



Fonte: O autor

Figura 7 - isolux em sala com marquise; 12h00, verão céu encoberto



Fonte: O autor

3.8 Modelagem da luz

A modelagem e simulação da luz difusa e sua distribuição dentro do ambiente é tarefa de complexidade notavelmente maior que aquela da análise da proteção solar. No desenvolvimento da ferramenta foi assumida esta tarefa. São escassos registros no Brasil de desenvolvimento de software com esse tipo de recurso.

A luz é discretizada em raios solares emitidos por unidade de área (no caso dos raios solares, paralelos entre si) ou por unidade de ângulo.

A partir de pontos de interpolação dispostos em cada polígono, sendo 1, 4 ou 9 pontos (para interpolação respectivamente de ordens 0, 1 e 2), calcula-se fatores

de forma com relação a cada outra superfície dali visível, inclusive o céu e o chão externo (dotado de albedo e sujeito à irradiação global). Surge um sistema de equações lineares que, para cada ponto, expressa o balanço entre luminância do ponto e das superfícies participantes (por questões da modelagem computacional, optou-se por trabalhar com a luminância ao invés da iluminância). É gerada uma matriz de tamanho que pode superar 1000 x 1000, que produz valores de iluminância em cada ponto de interpolação. Isto permite uma renderização inicial, que apresenta resultados satisfatórios para as situações sem radiação solar direta.

Numa segunda renderização, cada pixel da imagem tem recalculadas as funções de forma, com mais detalhe, e incluindo a influência do sol, e o reflexo em superfícies especulares. Para melhor resultado, os fatores de forma são calculados por uma técnica estocástica. Esta imagem, que demora cerca de 50 vezes mais para ser produzida que a renderização inicial, é mais fiel aos fenômenos físicos.

É convencional o cálculo da iluminância num plano horizontal de altura 0,7 m do chão. A ferramenta deveria incluir este dado. Foi criado um elemento geométrico invisível que é a superfície horizontal a 0,70 m do chão, sobre a qual são calculados valores de iluminância para traçado de isolux e também para cálculo da iluminância média. Utiliza-se deste plano também para calcular os indicadores dinâmicos sDA e ASE. As curvas isolux são traçadas a partir da interpolação na malha de pontos de cálculo. Para os valores sDA e ASE, dada a quantidade de horas a calcular, é adotada uma malha 5x5.

3.9 sDA e ASE

sDA e ASE permitem uma síntese muito útil para avaliação. Contabiliza-se no sDA a fração de área com mais de 300 lux e no ASE a fração de área com mais de 1000 lux (ASE) ao longo do ano, das 8h às 18h. A subtração entre sDA e ASE para uma dada cena fornece uma figura de mérito da iluminação (ALVES & SCHMID, 2019).

Para cálculo de sDA e ASE é lido um arquivo climático EPW (Energy Pluys Weather), de que se depreende, para cada hora, o tipo de céu mais próximo.

3.10 Perspectiva e desenho

Uma ferramenta flexível e amigável deveria permitir diferentes modos de representação da geometria do edifício, assim como dos resultados de análises.

A geometria da sala, aberturas e proteção solar é representada nos sistemas de perspectiva de três pontos, grande angular (olho de peixe) e vistas ortogonais(planta e elevações). Os resultados (isolinhas, manchas de insolação e render) são apresentados sobre perspectiva, grande angular e planta.

3.11 Interface

Uma interface gráfica para entrada de dados mediante uso do mouse seria amigável porém complexa para se desenvolver. Foi preferida a entrada numérica de dados em campos de texto e gráficos explicativos.

Botões apelo sensorial foram criados para seleção de perfil retangular ou trapezoidal, movimentos de rotação dos elementos ou suas lâminas, e a movimentação observador ao redor do objeto. Esta se dá por um *tracking ball* virtual.

O tema da interface foi inspirado no painel de comando de um avião comercial, com superfícies plásticas e de couro em tons de bege, mostradores digitais em azul-petróleo, e botoeira analógica, além do campo de visão pela janela. Assim, a na ferramenta toma um tom lúdico em que o usuário se torna o piloto de um fóton.

4 **ANÁLISE**

O desenvolvimento foi iniciado em janeiro de 2020 e tomou seis meses de intenso trabalho de concepção, embasamento, programação e testes. Foi obtida uma ferramenta de software funcional, abrangente e com caráter lúdico, sem similar conhecido no Brasil ou no mundo. Um vídeo explicativo, com link para download gratuito da ferramenta, está disponível em https://youtu.be/2i_3W9TCSXo.

5. CONCLUSÃO

O autor considera válido o investimento diante dos resultados: criou-se uma ferramenta inédita, funcional, atrativa e sem similar conhecido no Brasil ou no exterior. Próximas etapas da pesquisa são de testes de validação e avaliação pedagógica.

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15215 - 3**. Iluminação natural – Parte 3: Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos, 2005.

_____. **NBR 15575** - 1. Edificações habitacionais - desempenho. 2013.

ALVES, A.B.M. e SCHMID, A.L. Constructal design to enhance daylight through façade building elements. Constructal Law & Second Law Conference - CLC 2019, Unisinos Porto 2019.

BELLIA, L., CESARANO, A., IULIANO, G.F.,SPADA, G. **Daylight glare: a Review of Discomfort Indexes.** DETEC – Università degli Studi di Napoli Federico. 2008. Disponível em https://www.academia.edu/16320838/DAYLIGHTGLAREAREVIEWOFDISCOMFORTINDEXES, acesso em 15/05/2020.

CLARO, A. Determinação de modelos de céu da norma ISO CIE 15469- 2004 utilizando arquivos climáticos. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, SP, v. 9, n. 4, p. 319-333, dez. 2018. ISSN 1980-6809. Disponível em:<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8652677>. Acesso em: 15/5/2020.

DRESCH, A., LACERDA, D.P., ANTUNES, J.A.V.J., Design Science Research: Método de Pesquisa para Avanço da Ciência e Tecnologia. Porto Alegre: Bookman.2014.

FROTA, Anésia. **Geometria da Insolação**. São Paulo: Geros, 2004.

HOPKINSON, R.G., LONGMORE, P., PETERBRIDGE, J. **Iluminação natural**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1966. 776 p.

LARSON, G.W.et al. **Rendering with Radiance. The Art and Science of Lighting Visualization** Morgan Kaufmann Publishers, 1998.

MARSH, A. Sky Distribution. In: **Natural Frequency**, 2019. Disponível em http://performativedesign.com/articles/2019/sky-distribution/, acesso em 15/5/2020.

PEREZ, R., INEICHEN, P., SEALS, R., MICHALSKY, J.and STEWART, R. Modeling Daylight Availability And Irradiance Components From Direct And Global Irradiance. **Solar Energy** Vol. 44. No. 5. pp. 271-289. 1990.

SCHMID, A.L. Simulação da luz natural: combinação dos algoritmos de raytracing e radiosidade e suas aplicações na Arquitetura. Ambiente construído 4, 51-59. 2004.

SCHMID, A.L. The introduction of building simulation into an architectural faculty: preliminary findings. Journal of Building Performance Simulation 1 (3), 197-208. 2008.

VIANA, Y; LIMA, F.M. Manual de proteções solares. Disponível em https://issuu.com/yurivianaa/docs/manual_oficial, acesso em seb=t./2020.

WYMELENBERG, K.V.D., MAHL, A. Annual Daylighting Performance Metrics, Explained. **Architectural Lighting Magazine**. April 12, 2016.