XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

ANÁLISE DA ILUMINAÇÃO NATURAL EM SALAS DE AULA: SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS E ENSAIOS NO *HELIODON*

Ana Gabriela Cemensati (1); Izabela Sanches Tessaro (2) Marieli Azoia Lukiantchuki (3)
(1) Acadêmica de Arquitetura e Urbanismo, anagcemensati@gmail.com, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5700
(2) Acadêmica de Arquitetura e Urbanismo, izabelatessaro@gmail.com, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5700
(3) Professora doutora do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, malukiantchuki2@uem.br, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5700, 3011-4145

RESUMO
O uso da luz natural é desejável tanto para suprir as necessidades humanas de contato visual com o exterior, quanto para a economia de energia, reduzindo o uso da iluminação artificial. No entanto, em climas quentes, como grande parte do Brasil, se esse recurso não for utilizado de maneira coerente, o desconforto pode ser maior que os benefícios, devido à grande carga térmica associada a essa estratégia passiva. Diversas soluções de projeto podem auxiliar nessas questões, tais como o dimensionamento das aberturas, o uso de protetores solares, entre outros. O objetivo do artigo é avaliar o desempenho da iluminação natural em um modelo padrão de sala de aula da Fundação de Desenvolvimento de Ensino (FDE). Posteriormente, os resultados qualitativos de simulações computacionais são comparados com ensaios no *helidon*, a fim de verificar as semelhanças e as diferenças entre as duas ferramentas analisadas. Para isso, o modelo de sala de aula foi primeiramente avaliado de forma quantitativa por simulações com o *software* DialuxEvo. Posteriormente, um modelo físico reduzido do modelo avaliado foi confeccionado e ensaiado no *heliodon*. Os resultados mostram que devido a grande extensão da abertura, durante o período do verão, três das quatro orientações analisadas apresentaram em ao menos um período do dia iluminância acima do recomendado, com exceção da Norte. Dessa forma, com relação ao parâmetro de uniformidade, todos se encontraram abaixo do recomendado pela normativa, devido aos significativos contrastes internos. Por fim, de forma geral, as simulações e o *heliodon* apresentaram resultados qualitativos compatíveis, com algumas discrepâncias no tamanho das áreas iluminadas no ambiente interno.
Palavras-chave: iluminação natural, simulação computacional, *heliodon*.

ABSTRACT
The use of natural lighting is desirable both for human necessities of visual contact with the exterior and for saving energy, reducing the use of artificial lighting. However, in warm regions as major part of Brazil, if this resource is not used in the right way, the discomfort can be bigger than the benefits, due to the big thermal load associated to this passive strategy. Project recommendations can help in the appropriated design of openings and other parameters. Therefore, the objective of this paper is to evaluate the natural lighting in a model room of FDE, Foundation of Study Development. Then, the qualitative results of computational simulations are compared with *helidon* to verify the differences between the two tools analysed. The methodology was divided in two phases: 1. computational simulation using the software DialuxEvo and 2. simulation at *heliodon* using physical models. The results show that due to the big opening extension, during the summer period, three out of four orientations analysed present in at least one day period levels of illuminance above the recommended, with the exception of North. This way, regarding the uniformity parameter, all the orientations are below the recommended, due to the significant contrast of the internal values. Beyond that, in general the simulations and *heliodon* presented compatible qualitative results, highlighting discrepancies in some schedules analysed.
Keywords: daylighting, computational simulation, *heliodon*.

1. INTRODUÇÃO

Durante a concepção do projeto, o arquiteto trabalha com diversos aspectos, sendo a interação entre eles fundamental para o alcance de um resultado adequado. Em relação aos parâmetros ambientais, nota-se que muitas vezes estes são desconsiderados pelos projetistas no momento da criação do projeto arquitetônico, ocasionando desconforto para os usuários, além de um aumento do consumo de energia elétrica.

Apesar dos pontos favoráveis sobre o uso de estratégias passivas nos edifícios, como a luz natural e os ventos, o número de edificações utilizando iluminação artificial e sistemas de ar condicionado como principal estratégia de projeto tem crescido significativamente. Maciel (2006) destaca que apesar de todas as vantagens da integração dos conceitos bioclimáticos aos edifícios, existe uma grande dificuldade em sua real aplicação. Segundo a autora, todo o avanço no campo da bioclimatologia e da eficiência energética dos últimos anos, não demonstrou uma influência eficaz sobre as práticas de projeto dos arquitetos.

A iluminação natural é um item que tem se mostrado essencial para a saúde, o bem-estar e a produtividade do indivíduo. Edifícios projetados adequadamente para a entrada da luz natural nos ambientes internos contribuem com o aumento da produtividade e com a saúde de seus ocupantes (SAMPAIO, 2005). De acordo com diversos autores (LAMBERTS, *et al*., 2014; HOPKINSON *et al*., 1975) a iluminação natural possibilita a melhoria das condições de conforto e satisfação pessoal, uma vez que se relaciona com o bem-estar físico e emocional dos usuários. Outro benefício que o uso da luz natural acarreta são as modificações dinâmicas no espaço, devido à alteração de sua cor, contraste e intensidade ao longo do dia. De acordo com o IESNA (1995) a percepção do caráter de um espaço, a resposta emocional a certo ambiente, e mesmo sentimentos de satisfação e bem-estar podem ser alterados por variações na iluminação.

Além disso, ressalta-se a economia de energia elétrica devido à redução do uso da iluminação artificial. Caddet *apud* Guidi e Lamberts (1997) destacam que é possível conseguir uma grande economia de energia (entre 30 e 70%) em espaços iluminados adequadamente através da iluminação natural e com sistemas de controle dessa iluminação. Segundo Caram (1996), a consciência da limitação das fontes energéticas traz hoje para a nova geração de arquitetos, a responsabilidade de projetar edifícios que procurem propiciar conforto em termos ambientais, sem implicar em um alto consumo energético.

A boa relação entre o conforto visual e o ambiente construído é ainda mais importante quando se trata de ambientes escolares. Ao longo dos anos, estudos têm revelado que a iluminação natural está diretamente associada à melhoria do desempenho e rendimento dos alunos, repercutindo de forma positiva no processo de ensino e aprendizagem (BERSON *et al*.,1985; HESCHONG *et al*., 2002). De acordo com Kowaltowski (2011), a formação do aluno depende não apenas do professor e do material didático, mas também do espaço que ele frequenta. Nesses ambientes a luz natural é essencial para o bem estar fisiológico e psicológico dos alunos que permanecem confinados por muitas horas em espaços internos. Segundo Vianna (2001), o benefício do uso da luz natural nos edifícios escolares é indiscutível, estimulando a criatividade e a sensibilidade dos alunos. No entanto, Silva (2009) ressalta que uma boa iluminação não quer dizer bastante luz, mas sim uma iluminação na medida adequada e com recursos de dinamicidade.

Apesar de o Brasil possuir uma grande diversidade climática, quase que a totalidade do seu território está sujeito à intensa insolação na maior parte do ano. Considerando que uma das principais características do território brasileiro é a abundância de luz natural, é indispensável que os arquitetos dominem essa informação ao projetar proporcionando condições para o uso dessa estratégia nas edificações (ALUCCI, 2006). No entanto, em um país com enorme disponibilidade de luz natural, nota-se que este recurso muitas vezes é subutilizado ou utilizado de maneira equivocada gerando diversos problemas. É de conhecimento comum que o sol tem grande importância, como fonte de luz e de calor, principalmente em regiões tropicais. Se esse recurso não for utilizado de maneira coerente, o desconforto pode ser maior que os benefícios, pois junto com a luz natural tem-se uma grande carga térmica proveniente dessa radiação. Para Monteiro e Bittencourt (2015), a arquitetura espetacular e exibicionista, que caracteriza a maioria de nossas cidades, deveria dar lugar a uma arquitetura cuja beleza existisse em equilíbrio com as preocupações relativas àqueles que utilizarão, bem como ao meio ambiente que nos cerca.

2. OBJETIVO

O objetivo do artigo é avaliar o desempenho da iluminação natural em um modelo padrão de sala de aula da Fundação de Desenvolvimento de Ensino (FDE). Posteriormente, os resultados qualitativos das simulações computacionais são comparados com ensaios experimentais no *helidon*, a fim de verificar as semelhanças e as diferenças encontradas entre as duas ferramentas analisadas.

3. MÉTODO

O desenvolvimento deste artigo ocorreu por meio de quatro etapas: 1. Definição do caso de referência; 2. Simulações computacionais; 3. Ensaios experimentais no *heliodon* e 4. Parâmetros de análise.

3.1. Definição do caso de referência

A avaliação do desempenho da iluminação natural foi realizada em um modelo de sala de aula do ciclo I da FDE. A sala possui medidas internas de 7,05m x 7,05m, totalizando 49,7m², pé direito de 3m e aberturas dispostas em lados opostos. A abertura 1 possui peitoril de 1,00 m, 2,00 m de altura e 7,05 m de comprimento, ocupando toda a extensão da parede. A abertura 2 apresenta 2,25 m de peitoril, 0,75 m de altura e 5,40 m de largura (Figuras 1 e 2). As análises foram realizadas para as seguintes condições. 1. quatro orientações da abertura 1: Norte, Sul, Leste, Oeste; 2. dois períodos do ano: inverno (22/06) e verão (22/12); 3. três horários: 9:00, 12:00 e 15:00hrs, conforme Lamberts *et al.* (2014).

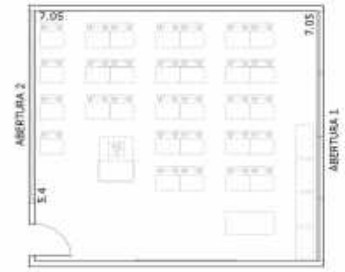


Figura 1 – Planta baixa da sala (FDE, 2019)



Figura 2 – Corte perspectivado da sala (FDE, 2019)

3.2. Simulações computacionais

A preparação do modelo tridimensional do caso de referência foi realizada diretamente no *software* DIAluxEvo, versão 8.1. Essa ferramenta foi escolhida por ser um programa gratuito que possui uma interface gráfica de fácil utilização e por ter seus resultados compatíveis com o relatório técnico CIE 171: 2006. Os dados de entrada (*inputs*) são: latitude do local, período da simulação, tipo do céu, geometria do ambiente, coeficientes de reflexão das superfícies internas e orientação das aberturas (Tabela 1). Como dados de saída (*outputs*) têm-se: iluminâncias e luminâncias, uniformidade, imagens em *false colour,* entre outros.

Tabela 1 – Parâmetros definidos para a análise da iluminação natural

Parâmetros	Variáveis
Localização geográfica	23° 25’ 31” S – representando a cidade de Maringá - PR
Data e hora (Solstícios de inverno e verão)	22/07/2019 e 22/12/2019, às 9:00, 12:00 e 15:00hrs.
Orientação	Norte, Sul, Leste e Oeste.
Tipo de céu	Claro, sem nuvens.
Vidro incolor	Vidro incolor: 88% de transmissão
Coeficientes de reflexão	Piso: 52% / Teto: 86% / Paredes: 86%

Ressalta-se que nas simulações foram consideradas as componentes provenientes do sol e da abóbada celeste, sem obstrução de parte do céu por obstáculos construídos ou naturais. Essa condição difere da realidade, pois, no entorno urbano as parcelas de luz refletidas podem variar bastante em relação às edificações construídas. O tipo de céu escolhido foi o claro, por ser predominante na localidade escolhida.

3.3. Ensaios experimentais no *heliodon*

Após as simulações computacionais, ensaios no *heliodon* do Laboratório de Conforto Ambiental da Universidade Estadual de Maringá (UEM) foram realizados. O *heliodon* é uma ferramenta que simula a trajetória aparente do sol através de três arcos que representam os solstícios de verão, de inverno e os equinócios, para todas as horas do dia. No centro, tem-se uma plataforma horizontal que representa o solo terrestre, podendo ser inclinada para ajustar a latitude do local onde o edifício está localizado (Figura 3). Um modelo físico reduzido do caso de referência foi construído na escala 1:30 em PVC expandido de 2 mm, apresentando uma dimensão real de 0,24 m x 0,24 m. Nas paredes laterais do modelo sem aberturas, foi realizado um furo de 5mm de diâmetro para capturar as imagens internas do modelo (Figura 4).



Figura 3 – *Heliodon* do LACAE - UEM



Figura 4 – Modelo físico reduzido ensaiado no *heliodon*

3.4. Descrição dos parâmetros de análise

Para a presente análise, o *software* utilizado já fornece os valores médios da iluminância e da uniformidade em toda a área do ambiente interno. Sendo assim, foi com base nesses valores que as análises nesse trabalho foram realizadas. Para os dados de iluminância, a análise foi realizada utilizando as indicações estabelecidas pela norma NBR ISO / 8995 -1 (ABNT, 2013), que especifica os requisitos de iluminação para locais de trabalho interno, visando o desempenho das tarefas visuais de maneira eficiente. Considerou-se o ambiente de sala de leitura e com o quadro negro, nos quais o valor recomendado é de 500 lux. Em conjunto, com relação à disponibilidade de luz, foi analisada a ocorrência de intervalos de iluminância conforme proposto por Nabil e Mardaljevic (2006), baseando-se na noção de iluminância úteis (UDI - *useful daylight illuminance*). As iluminâncias abaixo de 100 lux são consideradas insuficientes; aquelas entre 100 e 500 lux são úteis, com possibilidade de complementação por luz artificial. Já a faixa entre 500 e 2000 lux representa as condições em que a luz natural como única fonte é suficiente para a execução de atividades no ambiente. Iluminâncias acima de 2000 lux são desnecessárias, podendo causar desconforto visual e térmico (Tabela 2).

Tabela 2 – Parâmetros definidos para a análise da iluminação natural

INSUFICIENTE	EFICIENTE	DESEJÁVEL	EXCESSIVA
< 100lux	Entre 100 e 500lux	Entre 500 e 2000lux	>2000lux

Fonte: Adaptado de NABIL; MARDALJEVIC, 2006.

Dessa forma, se esses valores estiverem abaixo de um valor mínimo, pode não contribuir para a percepção do ambiente visual e a realização das tarefas. Os níveis que estiveram entre esses limites mínimo e máximo foram chamadas por Nabil e Mardaljevic (2006) de iluminâncias úteis. A partir desses dados, foram adotados os valores no intervalo entre 500 a 2000 lux, os quais podem fornecer uma iluminação desejável aos ocupantes do ambiente. Para a uniformidade (que é dado pela razão entre o valor mínimo e o valor médio das iluminâncias na área analisada - Emín/Eméd), utilizou-se como referência a NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013), que indica que o valor não deve ser menor que 0,7 na tarefa e que 0,5 no entorno imediato.

4. RESULTADOS

O Brasil abrange uma ampla faixa de latitudes (5ºN à 34ºS) que tem um impacto significativo na distribuição da radiação solar. A latitude de Maringá possibilita mais horas de sol no verão comparado com o inverno, tendo uma demanda de radiação diferente por período: necessário o sombreamento no verão e no inverno a insolação é um recurso interessante. Além disso, em um dia claro, a intensidade da radiação solar direta, varia com a espessura da camada atmosférica atravessada pelos raios solares, devido ao ângulo do Sol sobre a superfície terrestre. Assim, a luz natural é menos intensa ao nascer e ao pôr do sol do que ao meio dia.

4.1. Análise quantitativa

As Figuras 5 e 6 apresentam os níveis de iluminância em função dos horários analisados para os períodos de verão e inverno, respectivamente. Nota-se claramente que durante o período do verão, três das quatro orientações apresentam em ao menos um período do dia valores acima do recomendado, com exceção da fachada norte. Esta orientação apresentou comportamento desejável, com menores índices quando comparada às outras, apresentando um aumento significativo no período do inverno. Isso acontece, pois, no inverno, o Sol incide diretamente na face norte, ao passo que, no verão, a incidência de sol nessa face ocorre de forma difusa. Nota-se que no norte, tanto no verão quanto no inverno, tem-se uma relação simétrica da distribuição de iluminância ao longo do dia. No entanto, no verão, houve pequenas variações desses valores, enquanto no inverno, essas diferenças foram mais acentuadas.

Com relação à orientação sul, apesar de a curva do solstício de verão apresentar valores de iluminância

maiores, não são elevados em demasia, uma vez que a trajetória do sol não é perpendicular na fachada, mas sim tangente. No inverno esses valores também recebem a influência da janela 2 (peitoril mais alto) que está localizada na face norte. Já com relação às orientações leste e oeste apesar de ambas apresentarem o mesmo tempo de insolação nas fachadas (aproximadamente 6 horas cada uma), os ambientes orientados para oeste costumam ser mais quentes, uma vez que a temperatura o ar está mais elevada, deixando o cômodo com temperaturas mais elevadas à noite. A fachada direcionada para leste, apresenta desde as 9:00hrs até próximo das 12:00hrs valores muito altos de iluminância, podendo ocasionar ofuscamento e desconforto térmico aos usuários. Isso acontece pelo fato de o sol nascer no leste e de estar mais alto no verão, incidindo perpendicularmente na fachada durante o período da manhã. No inverno, esses valores são reduzidos devido à angulação menor da altura do sol e o período apresentar menores índices de radiação solar. No horário do meio dia, temos uma redução desse valor, pois, o sol se localiza a pino, incidindo diretamente na cobertura da edificação, e não nas faces das aberturas laterais. Após o meio dia, o sol passa a incidir na fachada oeste, e por efeitos geométricos não temos mais radiação solar direta na face leste. No entanto, temos valores maiores que o horário do meio dia, devido à influência da janela alta localizada na parede oposta, orientada para oeste. No inverno esse efeito é menor, devido a menor altura do sol em relação ao plano horizontal, reduzindo, assim, a incidência do sol na janela com peitoril maior.

Quando a face está orientada para oeste, a incidência direta do sol passa a ser no período da tarde, atingindo os maiores níveis no horário das 15:00hrs. Ao meio dia, novamente temos uma redução desse valor e na parte da manhã, às 9:00hrs, a iluminância atinge valores maiores (embora não tenha incidência solar do sol na face oeste), devido à influência da janela alta localizada na face leste.

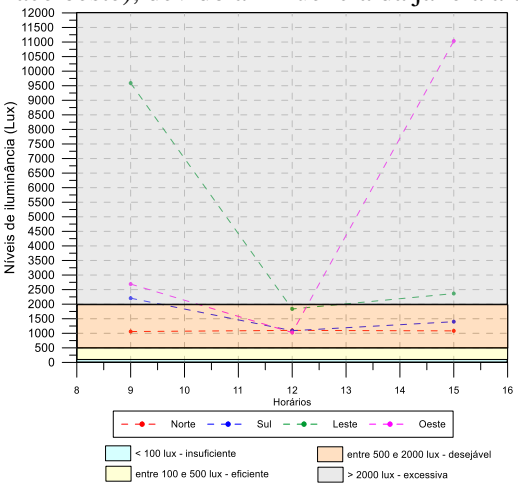


Figura 5 – Iluminância no período de verão

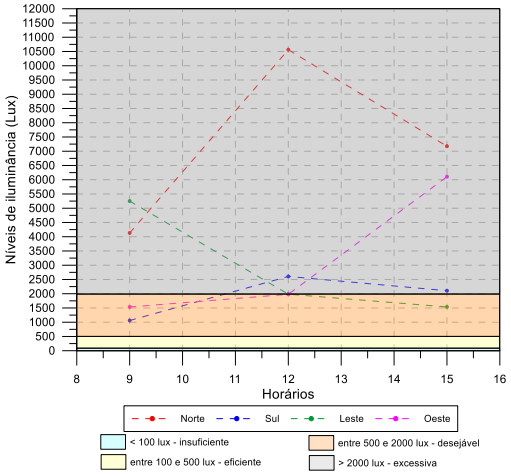


Figura 6 – Iluminância no período de inverno

Com relação ao inverno, período no qual o sol encontra-se mais baixo, os resultados se alteram devido ao fato de todas as orientações receberem menos tempo e menor quantidade de radiação solar. Na face norte em todas as horas os índices atingiram valores acima de 2000 lux, sendo o maior pico ao meio dia. Isso acontece porque nesse período a incidência solar é direta e durante o dia todo. Já no leste, tem-se incidência durante a manhã e com níveis acima do recomendado. Ao contrário do observado no verão, os valores de iluminância decaem a tarde pela janela alta ter menor influência nessa época do ano, devido a menor altura do sol durante o inverno. O oposto ocorre no oeste, onde a partir das 12:00hrs os valores registrados estão acima de 2000 lux, enquanto de manhã os valores se enquadram como desejáveis.

Por fim, analisando os resultados obtidos para inverno e verão, conclui-se que a latitude analisada recebe radiação solar em abundância o ano todo, fato que reflete em nenhum dos níveis terem sido classificados como insuficientes e eficientes. Assim, essa alta desuniforme gera períodos onde a iluminância é muito alta, criando pontos de ofuscamento e regiões onde os índices apresentam uma redução significativa.

As Figuras 7 e 8 apresentam a relação entre os valores mínimo e médio das iluminância na área analisada (Emín/Eméd), com base na NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013), que indica que o valor não deve ser menor que 0,7 na tarefa e menor que 0,5 no entorno imediato. De forma geral todas as situações analisadas apresentam uniformidade abaixo dos valores recomendados, devido à grande extensão da janela 1.

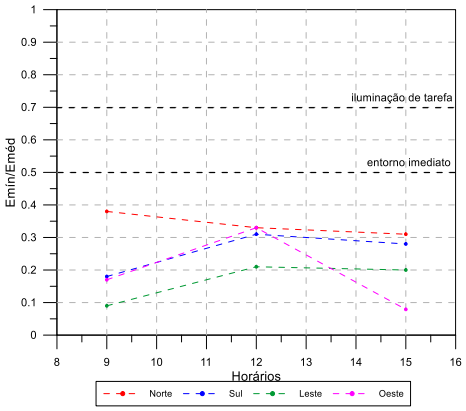


Figura 7 – Uniformidade no período de verão

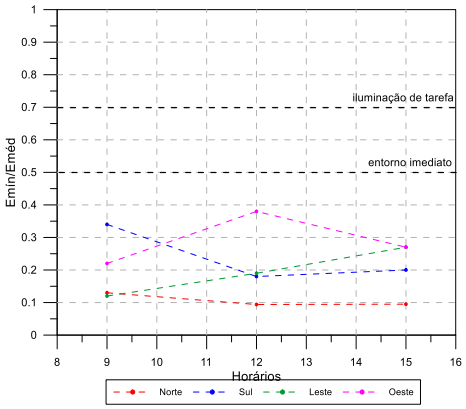


Figura 8 – Uniformidade no período de inverno

4.2. Análise qualitativa

Projetos de edificações visando condições térmicas e lumínicas adequadas devem prever o controle da insolação. Para isso, diversas ferramentas são utilizadas como *softwares*, aparelhos simuladores das trajetórias solares aparentes (*heliodons*) e cálculos apoiados em cartas solares tabelas e processos de geometria descritiva. Após a análise quantitativa, realizou-se uma análise qualitativa da penetração do sol no interior do modelo analisado pelas aberturas, comparando os resultados das simulações computacionais com os resultados do *heliodon*, a fim de verificar as semelhanças e as discrepâncias entre essas duas ferramentas.

O sol, ao penetrar pelas aberturas ou atravessar os materiais transparentes, causará uma mancha iluminada no interior do recinto. Dependento da latitude, orientação da fachada que contém as aberturas, período do ano e horário e as dimensões das aberturas, o sol pode incidir sobre o piso, sobre as paredes (do fundo e as laterais), sobre o plano de trabalho ou até mesmo ultrapassar os limites desse cômodo, atingindo outro compartimento. Esse estudo é importante não apenas para a verificação da carga térmica, mas também para analisar os problemas de ofuscamento e contraste que o sol, ao incidir sobre o plano de trabalho, pode ocasionar. As Figuras 9 e 10 apresentam os dados qualitativos do *heliodon* e das simulações, para a orientação norte no solstício de verão e inverno, respectivamente, nos horários: 9:00, 12:00 e 15:00hrs.



(a) (b) (c)

Figura 9 – Resultados do *heliodon* e das simulações para a fachada norte no verão às (a) 9:00, (b) 12:00 e (c) 15:00hrs.



(a) (b) (c)

Figura 10 – Resultados do *heliodon* e das simulações para a fachada norte no inverno às (a) 9:00, (b) 12:00 e (c) 15:00hrs.

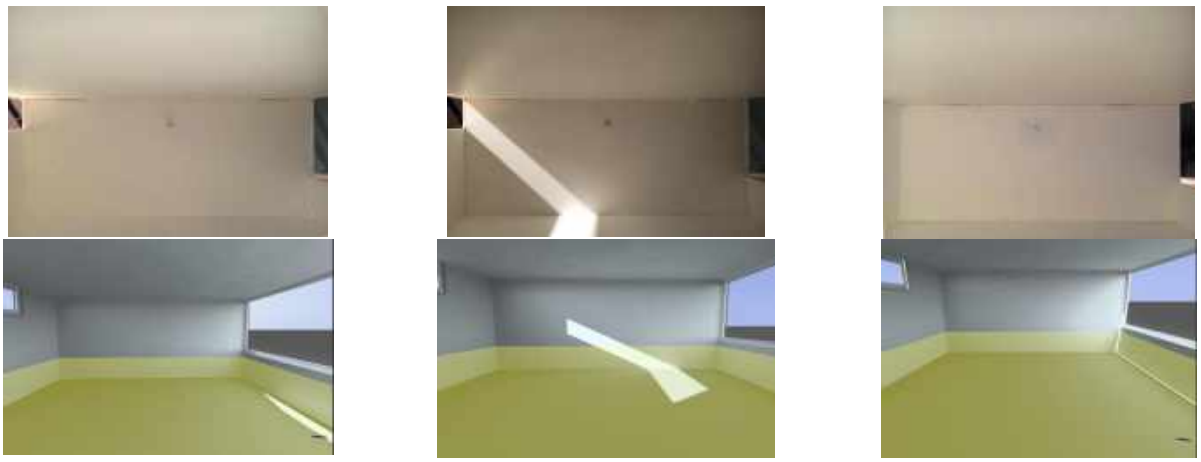
No período do verão, nota-se a ausência da incidência direta da radiação solar no ambiente interno, em ambas as ferramentas analisadas, não resgistrando nenhuma mancha iluminada. Isso ocorre, pois, para a orientação norte nessa latitude, tem-se apenas a incidência da radiação difusa, não tendo incidência direta da radiação solar pela abertura (figura 9). Já no inverno, a situação é contrária, registrando a entrada da radiação solar direta pela abertura maior e, assim, a possibilidade de um aquecimento solar passivo e ofuscamento (com base nos valores registrados anteriormente na análise quantitativa). Além disso, no solstício de inverno a trajetória aparente do Sol apresenta alturas mais baixas, atingindo maior parte do ambiente interno da sala quando comparada ao solstício de verão. Nota-se uma grande semelhança na representação da trajetória do sol no ambiente interno nos três horários, nas duas ferramentas analisadas, notando-se algumas diferenças no tamanho do desenho da mancha iluminada interna. No entanto, o padrão e as faces ensolaradas são compatíveis. Ressalta-se que às 9:00hrs e às 15:00hrs o alcance da câmera não registrou parte da mancha iluminada na parte posterior do ambiente interno, no *heliodon*.

As Figuras 11 e 12 apresentam os dados do *heliodon* e das simulações, para a orientação sul no solstício de verão e inverno, respectivamente, nos horários: 9:00, 12:00 e 15:00hrs. No verão, nota-se o contrário da face norte, ou seja, incidência da radiação solar na envoltória do edifício. No entanto, como o sol tangencia a fachada, não incidindo de forma perpendicular, não tem registro de área ensolarada no ambiente interno. Nota-se novamente uma compatilidade entre as ferramentas, ressaltando novamente uma diferença às 15:00hrs do solstício de verão, cujo desenho da área iluminada no DialuxEvo apresenta uma extensão maior que no *heliodon*. Já no inverno, tem-se apenas a radiação difusa, sem incidência direta no interior do modelo. Já às 12:00hrs do inverno, o *heliodon* registra a entrada da radiação solar pela abertura mais alta, sendo que a mancha iluminada é muito próxima a abertura na face lateral, ao contrário das simulações, cuja extensão é significativamente menor.



(a) (b) (c)

Figura 11 – Resultados do *heliodon* e das simulações para a fachada sul no verão às (a) 9:00, (b) 12:00 e (c) 15:00hrs.



(a) (b) (c)

Figura 12 – Resultados do *heliodon* e das simulações para a fachada sul no inverno às (a) 9:00, (b) 12:00 e (c) 15:00hrs.

As Figuras 13 e 14 apresentam os dados qualitativos do *heliodon* e das simulações, para a orientação leste no solstício de verão e inverno, respectivamente, nos horários: 9:00, 12:00 e 15:00hrs. No período da

manhã tem-se claramente a incidência direta do sol pela abertura maior. Ao meio dia, cujo sol está a pino não tem incidência direta no ambiente interno. Já no período da tarde, nota-se a influência da janela mais alta, disposta na fachada oposta. Uma semelhança dos desenhos das áreas iluminadas foi registrada, com algumas discrepâncias entre as simulações e o *heliodon,* destacando às 9:00hrs no período de verão, cujo desenho nas simulações foi maior do que no *heliodon*. Além disso, às 15:00hrs do verão as simulações registraram a radiação solar direta incidindo pela janela mais alta, formando uma mancha iluminada que não aparece nos ensaios experimentais. No sosltício de inverno as simulações e os ensaios foram muito compatíveis, ressaltando apenas uma diferença no tamanho na mancha iluminada no ambiente interno para às 9:00hrs. No DialuxEVO essa dimensão é significativamente maior, o que indica uma maior incidência da radiação solar no ambiente interno, resultado na altura do sol nesse horário, que forma uma angulação menor com a superfície terrestre, do que ao meio dia, por exemplo (figura 14).



(a) (b) (c)

Figura 13 – Resultados do *heliodon* e das simulações para a fachada leste no verão às (a) 9:00, (b) 12:00 e (c) 15:00hrs.



(a) (b) (c)

Figura 14 – Resultados do *heliodon* e das simulações para a fachada leste no inverno às (a) 9:00, (b) 12:00 e (c) 15:00hrs.

Por fim, as Figuras 15 e 16 apresentam os dados qualitativos do *heliodon* e das simulações, para a orientação oeste no solstício de verão e inverno, respectivamente, nos horários: 9:00, 12:00 e 15:00hrs. Nesse caso, no período da tarde tem-se claramente a incidência direta do sol pela abertura maior. Ao meio dia, cujo sol está a pino não tem incidência direta no ambiente interno. Já no período da manhã, nota-se a influência da janela mais alta, disposta na fachada oposta. Para essa orientação, tem-se uma semelhança na distribuição da área ensolarada no ambiente interno, ressaltando novamente uma diferença no tamanho da mancha iluminada às 15:00hrs, cujo no *heliodon* ela é maior, para o solstício de verão e inverno e às 9:00hrs para o solstício de inverno, destaca-se que o alcance da lente fotográfica não registrou parte da mancha iluminada na parte posterior do ambiente interno, nos ensaios do *heliodon*.



(a) (b) (c)

Figura 15 – Resultados do *heliodon* e das simulações para a fachada oeste no solstício de verão às (a) 9:00, (b) 12:00 e (c) 15:00hrs.



(a) (b) (c)

Figura 16 – Resultados do *heliodon* e das simulações para a fachada oeste no solstício de inverno às (a) 9:00, (b) 12:00 e (c) 15:00hrs.

Por fim, nota-se claramente que as principais discrepâncias encontradas nas imagens são de grandeza dimensional e não qualitativa. As duas ferramentas apresentam o mesmo padrão das manchas iluminadas, atingindo as mesmas faces internas e no mesmo sentido. As diferenças registradas são com relação o tamanho dos desenhos das áreas ensolaradas. Isso pode ter ocorrido, devido à proximidade do *heliodon* com a parede e, assim, ocasionado uma possível reflexão da luz, proveniente da lâmpada, na parede, atingindo posteriormente o modelo, o que não ocorreu nas simulações, cujo entorno estava totalmente desobstruído. Além disso, as simulações são realizadas considerando a escala real do modelo, diferente do *heliodon*, onde são utilizados modelos em escala reduzida. Segundo Frota (2004), como não se dispõe de lâmpada com raios paralelos no *heliodon*, às observações realizadas serão tanto mais corretas quanto menor for à relação entre as dimensões do modelo e a distância a que ele se encontra do projetor, o que pode ter ocasionado alguma discrepância nos resultados.

5. CONCLUSÕES

As análises quantitativas possibilitam verificar se a iluminância é excessiva e provoca ofuscamento ou tem níveis reduzidos que dificultam a execução das atividades internas. Como complemento, as análises qualitativas auxiliam na visualização de como o sol penetra em um recinto, auxiliando os projetistas na decisão de alterar as características das aberturas, orientação solar, o projeto de protetores solares, entre outros.

Devido à grande extensão da abertura, durante o período do verão, três das quatro orientações analisadas apresentam em ao menos um período do dia índices de iluminância acima do recomendado, com exceção da norte. Isso mostra que pode ocorrer ofuscamento e o desconforto visual aos usuários, sendo adequado adicionar, por exemplo, protetores solares na abertura. Já na face sul, apesar de a curva do solstício de verão apresentar iluminâncias maiores, não são elevados em demasia, uma vez que a trajetória do sol não é perpendicular na fachada, mas sim tangente, fornecendo uma iluminação de melhor qualidade. No inverno, tem-se uma redução dos valores de iluminância por ser um período onde a edificação recebe menor quantidade

de radiação solar e por menor tempo, com exceção da face norte, que ao contrário do verão, apresenta todas as horas do dia com níveis acima do recomendado, por receber radiação solar direta e indireta durante todo o dia. Ressalta-se que apesar desse período requerer um aquecimento solar passivo deve-se ficar atento para que esse valor não seja excessivo e causar desconforto visual aos usuários. Os índices de iluminância elevados refletem nos valores de uniformidade, onde se encontraram abaixo do recomendado, devido ao significativo contraste dos valores internos, causados pela grande abertura.

Por fim, na análise qualitativa, a maioria dos resultados registrou uma compatibilidade entre as duas ferramentas analisadas, existindo alguns períodos com discrepâncias entre as simulações computacionais e os ensaios no *heliodon*. As principais discrepâncias encontradas nas imagens são com relação à dimensão das áreas ensolaradas nos ambientes internos. Isso pode ter ocorrido, devido à proximidade do *heliodon* com a parede e o fato das simulações serem realizadas considerando a escala real do modelo, diferente do *heliodon*, que trabalhamos com modelos em escala reduzida. Nesse caso, conforme relatado anteriormente a relação do tipo de lâmpada no *heliodon* com as dimensões do modelo e a distância a que ele se encontra do projetor, pode ter ocasionado discrepâncias nos resultados. No entanto, nota-se claramente que as duas ferramentas apresentam o mesmo padrão das manchas iluminadas assim como atingem as mesmas faces internas, comprovante a semelhança entre os dois métodos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALUCCI, M. P. **Manual para dimensionamento de aberturas e otimização da iluminação natural na arquitetura**. São Paulo: FAUUSP, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR/ISO 8995-1** – Iluminação em ambientes de trabalho. Rio de Janeiro, 2013.

BERSON DM, DUNN FA, TAKAO M. **Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock**. Science, Washington, V. 295, n. 5557, p. 1070-1073, 2002.

CADDET. **Saving energy with efficient lighting incommercial buildings.** Centre for the analysis and dissemination of demonstrated energy technologies. The Netherlands, 1995.

CARAM, R. M. **Vidros e o conforto ambiental: indicativos para o emprego na construção civil.** 1996. 131p. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo

CIE STANDARD – COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE (2006). Technical Report. **CIE 171:2006 Test Cases to Assess the Accuracy of Lighting Computer Programs**. France, 2006.

FROTA, A. B. **Geometria da insolação.** São Paulo: Geros, 2004.

FDE - FUNDAÇÃO PARA DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO. Governo do Estado de São Paulo. Disponível em: < https://www.fde.sp.gov.br/PagePublic/Interna.aspx?codigoMenu=158>. Acesso em: 05 de maio de 2019.

GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Avaliação das Condições de Iluminação Natural nas Salas de Aula da Universidade Federal de Santa Catarina**. In.: I Encontro Nacional sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, Canela, 1997

HESCHONG, LISA, ROGER L. WRIGHT, STACIA OKURA. **Daylighting impacts on human performance in school**. Journal of Illuminating Engineering Society Summer, 2002.

HOPKINSON, R.G; PETHERBRIDGE, P; LONGMORE, J. **Iluminação natural.** Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1975.

IESNA. ILLUMINATION ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA. **Lighting for hospitals and health care facilities** (RP 29-95). IESNA New York, 1995.

JOSÉ, A.A.S. **Estudo de desempenho de ferramenta computacional no cálculo da luz natural em edificações para a cidade de Juiz de Fora.** 2015. 145f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juíz de Fora, 2015.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K. **Arquitetura Escolar – o projeto do ambiente de ensino**. Brasil: Oficina de Textos, 2011. 272 p.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A. DE P.; GOULART, S.; VECCHI, R. **Conforto e stress térmico**. Apostila da disciplina ECV 4200: Conforto Ambiental. Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2014. 139p

MACIEL, À.À. **Integração de conceitos bioclimaticos ao projeto arquitetônico**. Tese (doutorado), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianopolis, 2006.

MONTEIRO, L. M.; BITTENCOURT, L. Arquitetura da adaptação. Em: GONÇALVES, J. C. S.; BONE, K. (2015). Edifício ambiental. São Paulo: Oficina de textos, 2015.

NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. **Useful daylight illuminances: a replacement for daylight factors.** Energy and Buildings, v. 38, n. 7, p. 905-913, jul. 2006.

SAMPAIO, A. V. C. F. **Arquitetura Hospitalar**: **Projetos ambientalmente sustentáveis, conforto e qualidade.** Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, 2005.

SILVA, M. L. da. **Iluminação – Simplificando o Projeto**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda. 2009. 176 p.

VIANNA, N. S.; GONÇALVES, J. C. S. **Iluminação e Arquitetura**. São Paulo: Geros, 2001.