

IMAGEM HDR DE MODELO FÍSICO: UMA ALTERNATIVA PARA AVALIAÇÃO QUALITATIVA DA ILUMINAÇÃO NATURAL NO ENSINO DE PROJETO

HDR IMAGE IN PHYSICAL SCALE MODEL: AN ALTERNATIVE FOR QUALITATIVE DAYLIGHTING EVALUATION IN DESIGN EDUCATION

Jéssica Cristine da Silva Fonseca Matos¹, Taísa Dóccosse Pavani², Paulo Sergio Scarazzato²

RESUMO:

Modelos físicos na arquitetura têm sido utilizados há séculos como estratégia para análise de diferentes aspectos do projeto, incluindo a iluminação natural. No ensino, esta prática é muito utilizada nos ateliês de projeto de cursos de graduação em Arquitetura e Urbanismo. Por sua vez, as Imagens de Grande Alcance Dinâmico - HDR (*High Dynamic Range*) têm sido usadas também para análises de iluminação natural; entretanto, grande parte dos estudos que abordam seu uso tem sido feita para ambientes reais. Este trabalho tem como objetivo apresentar o uso dessas duas técnicas conjuntamente para estudos de iluminação natural no ensino do projeto. Para tanto, compara imagens HDR e suas decomposições em cores falsas de um ambiente real com as de seu modelo físico. O estudo permite concluir que Imagens HDR de modelos físicos são confiáveis para análise qualitativa da iluminação natural e, portanto, podem ser utilizadas como ferramenta auxiliar ao ensino de projeto.

PALAVRAS-CHAVE: iluminação natural; imagens HDR; modelo físico; ensino de projeto.

ABSTRACT:

Physical scale models have been used for centuries by architects as a strategy for analyzing different design aspects, including daylighting. In architectural undergraduate courses, physical scale models are usual familiar tools to the students. By its turn, High Dynamic Range Images (HDRI or simply HDR) have been used for daylighting analysis, but only for real cases. This paper aims to present the reliability of the HDR technique in physical scale models. It compares HDR images and their decomposition in false colors of real interior space with those images of the physical scale model of the same interior space. The study permits us to conclude that HDR images of physical scale models are reliable for qualitative analysis of daylight and are a confident auxiliary tool for design education.

KEYWORDS: *daylighting; HDR image; physical scale model; design education.*

¹Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismo.

²Universidade de São Paulo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.

Fonte de Financiamento:

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. Processo 17/24479-4.

Conflito de Interesse:

Não há.

Submetido em: 29/06/2021.

Aceito em: 21/03/2022

How to cite this article:

MATOS, Jéssica Cristine da Silva Fonseca, PAVANI, Taísa Dóccosse, Scarazzato, Paulo Sergio. Imagem HDR de modelo físico: uma alternativa para avaliação qualitativa da iluminação natural no ensino de projeto. *Gestão & Tecnologia de Projetos*. São Carlos, v17, n3, 2022. <https://doi.org/10.11606/gtp.v17i3.187908>



INTRODUÇÃO

Nos cursos de arquitetura o ateliê de projeto ocupa lugar de destaque, e sua importância na formação do arquiteto reside no fato de que nele, o aprendizado se dá pela experimentação, pelo aprender a fazer fazendo (LAWSON, 2011). No ateliê, não se transmite fórmulas a serem seguidas, mas problemas a serem resolvidos, e para os quais nunca há solução única, mas diversas, que demandam sensibilidade e competência para a escolha das melhores a cada caso.

Entretanto, o ensino de ateliê falha quando os alunos focam mais no produto do que no processo de projeto (LAWSON, 2011). Cabe observar que nos ateliês de projeto dos cursos de graduação em Arquitetura e Urbanismo, maquetes físicas são confeccionadas para observações sobre volumetria daquilo que se está projetando, bem como, para análise superficial do partido estrutural. Questões de luz não são consideradas.

Há que se observar que maquetes físicas podem ser consideradas extensões dos croquis, em três dimensões, real e não virtual (KOWALTOWSKI *et al.* 2011). Modelos tridimensionais físicos permitem observações com nível de percepção não proporcionado por modelos virtuais. Na confecção de maquetes, as mãos funcionam como uma extensão dos olhos. Visão e tato são sentidos que se complementam.

Este artigo discorre sobre as vantagens das maquetes, ou modelos físicos em escala reduzida, para estudos de iluminação natural, associadas ao emprego da técnica de geração de Imagens de Grande Alcance Dinâmico (do inglês *High Dynamic Range* - HDR) e sua decomposição em cores falsas, como ferramenta prática, confiável e de custo reduzido, em ateliês de cursos de graduação em arquitetura e urbanismo. O estudo parte de uma análise qualitativa, comparando as imagens HDR e suas cores falsas de um modelo físico e o ambiente real correspondente.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

MODELOS FÍSICOS

Modelos físicos são ferramentas de projeto que têm sido empregados na arquitetura há muito tempo para explorar e estudar diferentes aspectos do projeto. É uma extensão do croqui, com a vantagem da terceira dimensão. Ander (2003) menciona alguns testes que podem ser realizados em modelos físicos que se aplicam na vivência do ateliê, tais como: observações visuais do modelo, análise de volumetria, modificações de projeto, dimensionamento e posição de aberturas, bem como, estudos de materiais para avaliação do impacto destes elementos na iluminação natural.

Os modelos físicos são fundamentais no ensino de arquitetura e urbanismo, pois permitem o treinamento da habilidade mão-olho e estimulam a percepção visual. A manipulação destes possibilita maior compreensão de cor, equilíbrio, luz, textura e proporções. A possibilidade do contato tátil na confecção manual do modelo coloca o estudante em contato com o mundo real. Neste estágio da formação do arquiteto a complexidade tridimensional deve ser trabalhada por meio de tais modelos, uma vez que as maquetes eletrônicas têm capacidade limitada para transmitir a complexidade tridimensional (KOWALTOWSKI, *et al.*, 2011).

Um dos pontos que interferem na confecção do modelo físico, segundo Pereira (2006) é a disponibilidade de recursos e de tempo, bem como a capacidade intelectual de quem o confecciona. Por outro lado, Cannaerts (2009) explica que a relativa lentidão do processo da modelagem física dá espaço para a reflexão, o que permite mudanças e alterações de projeto enquanto o modelo está sendo confeccionado; por outro lado, a prototipagem rápida não permite tempo suficiente para reflexão.

No processo de projeto, os modelos reduzidos, na arquitetura como também na engenharia civil, podem ser uma evidência utilizada para projetos inovadores na realização de investigações tais como: o estudo de sistema urbano, a visualização espacial do projeto, técnicas construtivas, comportamento de estruturas, desempenho térmico, acústico e luminoso das edificações (PEREIRA, 2006; ADDIS, 2021). Para ser confiável, deve haver semelhança suficiente entre o modelo e o objeto de estudo.

A utilização de modelos reduzidos diminuiu desde meados de 1970 à medida que a confiabilidade da simulação computacional aumentou. No entanto, ainda são utilizados copiosamente em projetos complexos e inovadores em situações que não podem ser vistas através de análises de matemáticas manuais e em fenômenos em que os modelos matemáticos processados por computadores ainda não são confiáveis (PEREIRA, 2006; ADDIS, 2021).

MODELOS FÍSICOS E ILUMINAÇÃO NATURAL

A iluminação é um dos elementos-chave na composição arquitetônica. Segundo Baeza, "*sem luz, a arquitetura é nula*". Em seu livro *A Ideia Construída*, ele menciona que quando um arquiteto descobre que a luz é o tema central da arquitetura, então, torna-se um verdadeiro arquiteto (BAEZA, 1996). Sendo a luz um dos requisitos do conforto ambiental, a iluminação (natural ou elétrica) é um elemento estruturador do espaço, podendo modificar sua forma, percepção do espaço e seu significado.

Louis Kahn já dizia:

"(...) todos os espaços precisam de luz natural ... todos os espaços dignos de ser assim chamados necessitam de luz natural. Luz artificial é somente um breve e único momento na luz... e luz natural é a lua cheia, o que faz a diferença." (KAHN, 2010, p. 57).

A utilização de modelos físicos para estudos de iluminação natural é frequente, desempenhando um papel importante para a tomada de decisões. Permite análises em heliodon, ajudando a definir a orientação dos volumes, localização das aberturas e detalhamento das proteções solares, por meio de brises, prateleiras de luz e outros elementos. O modelo físico é um recurso confiável para análise de iluminação natural, pois o comprimento de onda da luz visível é extremamente diminuto (entre 380 e 780 nm), razão pela qual, não há distorção em função da escala reduzida (LAM, 1986; ROBBINS, 1986; MOORE, 1991; PEREIRA *et al.*, 2011; SCARAZZATO, 2018). Então, o modelo físico exposto às mesmas condições de céu do ambiente real, apresenta o mesmo padrão de distribuição de luz (PEREIRA *et al.*, 2011).

Lechner (2009) aprova a utilização de modelos físicos como uma das melhores maneiras do arquiteto estudar a quantidade e qualidade de luz num ambiente. Lam (1977 e 1986) que atuava como consultor de iluminação, descreve diversas consultorias realizadas na qual fez uso de modelo físico para análise de luz natural, sob condição de céu real. Também fez uso do modelo para testar desempenho de elementos de proteção e sombreamento da luz natural. Porém, Lam (1977) lamenta o fato de que os modelos são geralmente executados muito tarde no processo de projeto, de forma refinada e geralmente muito caros. Modelos de estudos mais baratos e simples devem ser executados como forma de discussão dentro da equipe de projeto. A simplicidade do modelo não desobriga a atenção quanto aos materiais utilizados, já que devem possuir a mesma refletância dos materiais que serão utilizados na concepção real. A escala do modelo também deve ser conveniente para poder observar e fotografar.

Resultados úteis podem ser alcançados se a escala e detalhes do modelo estiverem adequados, e com pouco investimento. O nível de detalhamento e escala deve ser analisado de acordo com

a finalidade na qual o modelo é concebido. Não há motivos para construir um modelo detalhado se é necessária uma resposta simples. Pereira *et al.* (2011) elencam alguns cuidados na confecção dos modelos que devem ser verificados, para que não ocorram distorções na avaliação da distribuição de luz no modelo físico:

- Propriedades ópticas das superfícies;
- Condições de entorno;
- Precisão dimensional;
- Procedimentos fotométricos.

Os modelos físicos devem possuir aberturas pelas quais é possível observar o ambiente e encaixar a lente da câmera para a tomada de fotografias. As aberturas do ambiente não podem ser utilizadas para essa finalidade, já que o observador ou a câmera estaria obstruindo a passagem de luz para o ambiente reduzido (LECHNER, 2009).

Pereira *et al.* (2011) citam as principais vantagens dessa ferramenta de projeto: (i) dados quantitativos precisos, mesmo com modelos simplificados; (ii) adequado para lidar com geometrias complexas; (iii) facilidade nas comparações pela possibilidade de troca de componentes; (iv) familiar para a maioria dos arquitetos, já que a execução de modelos constitui-se uma prática consagrada no ensino da arquitetura; (v) ferramenta de comunicação com outros membros da equipe e clientes; (vi) permite avaliações qualitativas através da observação direta ou por fotografias.

IMAGENS HDR

A sigla HDR, do inglês *High Dynamic Range*, é uma técnica que possibilita o registro de imagens com o mais alto grau de contraste possível, aproximando com o que o olho humano consegue captar. A origem desta técnica é de meados do século XX e o grande impulso para o desenvolvimento da técnica foi a criação das câmeras digitais.

Quanto às análises de iluminação por fotografias, é possível medir as propriedades fotométricas de uma cena por meio de medição ponto-a-ponto, um trabalho manual que leva um tempo para concretizar, ficando propenso a erros devido às incertezas de medição no campo. Havia necessidade de uma ferramenta de captura das luminâncias dentro de um campo de visão com uma resolução elevada, de modo rápido e barato (INANICI, 2006).

A geração de imagens HDR possibilita a análise da distribuição de luminâncias nos ambientes (INANICI e GALVIN, 2004 e INANICI, 2005) e o estudo de luminâncias em um campo extenso, ao contrário do que era possível de se obter com luminômetro (FARIA, 2007). A imagem HDR é formada por um conjunto de imagens com diferentes aberturas de exposição, para captura de grande variação de luminosidade dentro de uma cena. Desta forma, esta técnica pode ser realizada com qualquer câmera fotográfica que possua múltiplas capacidades de exposição.

A cena captada por uma câmera fotográfica, seja digital ou analógica, é diferente da cena registrada pelo sistema visual humano. Este último é capaz de visualizar uma ampla gama de tonalidades, cores e detalhes claros e escuros, visto que possui um ajuste da sensibilidade para a iluminação da cena. Numa fotografia comum esses detalhes são perdidos, áreas de muito contraste são criadas comprometendo o registro de algumas informações. A imagem HDR surge para tentar reproduzir a gama de luminosidades captada pela visão humana (NASCIMENTO, 2008).

As imagens HDR equalizam os tons de uma imagem de modo a torná-la mais próxima possível da que é percebida pelo ser humano. Uma mesma cena é fotografada com diferentes tempos de

exposição, permitindo que zonas mais claras e mais escuras sejam mostradas. Este conjunto de imagens é exportado para um software específico (Photosphere, WebHDR, Light Photo Analyser, Picturenaut) para a compilação da imagem HDR e geração de sua correspondente de cores falsas.

A técnica já foi estudada e aprovada por diversos estudos: Inanici (2006) atesta que as luminâncias extraídas das imagens HDR indicaram precisão razoável quando comparadas com as medições físicas. Ela é, portanto, uma ferramenta útil para o registro de luminâncias com valores percentuais de erro correspondentes aos obtidos com os melhores instrumentos de medição disponíveis.

Faria (2007) afirma que as imagens HDR, por fornecerem a distribuição de luminâncias de um campo relativamente extenso, tornam possíveis a análise de valores absolutos e de relação de luminâncias, e que a análise dessas imagens apresenta resultados compatíveis com os obtidos por medições. Nascimento (2008) demonstra que para estudos de iluminação, este tipo de imagem apresenta grande potencial, uma vez que os atributos de seus pixels têm relação direta com as suas luminâncias. Souza e Scarazzato (2009) se referem a esta técnica como promissora e acessível para análise do ambiente construído, uma vez que até mesmo câmeras compactas são apropriadas para seu uso e adequadas para estudos de iluminação nas situações mais comuns do dia a dia.

Beltrán e Mogo (2005), mostram que as diferenças entre os valores de luminâncias medidos e gerados pela fotografia HDR variam entre -0,7 a 3,5% da medição média da luminância, tornando o procedimento ideal para ser usado na avaliação da qualidade de iluminação. Nascimento (2008) sugere que a imagem HDR poderá substituir o luminancímetro, já que fornece a vantagem de coletar dados de iluminação dentro de um campo visual de forma rápida e eficiente, o que não é sempre possível com um medidor físico. Porém essa técnica requer condições estáveis durante o período de captura. Mudanças de luz significativas entre as fotografias podem comprometer a precisão do resultado. Inanici (2006) recomenda medir um único alvo da cena primeiramente, para ser utilizado como uma calibração, para tomar ciência das limitações e erros esperados nas demais fotografias, de modo a poder interpretar corretamente os resultados.

Há três vantagens na utilização das imagens HDR em relação aos instrumentos de medição e ferramentas convencionais. As duas primeiras, segundo Cornolly e Leung (1995) é que em curto tempo de exposição (1-2 minutos) as câmeras digitais podem gravar uma cena inteira e possibilitam as medições sem contato. E por fim, de acordo com Cai (2013), cada imagem fotográfica pode adquirir inúmeros valores de pixel, dependendo da resolução da câmera.

Cai (2013) aponta duas limitações a serem superadas para a medição síncrona de luz e geometria: a imagem HDR quando utilizada para mapeamento de luminâncias não pode medir a geometria; e a maioria das lentes grande angular e olho de peixe têm distorções de lente, que a fotografia HDR não pode corrigir.

DECOMPOSIÇÃO EM CORES FALSAS

A decomposição de imagem HDR em cores falsas, tem sido utilizada em diversos trabalhos de análise de iluminação natural (FARIA, 2007; THANACHAREONKIT, 2008; SOUZA, 2010; CYPRIANO, 2013; MATOS, 2017; FERREIRA, 2017) e tem como objetivo principal a compreensão, do ponto de vista qualitativo, de como se dá a distribuição da luz no ambiente. Esta técnica mapeia a luminância de um pixel para uma cor, normalmente utilizando os tons azuis para áreas escuras, enquanto os tons vermelhos indicam altas luminâncias e substitui o uso de equipamentos mais específicos, como o luminancímetro para obtenção de valores absolutos. As imagens em cores falsas fornecem, a partir de uma leitura gráfica, as relações de

Imagem HDR de modelo físico: uma alternativa para avaliação qualitativa da iluminação natural no ensino de projeto.

distribuição da luz e contrastes, facilitando o entendimento da percepção do ambiente luminoso.

São várias as áreas de conhecimento que se valem da distribuição de luminâncias para extrair informações importantes. Akyuz e Kaya (2006) citam estudos com fósseis, patrimônio cultural e arqueologia, engenharia estrutural, estudos médicos e forenses. Os autores também citam estudos na arquitetura e afirmam que a representação de dados de luminância que usam cores falsas podem ser benéficas para todas essas disciplinas.

IMAGENS HDR E CORES FALSAS EM MODELOS FÍSICOS

A prática de fotografar modelos físicos tem sido utilizada para vários propósitos, porém a geração de imagem HDR e sua decomposição em cores falsas ainda é pouco explorada. Scarazzato (2018) afirma ser o uso de imagens HDR de modelos físicos um excelente recurso didático para o ensino da iluminação em cursos de graduação em Arquitetura e Urbanismo e bastante motivador, conforme depoimentos espontâneos de alunos. O presente estudo apresenta uma análise qualitativa de imagens HDR e suas correspondentes em cores falsas de um modelo físico e as compara com as respectivas imagens do ambiente real correspondente.

MATERIAIS E MÉTODOS

O delineamento metodológico foi dividido em cinco fases, iniciadas com a (a) formulação da questão de pesquisa; (b) definição da unidade-caso; (c) construção do modelo físico; (d) coleta de dados e (e) análise e interpretação dos dados.

O objeto de estudo é uma suíte da Casa do Professor Visitante (CPV) hotel situado na Unicamp e projeto do Bloch Arquitetos Associados, construído em 1996. Esta unidade foi objeto de estudo anterior (MATOS, 2017) na qual foram analisadas as áreas comuns do hotel.

A figura 1 mostra a implantação do complexo que conta com área administrativa da Funcamp (Fundação de Desenvolvimento da Unicamp) e a área destacada em azul corresponde ao hotel. A área menor, destacada de vermelho, é a suíte disponibilizada para o estudo, com aproximadamente 18 m². Mobiliada em móveis de madeira escura, paredes de tonalidade salmão e teto branco conforme demonstrado na figura 2. A suíte possui duas aberturas que permitem a entrada de luz na fachada noroeste demonstradas na figura 4.



Figura 1. Imagem satélite da Implantação do CPV – destaque em vermelho para localização da súde analisada.

Fonte:
Google Earth, 2017.

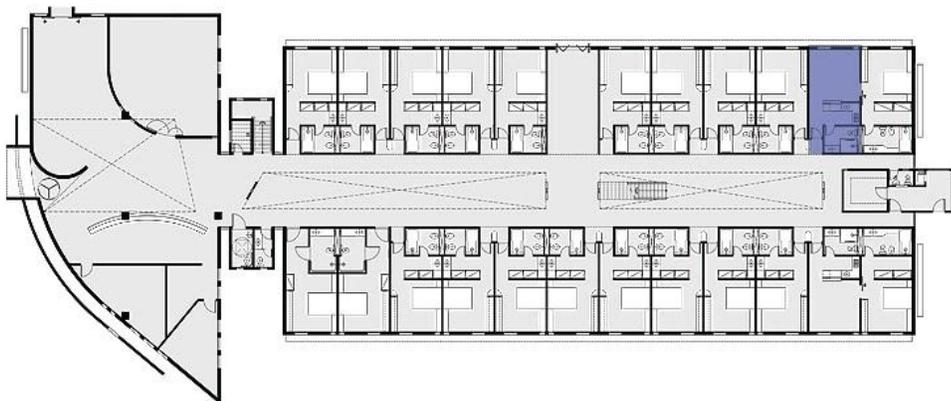


Figura 2. Planta Geral andar térreo do CPV.

Fonte:
Adaptado de Bloch Arquitectos, 2017.

O modelo físico foi confeccionado na escala 1:10, com materiais de acabamento o mais próximo possível aos do ambiente real: paredes na cor salmão, adesivo madeirado no piso e mobília, tecido nas camas e teto branco. Para que não houvesse influência da luz externa a maquete foi “encapada” com adesivo plástico e fita isolante nas cores pretas. No modelo físico, uma abertura redonda na parede oposta às janelas, foi feita para encaixe da objetiva da câmera (Figuras 3 e 4).

Imagem HDR de modelo físico: uma alternativa para avaliação qualitativa da iluminação natural no ensino de projeto.

Figura 3. Modelo Físico, vista externa.

Fonte:
Autores, 2017.



Figura 4. Planta de referência para a construção do modelo físico.

Fonte:
Autores, 2017.

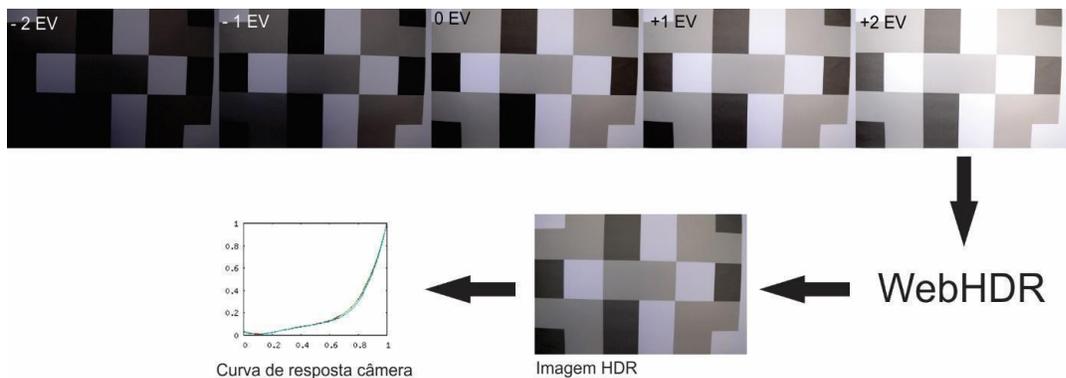


As imagens HDR foram obtidas a partir de uma câmera Nikon D3200 DSLR equipada com lente Nikon AF-S DX NIKKOR 18-55mm 1:33.5-5.6G VR II acoplada num tripé, sob condição de céu real claro com poucas nuvens, no equinócio de outono, 21 de março. A câmera foi calibrada, segundo Inanici e Galvin (2004), por meio da captura de cinco imagens de um quadro com desenhos geométricos em diferentes escalas de cinza, com variação no valor de exposição (EV) de -2 a +2, com intervalo de 1,0. As fotografias foram tiradas com os ajustes de ISO (100), balanço de brancos (luz solar), foco central e sem flash, conforme instruções Inanici (2006).

As cinco imagens de calibração foram então processadas no software WebHDR (JACOBS, 2010) e obtida a curva de resposta da câmera (Figura 5).

Figura 5. Curva de resposta de calibração da câmera Nikon D3200.

Fonte:
Autores, 2017.



Com a câmera calibrada iniciou-se o processo de tomada de imagens HDR no ambiente real e no modelo físico. O modelo físico foi posicionado na área externa do ambiente real, portanto com as mesmas visualizações de céu e entorno. Com a câmera acoplada num tripé, numa altura de 1,50m do chão, as cenas foram fotografadas adotando os mesmos intervalos de valor de exposição (EV) utilizados no processo de calibração da câmera. Foram seis tomadas de fotografias em três horários diferentes: às 9h30, às 12h e às 14h30, sendo uma série de fotografias do ambiente real e a outra série do modelo reduzido.

Em seguida, cada série de cinco imagens foi compilada no software WebHDR, para a composição de uma única imagem HDR. As imagens foram exportadas para o software RadDisplay (*Radiance Image Display*) para a geração de sua correspondente em cores falsas. A

escala utilizada, em candelas/m², compreende as faixas entre 0 cd/m² (azul) e 500 cd/m² (vermelho).

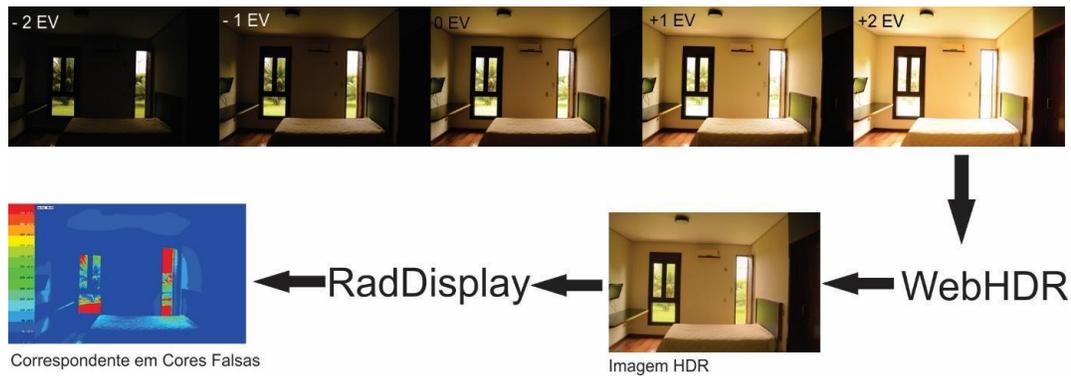


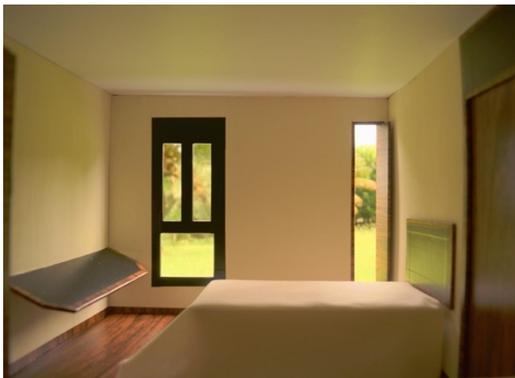
Figura 6. Procedimento para geração das Imagens HDR e Cores Falsas.

Fonte:
Autores, 2021.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As imagens HDR geradas a partir da tomada de fotografias da Suíte CPV e do modelo físico podem ser comparadas na figura 07. À esquerda encontram-se as imagens HDR do modelo físico, e à direita as imagens HDR do ambiente real.

Modelo físico - 9h30



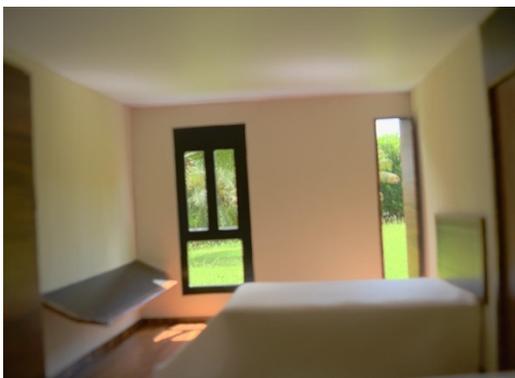
Ambiente Real - 9h30



Figura 7. Imagens HDR do modelo físico e ambiente real da Suíte CPV, nos horários 9h30, 12h e 14h30 – equinócio de outono.

Fonte:
Autores, 2021.

Modelo Físico - 12h



Ambiente Real - 12h



Imagem HDR de modelo físico: uma alternativa para avaliação qualitativa da iluminação natural no ensino de projeto.

Modelo físico - 14h30



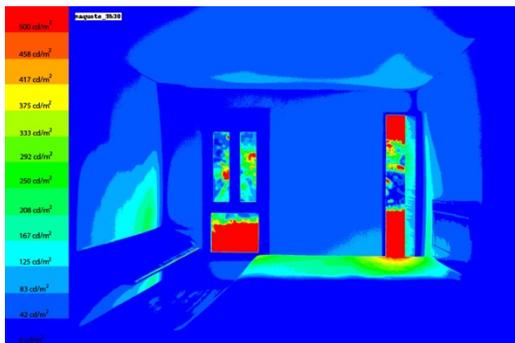
Ambiente Real - 14h30



A sequência de imagens acima permite observar que há grande semelhança entre o modelo físico e o ambiente real, no que diz respeito à distribuição da luz e aparência de cores do ambiente.

Da mesma forma, estão disponibilizadas na figura 08, as imagens correspondentes em cores falsas. À esquerda encontram-se as imagens em cores falsas do modelo físico, e à direita as imagens em cores falsas do ambiente real.

Modelo físico - 9h30



Ambiente Real - 9h30

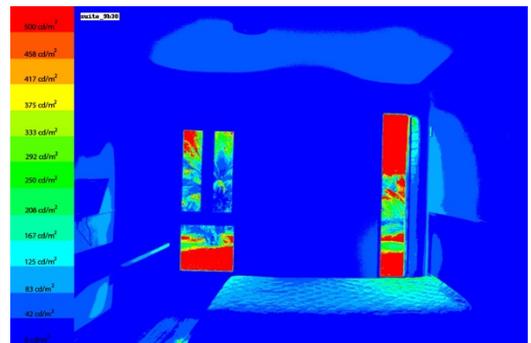
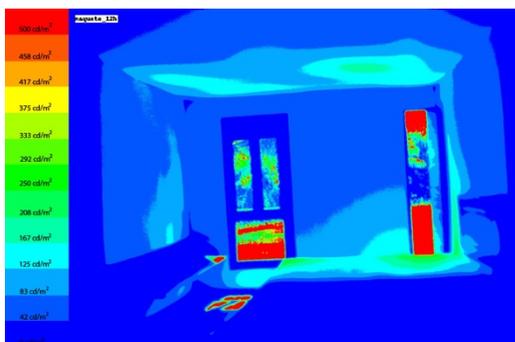


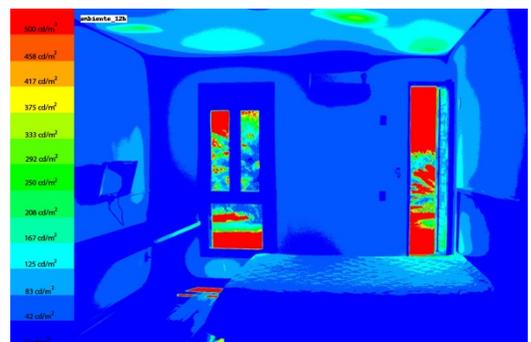
Figura 8. Imagens em Cores Falsas do modelo físico e ambiente real da Suíte CPV, nos horários 9h30, 12h e 14h30 – equinócio de outono.

Fonte:
Autores, 2021.

Modelo Físico - 12h

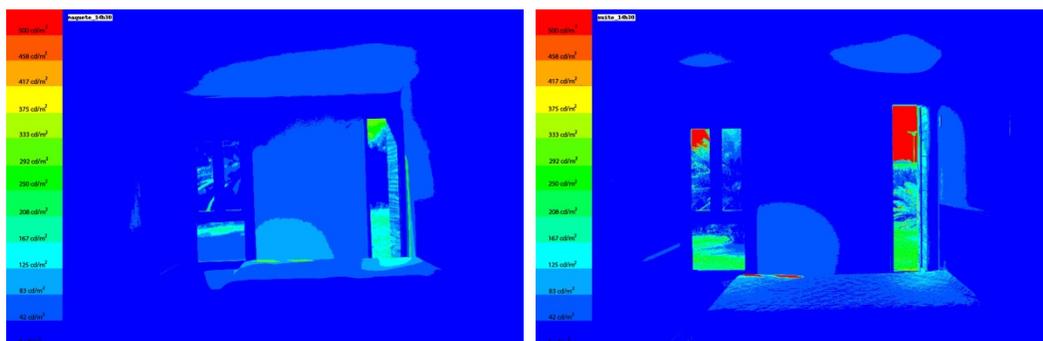


Ambiente Real - 12 h



Modelo físico - 14h30

Ambiente Real - 14h30



A comparação destas imagens permite constatar semelhança na distribuição da luz do modelo físico e do ambiente real. No primeiro horário (9h30) a luz adentra o ambiente sem raios diretos, iluminando mais a parte inferior do ambiente (piso, cama, parede à esquerda). No segundo horário (12h), já é possível visualizar raios de sol direto no piso próximo à janela da esquerda, tanto no modelo físico como no ambiente real, e uma maior refletância de luz no forro. No terceiro horário (14h30) ainda há luz solar direta entre a cama e a parede, e esta luz reflete na parede entre as janelas, nas duas imagens.

Como pode ser observado as cores falsas, tanto do ambiente real quanto do modelo físico, têm uma distribuição com pouca variação cromática. Isso significa que há boa homogeneidade na distribuição da luz no ambiente interno, o que reforça ser confiável a técnica da imagem HDR e sua decomposição em cores falsas do modelo físico para estudos de iluminação natural no interior dos edifícios. As diferenças de luminâncias que podem ser observadas nas aberturas do modelo físico e ambiente real são decorrentes do posicionamento do modelo físico no ambiente externo (rente ao chão). Mesmo assim, a distribuição da iluminação natural no interior do modelo físico guarda boa semelhança com o que se observa no ambiente real.

Embora este estudo tenha sido desenvolvido para um ambiente já construído, a geração de imagens HDR e suas cores falsas em modelos físicos podem ser utilizadas também para novos projetos. Esta prática didática já vem sendo utilizada como recurso didático nos cursos de graduação em Arquitetura e Urbanismo, da FEC-Unicamp e da FAUUSP (SCARAZZATO, 2018).

CONCLUSÃO

O objetivo desta pesquisa foi apresentar o uso de imagem HDR de modelo físico como uma ferramenta auxiliar ao ensino de projeto. Para tanto, foi feita a comparação das imagens HDR e suas correspondentes em cores falsas de um ambiente real e seu respectivo modelo em escala reduzida. A tomada de fotografias foi feita no mesmo dia e horário, portanto sob as mesmas condições de iluminação natural. A pertinência da proposta se justifica por dois fatos: (i) comprimentos de ondas da luz, por serem extremamente diminutos, não sofrem distorção em função da escala do ambiente representado; (ii) modelos físicos são familiares aos estudantes de arquitetura, o que facilita seu uso para estudos de iluminação natural.

Nas condições de realização deste estudo, constatamos que as imagens HDR do modelo físico, bem como sua decomposição em cores falsas, guardam grande semelhança com aquelas do ambiente real correspondente. A junção destas duas ferramentas – modelo físico e Imagem HDR com decomposição em cores falsas - é confiável e pode ser implementada como ferramenta auxiliar no ensino de projeto, de modo a possibilitar ao aluno uma melhor percepção da tridimensionalidade da luz no ambiente.

Imagem HDR de modelo físico: uma alternativa para avaliação qualitativa da iluminação natural no ensino de projeto.

Vale ressaltar a importância do cuidado aos detalhes na confecção do modelo físico quanto aos materiais utilizados. Novos estudos podem vir a ser desenvolvidos, com a inclusão de avaliação quantitativa da luz a partir das imagens HDR do ambiente real e do modelo físico.

Agradecimentos

Este estudo é financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo financiamento (processo 17/24479-4). Os autores agradecem à equipe da Casa do Professor Visitante na pessoa da Sra. Paula Chagas, que autorizou a visita; e à Arquiteta Heloísa Herkenhoff, da Bloch Arquitetos pelo fornecimento das informações e projetos.

Referências Bibliográficas

ADDIS, B. Physical Models and Innovation in Architectural and Civil Engineering. **Nexus Network Journal**, 16 jun. 2021. DOI <https://doi.org/10.1007/s00004-021-00560-1>. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00004-021-00560-1>. Acesso em: 11 ago. 2021.

AKYÜZ, A. O.; KAYA, O. A Proposed Methodology for Evaluating HDR False Color Maps. **ACM Transactions on Applied Perception**, v. 14, n. 1, p. 2:1-2:18, 19 jul. 2016. <https://doi.org/10.1145/2911986>. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/2911986>. Acesso em: 11 ago. 2021.

ANDER, G. D. **Daylighting Performance and Design**. 2nd Revised ed. Hoboken, N.J: Wiley, 2003.

BAEZA, A. C. **La idea construida: la arquitectura a la luz de las palabras**. [S. l.]: Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 1996. Disponível em: http://oa.upm.es/30439/1/Idea1_opt.pdf. Acesso em: 8 mar. 2021.

BELTRÁN, L. O.; MOGO, B. M. Assessment of luminance distribution using HDR photography. 2005. **ISES Solar World Congress, ISES Solar World Congress** [...]. [S. l.: s. n.], 2005. Disponível em: [http://faculty.arch.tamu.edu/media/cms_page_media/2884/LBeltran ISES 2005.pdf](http://faculty.arch.tamu.edu/media/cms_page_media/2884/LBeltran%20ISES%202005.pdf). Acesso em: 01 mar. 2021.

CAI, H. High dynamic range photogrammetry for synchronous luminance and geometry measurement. **Lighting Research & Technology**, v. 45, n. 2, p. 230–257, 1 abr. 2013. <https://doi.org/10.1177/1477153512453273>. Acesso em: 12 abr. 2021.

CANNAERTS, C. Models of / Models for Architecture Physical and Digital Modelling in Early Design Stages. **Conference: Computation: The New Realm of Architectural Design [27th eCAADe Conference Proceedings / ISBN 978-0-9541183-8-9] Istanbul (Turkey) 16-19 September 2009**, pp. 781-786

CYPRIANO, A. **Iluminação artificial na percepção da arquitetura**. Considerações sobre aspectos quantitativos e qualitativos no processo de projeto. Dissertação de Mestrado em Tecnologia da Arquitetura – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. DOI [10.11606/D.16.2013.tde-29072013-105957](https://doi.org/10.11606/D.16.2013.tde-29072013-105957). Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-29072013-105957/>. Acesso em: 18 ago. 2021.

CONNOLLY C.; LEUNG T. W. W. Industrial colour inspection by video camera. **Fifth International Conference on Image Processing and its Applications**, 1995, pp. 672-676, doi: 10.1049/cp:19950744.

FARIA, J. R. G. Aplicações de imagens hdr compostas por fotos digitais em análises de distribuição de luminâncias. **ENCAC 2007**, n. 2007, p. 10, 2007.

FERREIRA, V. L. S. A. **Influência de janelas falsas no bem-estar de usuários de ambientes enclausurados**. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, 2017. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/330686>. Acesso em: 18 ago. 2021.

INANICI, M. Per-pixel lighting data acquisition and analysis with high dynamic range photography. 2005. **International Commission on Illumination (CIE) 2005 Conference**, Leon, May 12th to 21st [...]. [S. l.: s. n.], 2005.

INANICI, M. Evaluation of high dynamic range photography as a luminance data acquisition system. **Lighting Research and Technology**, v. 38, n. 2, p. 123–136, 1 jun. 2006. <https://doi.org/10.1191/1365782806li1640a>. Acesso em: 12 abr. 2021

INANICI, M.; GALVIN, J. **Evaluation of High Dynamic Range Photography as a Luminance Mapping Technique**, n. LBNL--57545. [S. l.]: Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA (US), 30 dez. 2004. Disponível em <http://www.osti.gov/scitech/biblio/841925>. Acesso em: 13 abr. 2021.

JACOBS, A. **WebHDR**. Londres: [2010?]. Disponível em <http://www.jaloxa.eu/webhdr/>. Acesso em: 12. fev. 2017.

KAHN, L. **Forma e Design**. Tradução Raquel Peev. 1ª edição: Martins Fontes, 2010.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K.; MOREIRA, D. de C.; PETRECHE, J. R. D.; FABRÍCIO, M. M. (Orgs.). **O Processo de Projeto em Arquitetura: da Teoria à Tecnologia**. 1.ed. [S. l.]: Editora Oficina de Textos, 2011.

LAM, W. M. C. **Perception and Lighting as Formgivers for Architecture**. 1.ed. New York: McGraw-Hill Inc.,US, 1977.

LAM, W. M. C. **Sunlighting As Formgiver for Architecture**. 1.ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1986.

LAWSON, B. **Como arquitetos e designers pensam**. Tradução Maria Beatriz Medina. 1a edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LECHNER, N. **Heating, cooling, lighting: sustainable design methods for architects**. 3.ed. Hoboken, N.J: John Wiley & Sons, 2009.

MATOS, J. C. S. F. **Luz revelando arquitetura: registros de edifícios em Campinas, SP**. 2017. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, 2017. Disponível em <http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/331216>. Acesso em 30. Mai. 2021.

MOORE, F. **Concepts and Practice of Architectural Daylighting**. New York: John Wiley & Sons Inc, 1991.

NASCIMENTO, D. N. **Avaliação do uso de imagens HDR no estudo de iluminação**. 2008. UNESP, Bauru, 2008. Disponível em: <http://repositorio.unesp.br/handle/11449/89763>. Acesso em: 23 mai. 2021.

Imagem HDR de modelo físico: uma alternativa para avaliação qualitativa da iluminação natural no ensino de projeto.

PEREIRA, D. C. L. **Modelos físicos reduzidos**: uma ferramenta para a avaliação da iluminação natural. 2006. Dissertação de Mestrado - Universidade de São Paulo, 2006. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-16052007-153359/>. Acesso em: 10 fev. 2016.

PEREIRA, F. O. R.; PEREIRA, R. C.; CASTAÑO, A. G. Quão confiáveis podem ser os modelos físicos em escala reduzida para avaliar a iluminação natural em edifícios? **Encac** 2011, v. 2011, n. Búzios, p. 10, 2011.

ROBBINS, C. L. **Daylighting: design and analysis**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1986.

SCARAZZATO, P. S. **Questões de luz na formação do arquiteto**. 2018. Livre Docência – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2018.

SOUZA, D. F. **Iluminação natural e artificial em bibliotecas da UNICAMP**: diagnóstico e recomendações. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, 2010. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000773188>. Acesso em: 19 abr. 2015.

SOUZA, D. F.; SCARAZZATO, P. S. Estudos e Avaliações Pós-Ocupação da Iluminação no Espaço Construído através de Imagens HDR e Câmeras Digitais Compactas. **PRO Prática Profissional e Tecnologias Digitais**, 2009. Disponível em: http://cumincades.scix.net/data/works/att/sigradi2009_1161.content.pdf. Acesso em: 19 abr. 2021.

THANACHAREONKIT, A. **Comparing physical and virtual methods for daylight performance modelling including complex fenestration systems**. Tese Doutorado – École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse, 2008. Disponível em: <http://infoscience.epfl.ch/record/124755>. Acesso em: 10 mar. 2016.