



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 DO DESEMPENHO LUMÍNICO DE AMBIENTES INTERNOS A PARTIR DA ATUAÇÃO DE ELEMENTOS VAZADOS

Gabriela Bolssoni (1); Lucas Martinez (2); Andréa Laranja (3); Cristina Alvarez (4);

(1) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, gabriela_bolssoni@hotmail.com

(2) Arquiteto, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, lucasmartinezlmc@gmail.com

(3) PhD, Professora do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, andreacoelholaranja@gmail.com

(4) PhD, Professora do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, cristina.engel@ufes.br,

Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Artes, Laboratório de Planejamento de Projetos, Av. Fernando Ferrari 514, Goiabeiras, Vitória-ES, 29075-910, Tel.: (27) 4009-2581

RESUMO

Esta pesquisa se propõe a avaliar o desempenho lumínico de um ambiente interno com parte da envoltória composta por elementos vazados, tendo por estudo de caso um escritório localizado em Vitória – ES. Na metodologia foram feitas modelagens por meio do Grasshopper, editor de algoritmos do *software* Rhinoceros 3D, e simulações computacionais relativas à iluminação natural com a utilização do plug-in DIVA-for-Rhino. O ambiente interno utilizado para as simulações possui geometria retangular, no qual foram avaliados 4 modelos de fechamento: um modelo em vidro e demais modelos compostos por vidro e elementos vazados como segunda pele. Os modelos com elementos vazados possuem a mesma área percentual de abertura variando apenas a quantidade e dimensões dos furos. O desempenho lumínico foi analisado utilizando como parâmetros de comparação os intervalos da UDI (*Useful Daylight Illuminance*) e o índice de uniformidade indicado pela NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013). Concluiu-se que, apesar de ser mantida a mesma área percentual de abertura para os três modelos de elementos vazados avaliados, estes apresentaram desempenhos variados. A medida que houve aumento da quantidade de furos com a redução da dimensão dos mesmos, houve um aumento na capacidade de redução da iluminação excessiva. Porém, isto ocasionou maior dificuldade para iluminar os pontos mais profundos do ambiente. No que se refere ao índice de uniformidade, nenhum dos modelos avaliados alcançou o limite mínimo de uniformidade de 0,6 estabelecido pela NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013).

Palavras-chave: elementos vazados, iluminação natural, simulação computacional.

ABSTRACT

This research proposes to evaluate an indoor environment luminic performance composed by an envelope perforated solar screen based on a generic office case study, located at Vitória-ES. The methodology was done through Grasshopper, a Rhinoceros 3D software algorithm editor, using daylight simulations with DIVA-for-Rhino plug-in. The indoor environment has a rectangular shape which was assessed 4 facade models: one fully glazed and others composed by glass and perforated solar screen, as a second architecture skin. The same aperture area percentual was applied on models that have perforated solar screen which differ only on its quantities and holes dimensions. The luminic performance was analysed by Useful Daylight Illuminance (UDI) and uniformity indexes indicated by NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013). It was concluded that, despite being kept the same aperture area percentual for the three perforated solar screen models, they presented different performances. As there was an increase in number of holes and also the reduction of their size, the result was a reduction of excessive lighting. However, this also increased need of light at the deepest point of the environment. Regarding the uniformity index, none of the evaluated models reached the minimum uniformity limit of 0.6 established by NBR ISO / CIE 8995-1 (ABNT, 2013).

Palavras-chave: perforated solar screen, daylight, computational simulation.

1. INTRODUÇÃO

Dentre as principais premissas para um melhor uso da energia elétrica nas edificações destaca-se a preocupação com o aproveitamento da iluminação natural. Além de auxiliar a redução do consumo de energia elétrica, a luz natural, quando corretamente captada e distribuída no ambiente interno, pode proporcionar condições adequadas para o desenvolvimento de atividades humanas, além de gerar benefícios biológicos aos seres humanos (SANTOS, 2014).

Há diversas formas de a luz natural ser incorporada no ambiente interno, dentre elas podem ser citadas as aberturas laterais, as quais compõem a envoltória da edificação. Os sistemas de fachadas de uma edificação, além do seu papel estético e de envoltória, vêm se tornando cada vez mais importantes na produção da arquitetura por serem responsáveis pelas trocas térmicas com o meio, assim como pela admissão da luz natural no ambiente interno (FAJKUS, 2013). Cartana, Pereira e Mayer (2017) constataram que os elementos vazados são capazes de reduzir a radiação solar admitida, proporcionando uma melhor distribuição da luz natural, além de reduzirem a incidência de iluminação excessiva na área próxima à fachada. No Brasil, o uso de elementos vazados teve destaque, inicialmente, com o arquiteto e urbanista Lúcio Costa, o qual utilizou o cobogó no projeto do Parque Guinle - RJ na década de 1940. Posteriormente os cobogós passaram a ser amplamente utilizados nas áreas de serviço, localizadas no fundo das casas, o que com o tempo acabou caracterizando-o como um elemento construtivo pejorativo (PAULERT, 2012).

Indicado para clima tropical-úmido o cobogó, sendo um elemento vazado, tem a capacidade de permitir ao ambiente interno a entrada da luz natural com redução da incidência da radiação solar direta. Assim, considerando a inadequação no uso de elevados percentuais de área envidraçada nas fachadas em localidade de clima tropical úmido, como é o caso de Vitória-ES, esta pesquisa busca explorar e valorizar novas formas para a adoção de elementos vazados, tendo por estudo de caso inicial um edifício de escritório na cidade de Vitória – ES, a qual localiza-se na Zona Bioclimática 8, que de acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005) tem como uma das principais diretrizes a adoção de grandes aberturas sombreadas.

2. OBJETIVO

O objetivo desta pesquisa foi avaliar o desempenho lumínico a partir da adoção de elementos vazados adotados em parte da envoltória, considerando o ambiente interno com uso de escritório localizado na Zona Bioclimática 8 em Vitória – ES

3. MÉTODO

A metodologia da pesquisa foi estruturada conforme as etapas a seguir: (1) caracterização do ambiente interno adotado; (2) definição dos modelos simulados; (3) simulações computacionais e (4) análise dos resultados.

3.1. Caracterização do ambiente interno adotado

A simulação computacional se deu no ambiente interno de uma sala comercial hipotética situada na cidade de Vitória – ES (LAT 20°19'10"S e LONG 40°20'16"). A sala avaliada foi definida no formato retangular com área de 28m²; pé-direito de 2,70m; largura de 4m e profundidade de 7m. As refletâncias adotadas internamente no ambiente foram definidas como: paredes internas = 0,6; teto = 0,8 e piso = 0,2. Para a simulação da iluminação natural adotou-se um plano horizontal de análise à 75cm de altura, com sensores espaçados ortogonalmente em 50cm entre si, como indica a ABNT, NBR 15215-4 (BRASIL, 2005), estando 8 sensores dispostos no eixo X e 14 sensores dispostos no eixo Y, totalizando 112 sensores, conforme ilustra a Figura 1.

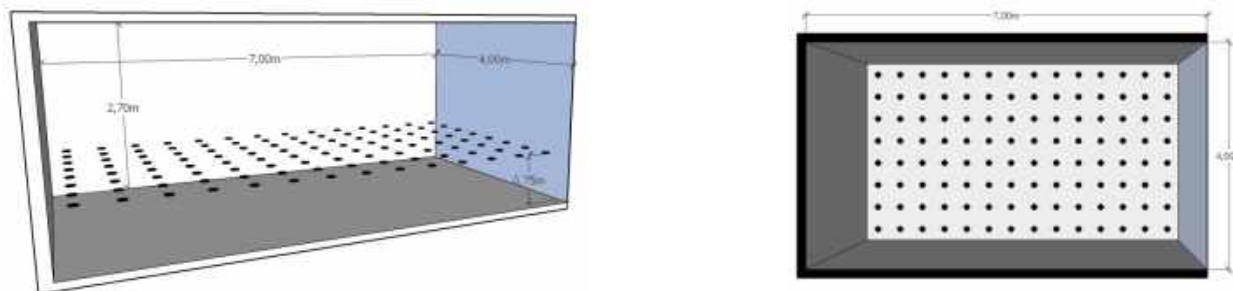


Figura 1 – Perspectivas internas do ambiente com o posicionamento dos sensores para medição das iluminâncias.

Fonte: os autores, 2019.

3.2. Definição dos modelos simulados

Os elementos vazados foram posicionados em uma fachada completamente aberta ao exterior, sem a presença de verga ou peitoril, com área de 10,8m² (4,0m de comprimento e 2,7m de altura), espessura de 20cm e refletância de 0,5, distando 20cm da fachada do ambiente simulado, funcionando dessa forma como uma segunda pele. Para esse estudo inicial, foi definido um modelo de elemento vazado (Modelo III) com furos quadrados numa matriz de 8 furos no eixo X e 6 furos no eixo Y. A partir deste modelo, mantendo-se a mesma área de vazio (3m²), variou-se o percentual da quantidade de furos nos eixos X e Y em 50% para mais e para menos, obtendo-se mais dois modelos (Modelo II e Modelo IV). Dessa forma, foram simulados 4 modelos: fachada apenas com vidro (**Modelo I**); fachada em vidro + elemento vazado como segunda pele com matriz de 4x3, totalizando 12 furos com dimensões de 50x50cm (**Modelo II**); fachada em vidro + elemento vazado como segunda pele com matriz de 8x6, totalizando 48 furos com dimensões de 25x25cm (**Modelo III**); e fachada em vidro + elemento vazado como segunda pele com matriz de 16x12, totalizando 192 furos com dimensões de 12,5cmx12,5cm (**Modelo IV**), como ilustra a Figura 2.

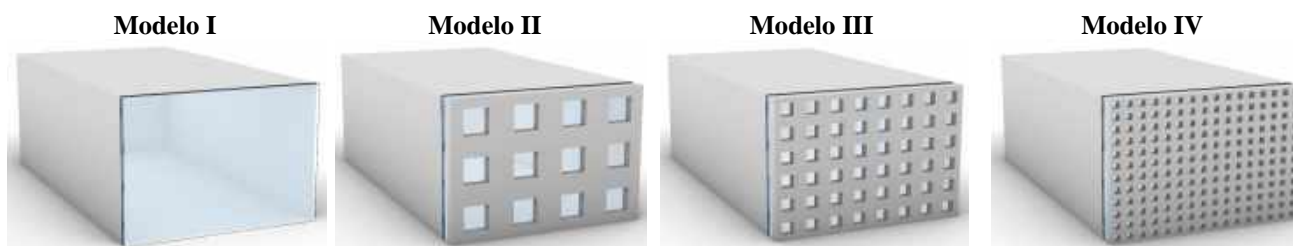


Figura 2 – Modelo I em vidro e demais modelos compostos por vidro e elementos vazados.

Fonte: os autores, 2019.

3.3. Simulações computacionais

Os modelos simulados foram desenvolvidos utilizando o Grasshopper, editor de algoritmos do *software* de modelagem Rhinoceros 3D, e as simulações computacionais relativas à iluminação natural foram realizadas utilizando o plug-in DIVA-for-Rhino. A escolha desses programas foi feita segundo a disponibilidade dos mesmos no Laboratório de Planejamento e Projetos (LPP), o potencial demonstrado pela ferramenta de modelagem paramétrica associada à simulação computacional, além da rapidez e qualidade na obtenção dos resultados.

As características da iluminação natural foram reproduzidas por meio da utilização do arquivo climático da cidade de Vitória – ES (Vitória TRY1962_05CSV.epw, disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-try-swera-csv-bin>) para as orientações Norte, Sul, Leste e Oeste; para todos os dias do ano no horário de 8h às 18h conforme o período de ocupação do ambiente analisado. Para análise da uniformidade, foram realizadas simulações no período da manhã (10h) e da tarde (14h) para os dias 21 dos meses de junho e dezembro, que correspondem aos solstícios de inverno e de verão, respectivamente.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

A análise das iluminâncias foi feita com base nos intervalos da UDI (*Useful Daylight Illuminances*) propostos por Nabil e Mardaljevic (2006). A UDI expressa a porcentagem de horas que cada ponto do ambiente analisado se encontra em cada um dos intervalos, sendo os seguintes os intervalos considerados: $E < 100\text{lx}$ - intervalo insuficiente, $100\text{lx} \leq E < 2000\text{lx}$ - intervalo recomendado e $E \geq 2000\text{lx}$ - intervalo excessivo.

Outro parâmetro utilizado para a análise dos resultados foi o índice de uniformidade indicado pela NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013). O índice de uniformidade é determinado pela razão entre o valor de iluminância mínimo (E_{min}) e o valor de iluminância médio (E_{med}), não devendo ser inferior à 0,7 nas áreas de trabalho e 0,5 no entorno imediato. Contudo, a norma relata também que quando não for possível definir a área de trabalho do espaço interno, em função de um arranjo flexível de mesas, como ocorre em ambientes de salas de escritórios, por exemplo, deve-se adotar o índice mínimo de uniformidade de 0,6 (ABNT, 2013). Dessa forma, delimita-se o valor 0,6 como índice de uniformidade a ser alcançado.

A fim de se fazer uma análise mais apurada dos resultados encontrados, levou-se em consideração a malha de 50x50cm estabelecida para as simulações, em que o comprimento do ambiente interno é dividido em 14 partes. Assim, na análise dos resultados o ambiente foi dividido em 4 trechos, sendo o trecho 1 o mais próximo da abertura e o trecho 4 o mais distante da abertura onde, o trecho 1 compreende 4 partes, com extensão de 2m e área de 8m²; o trecho 2 compreende 3 partes, com extensão de 1,5m e área de 6m²; o trecho

3 compreende 3 partes, com extensão de 1,5m e área de 6m²; e o trecho 4 compreende 4 partes, com extensão de 2m e área de 8m², totalizando a área de 28m² do ambiente avaliado.

4.1. Análise das iluminâncias

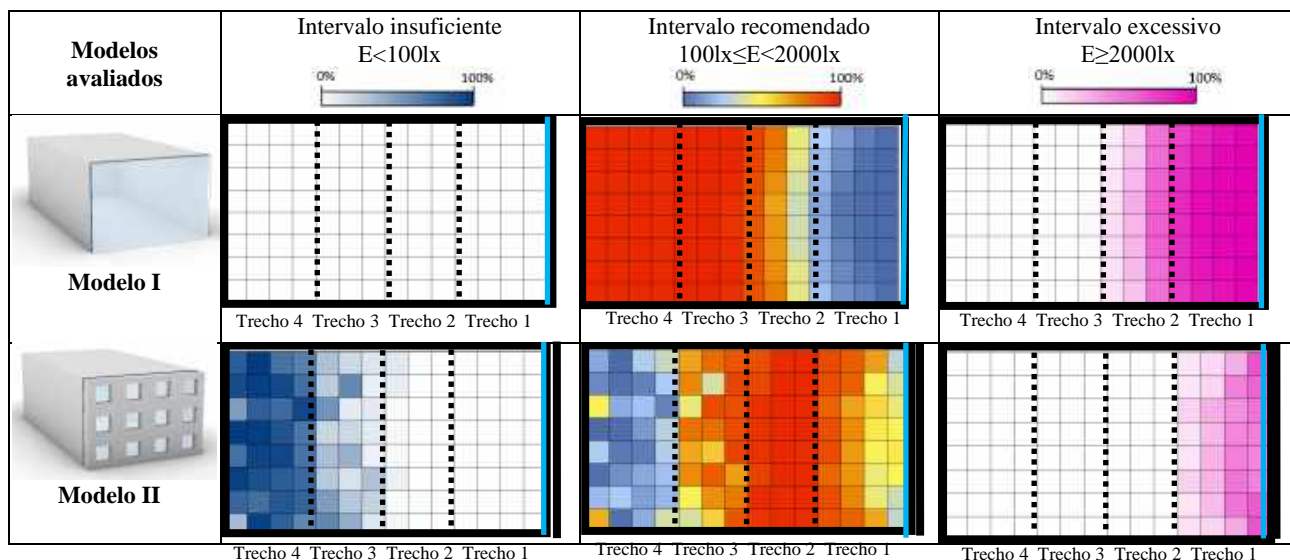
Para a orientação Norte, conforme demonstrado na Figura 3, na análise do trecho 1 (mais próximo da fachada), verifica-se que para o intervalo recomendado ($100lx \leq E < 2000lx$) os Modelos III e IV contemplaram mais de 80% das horas do dia, seguidos do Modelo II, que contemplou mais de 60%, tendo o pior desempenho o Modelo I, com menos de 10% das horas do dia neste intervalo. Na análise do trecho 2, verifica-se que os Modelos II, III e IV apresentaram percentuais superiores à 80%, onde o melhor desempenho está no Modelo II com cerca de 100% dos percentuais no intervalo recomendado. O Modelo I apresentou o pior desempenho, mas ainda assim com um percentual elevado de 65% das horas neste intervalo. Desta forma, pode-se dizer que os Modelos III e IV apresentam um melhor desempenho nos trechos mais próximos à fachada (1 e 2) ao reduzir a necessidade de gasto com iluminação artificial, permitindo que mais de 80% das horas do dia destes trechos sejam iluminadas naturalmente. No caso do Modelo I, nota-se que nestes trechos, este reduziu os percentuais no intervalo suficiente e aumentou os percentuais no intervalo excessivo, indicando elevados valores de iluminância, mas que não podem ser aproveitados devido ao brilho extremo que ocasiona o ofuscamento.

Na análise do trecho 3, verificou-se que os Modelos I e II apresentaram percentuais superiores à 70%, em que o melhor desempenho está no Modelo I com cerca de 100% das horas do dia no intervalo recomendado. Os piores resultados ocorreram nos Modelos III e IV, que contemplaram respectivamente 40% e 17% das horas do dia neste intervalo. Desta forma, observa-se que os Modelos I e II apresentaram um melhor desempenho ao reduzir a necessidade de gasto com iluminação artificial, permitindo que mais de 70% das horas do dia sejam iluminadas naturalmente neste trecho. Já os Modelos III e IV ocasionaram uma maior necessidade de acionamento da iluminação artificial neste trecho da sala.

Na análise do trecho 4 (mais distante da fachada), verifica-se que somente o Modelo I apresentou um bom desempenho com cerca de 100% das horas do dia neste intervalo. Os Modelos II, III e IV apresentaram resultados inferiores a 20%, acarretando a necessidade de acionamento da iluminação artificial em 80% das horas do dia.

Na Figura 3, na análise do trecho 1 (mais próximo da fachada), observa-se que para todos os modelos analisados houve percentuais no intervalo excessivo ($E \geq 2000lx$), em que os maiores valores foram encontrados, como previsto, no Modelo I que apresentou mais de 90% das horas do dia neste intervalo. Dentre os modelos com elementos vazados, os Modelos III e IV apresentaram o melhor desempenho, ao contribuírem para a redução da iluminação excessiva, reduzindo desta forma os contrastes luminosos. No trecho 2 os Modelos II, III e IV apresentaram bom desempenho por não contemplarem percentuais no intervalo excessivo.

Na Figura 3, observa-se que os percentuais no intervalo insuficiente ($E < 100lx$) já aparecem no trecho 2 decorrentes dos Modelos II, III e IV, onde o pior resultado é referente ao Modelo IV, que apresentou cerca de 20% das horas do dia no intervalo insuficiente. Para o trecho 3 os Modelos II, III e IV apresentaram percentuais neste intervalo, respectivamente cerca de 25%, 60% e 80%, onde mais uma vez o pior desempenho foi no Modelo IV. Para o trecho 4 os Modelos II, III e IV contemplaram percentuais superiores a 80%. Desta forma, observa-se que os Modelos II, III e IV apresentam a necessidade de acionamento da iluminação artificial em grande parte do dia principalmente no trecho 4 (mais distante da fachada).



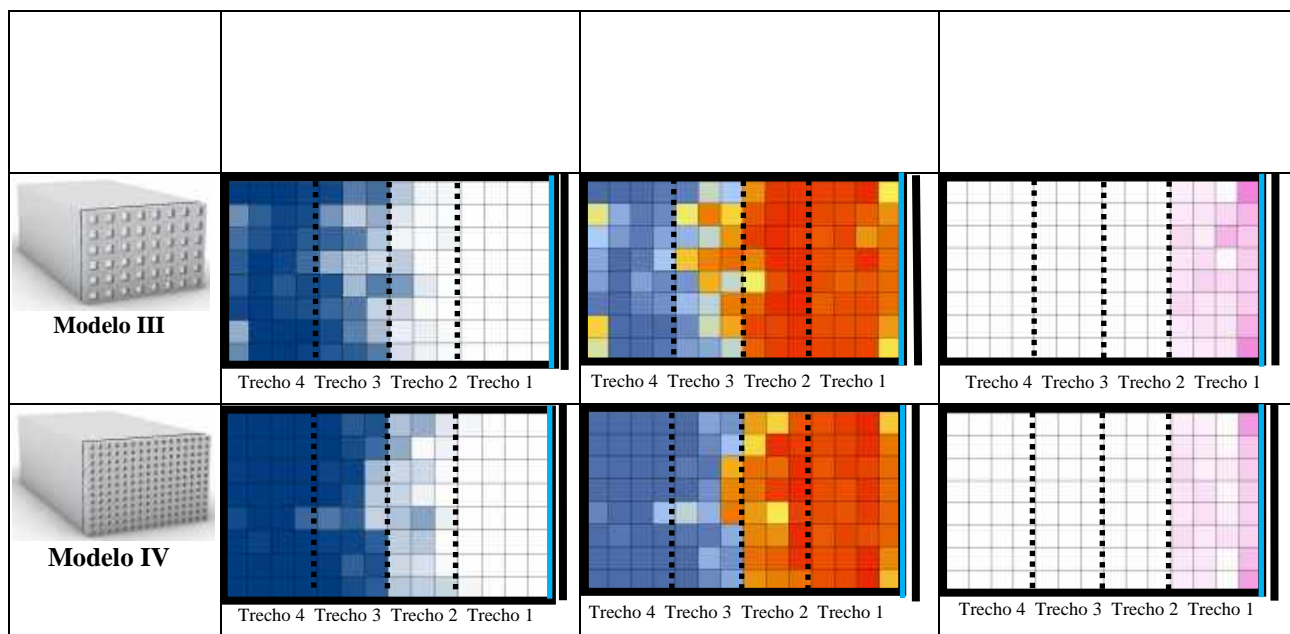


Figura 3 – Plantas baixas demarcando as áreas compreendidas nos percentuais das UDI para os modelos avaliados, orientação Norte.
Fonte: os autores, 2019.

Para a orientação Sul, conforme traz a Figura 4, na análise do trecho 1 (próximo da abertura), verifica-se que para o intervalo recomendado ($100\text{lx} \leq E < 2000\text{lx}$) os Modelos II, III e IV contemplaram acima de 80% dos percentuais neste intervalo e o Modelo I teve o pior desempenho ao contemplar menos de 20% dos percentuais no intervalo recomendado. Na análise do trecho 2, verifica-se que os Modelos II, III e IV apresentaram percentuais superiores à 80%, enquanto o Modelo I apresentou os piores resultados, mas ainda assim com um percentual superior à 65% das horas no intervalo recomendado.

Desta forma, pode-se dizer que os Modelos II, III e IV apresentaram um melhor desempenho nos trechos mais próximos à fachada (1 e 2) ao reduzir a necessidade de gasto com iluminação artificial, permitindo que mais de 80% das horas do dia destes trechos sejam iluminadas naturalmente. No caso do Modelo I, similar ao verificado na orientação Norte, nota-se que este modelo reduziu os percentuais no intervalo suficiente e aumentou os percentuais no intervalo excessivo, indicando elevados valores de iluminância nestes trechos, mas que não podem ser aproveitados devido ao brilho extremo que ocasiona ofuscamento.

Na análise do trecho 3, verifica-se que o Modelo I apresentou os melhores resultados ao contemplar cerca de 100% das horas do dia no intervalo recomendado. Já o Modelo II apresentou cerca de 55% dos percentuais neste intervalo e os Modelos III e IV apresentaram percentuais inferiores à 20%. Desta forma, observa-se que os Modelos I e II apresentaram um melhor desempenho ao reduzir a necessidade de gasto com iluminação artificial, permitindo que mais de 70% das horas do dia sejam iluminadas naturalmente. Nos Modelos III e IV haverá uma maior necessidade de acionamento da iluminação artificial neste trecho da sala, sendo que o Modelo IV terá o pior desempenho energético por necessitar de um maior uso da iluminação artificial.

Na análise do trecho 4 (mais distante da fachada), verifica-se que somente o Modelo I apresentou um bom desempenho, com quase 100% das horas do dia neste intervalo. Os Modelos II, III e IV apresentaram resultados percentuais inferiores a 5%, acarretando a necessidade de acionamento da iluminação artificial em 95% das horas do dia.

Na Figura 4, na análise do trecho 1 (mais próximo da fachada), observa-se que para todos os modelos analisados houve percentuais no intervalo classificado como excessivo ($E \geq 2000\text{lx}$). Os maiores valores, como já esperado, encontram-se no Modelo I, com cerca de 80% das horas do dia neste intervalo; os Modelos II, III e IV apresentaram um bom desempenho com percentuais inferiores à 10%, com destaque para o Modelo IV que apresentou o melhor desempenho. Nos demais trechos, 2, 3 e 4, para os Modelos II, III e IV não houve percentuais neste intervalo, comprovando a eficácia dos elementos vazados na redução da iluminação excessiva no ambiente interno.

Na Figura 4, observa-se que os percentuais no intervalo insuficiente ($E < 100\text{lx}$) já aparecem no trecho 2 para os Modelos II, III e IV. Destaca-se que o pior resultado é do Modelo IV, com cerca de 30% dos percentuais neste intervalo. Para o trecho 3 os Modelos II, III e IV apresentaram percentuais no intervalo insuficiente, cerca de 45%, 80% e 90% respectivamente, e no trecho 4, os Modelos II, III e IV chegam a percentuais superiores à 90%. Em ambos os trechos a pior performance é do Modelo IV. Assim, evidencia-se a necessidade

de acionamento da iluminação artificial na maior parte do dia no trecho mais distante da fachada para os modelos com elementos vazados, onde cresce o consumo energético com iluminação artificial a medida que se aumenta o número de furos do modelo com redução da área de cada um dos furos.

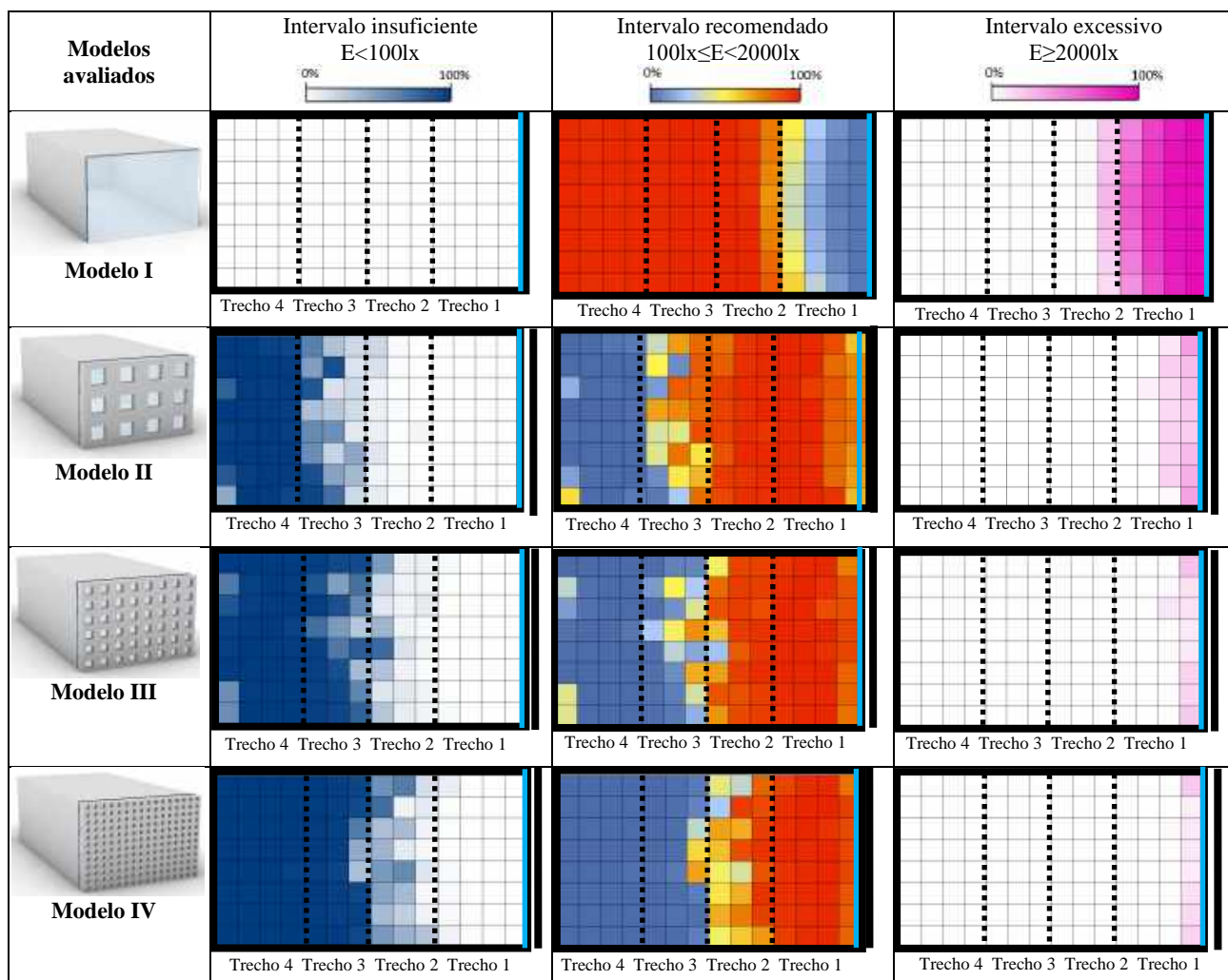


Figura 4 – Plantas baixas demarcando as áreas compreendidas nos percentuais das UDI para os modelos avaliados, orientação Sul.
Fonte: os autores, 2019.

Para a orientação Leste, conforme ilustra a Figura 5, na análise do trecho 1 (mais próximo da fachada), verifica-se que para o intervalo recomendado ($100lx \leq E < 2000lx$) os Modelos II, III e IV apresentaram percentuais acima de 70% das horas do dia neste intervalo, sendo o Modelo I o que apresentou o pior desempenho, com menos de 15% das horas do dia no intervalo recomendado. Na análise do trecho 2, verifica-se que todos os modelos apresentaram percentuais superiores à 70%, onde o melhor desempenho está no Modelo II com cerca de 95% dos percentuais no intervalo recomendado. Desta forma, pode-se afirmar que os Modelos II, III e IV apresentam um melhor desempenho nos trechos mais próximos à fachada (trecho 1 e trecho 2) ao reduzir a necessidade de gasto com iluminação artificial, permitindo que mais de 70% das horas do dia sejam iluminadas naturalmente.

Na análise do trecho 3, verifica-se que o Modelo I apresentou o melhor desempenho, com cerca de 95% das horas do dia no intervalo recomendado, seguido dos Modelos II, III e IV com cerca de 65%, 35% e 15% respectivamente. Desta forma, observa-se que o Modelo I apresentou um melhor desempenho ao reduzir a necessidade de gasto com iluminação artificial, permitindo que mais de 95% das horas do dia sejam iluminadas naturalmente neste trecho, enquanto que para os Modelos II, III e IV haverá uma maior necessidade de acionamento da iluminação artificial neste trecho da sala, sendo que o Modelo IV terá o pior desempenho energético por necessitar de um maior uso da iluminação artificial.

Na análise do trecho 4 (mais distante da fachada), verifica-se que somente o Modelo I apresentou um bom desempenho com quase de 100% das horas do dia neste intervalo. Os Modelos II, III e IV apresentaram resultados inferiores a 20%, acarretando a necessidade de acionamento da iluminação artificial em 80% das horas do dia.

Na Figura 5, na análise do trecho 1 (mais próximo da fachada), observa-se que para todos os modelos analisados houve percentuais no intervalo excessivo ($E \geq 2000lx$), em que os maiores valores encontram-se no Modelo I, com mais de 80% das horas do dia neste intervalo. Os Modelos II, III e IV, para o trecho 1, apresentaram o melhor desempenho, com a melhor performance no Modelo IV, ao contribuírem na redução dos contrastes luminosos. Nos demais trechos 2, 3 e 4, para os Modelos II, III e IV não houve percentuais no intervalo excessivo.

Na Figura 5, no trecho 1 (mais próximo da fachada), verifica-se que nenhum dos modelos avaliados contemplou pontos no intervalo insuficiente ($E < 100lx$). No trecho 2, somente os Modelos II, III e IV contemplaram percentuais neste intervalo, onde o pior resultado é decorrente do Modelo IV, que apresentou cerca de 25% das horas do dia no intervalo insuficiente. Para o trecho 3 somente os Modelos II, III e IV apresentaram percentuais neste intervalo, respectivamente cerca de 30%, 65% e 80%, onde mais uma vez o pior desempenho foi do Modelo IV. Para o trecho 4 os Modelos II, III e IV contemplaram acima de 80% dos percentuais neste intervalo, apresentando, dessa forma, a necessidade de acionamento da iluminação artificial na maior parte do dia no trecho mais distante da fachada para os modelos com elementos vazados, onde cresce o consumo energético necessário para iluminação artificial no fundo da sala a medida que se aumenta o número de furos do modelo com redução da área de cada um dos furos.

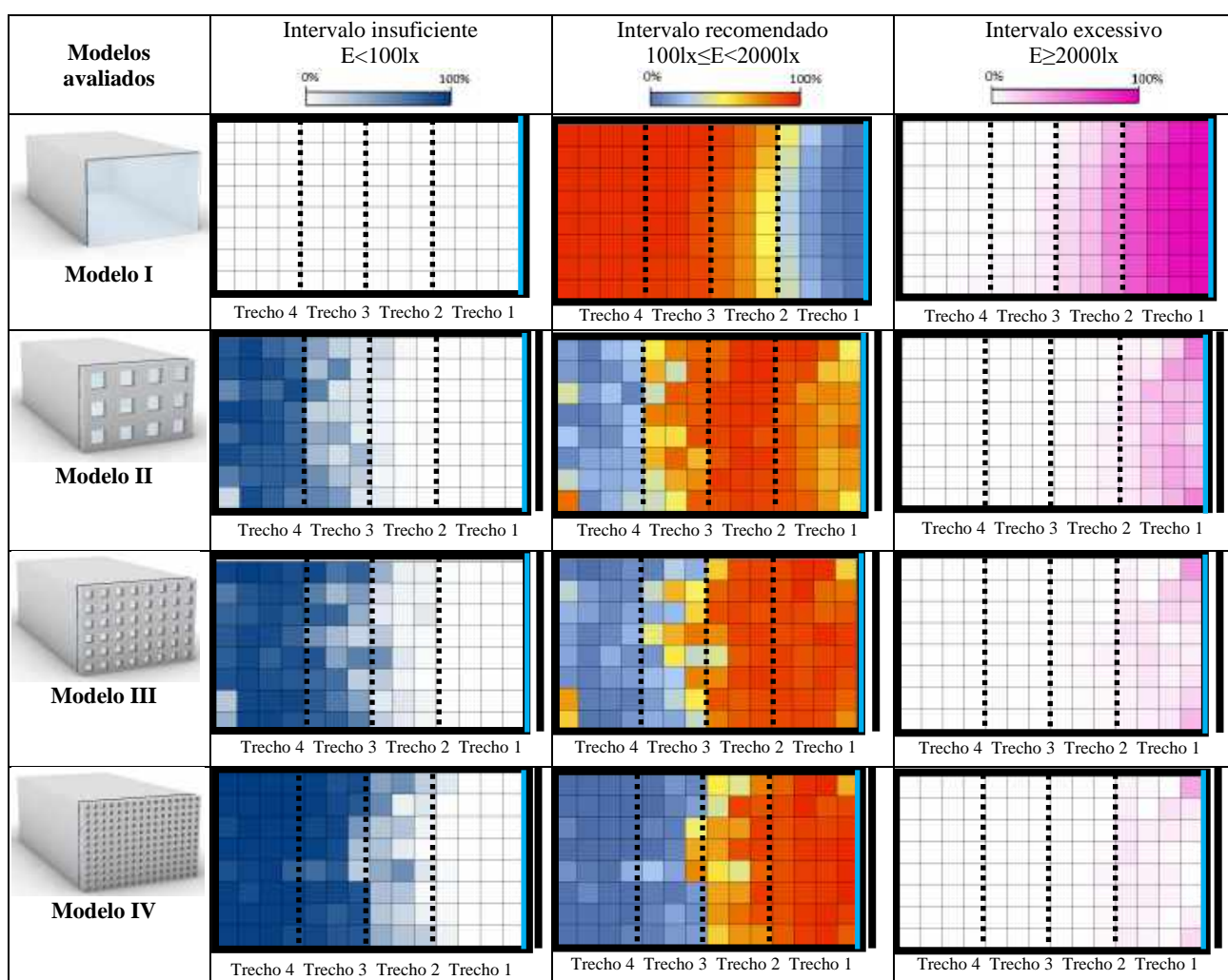


Figura 5 – Plantas baixas demarcando as áreas compreendidas nos percentuais das UDI para os modelos avaliados, orientação Leste.
Fonte: os autores, 2019.

Para a orientação Oeste, conforme demonstrado na Figura 6, na análise do trecho 1 (mais próximo da fachada), verifica-se que para o intervalo recomendado ($100lx \leq E < 2000lx$) os Modelos III e IV apresentaram percentuais acima de 80% das horas do dia neste intervalo, seguidos do Modelo II com cerca de 65%, sendo o Modelo I o que apresentou o pior desempenho, com apenas de 10% das horas do dia no intervalo recomendado. Na análise do trecho 2, verifica-se que os Modelos II, III e IV apresentaram percentuais superiores à 70%, onde o melhor desempenho está no Modelo II com cerca de 90% dos percentuais no intervalo recomendado, enquanto o Modelo I apresentou o pior desempenho, mas ainda com um percentual elevado de mais de 50%

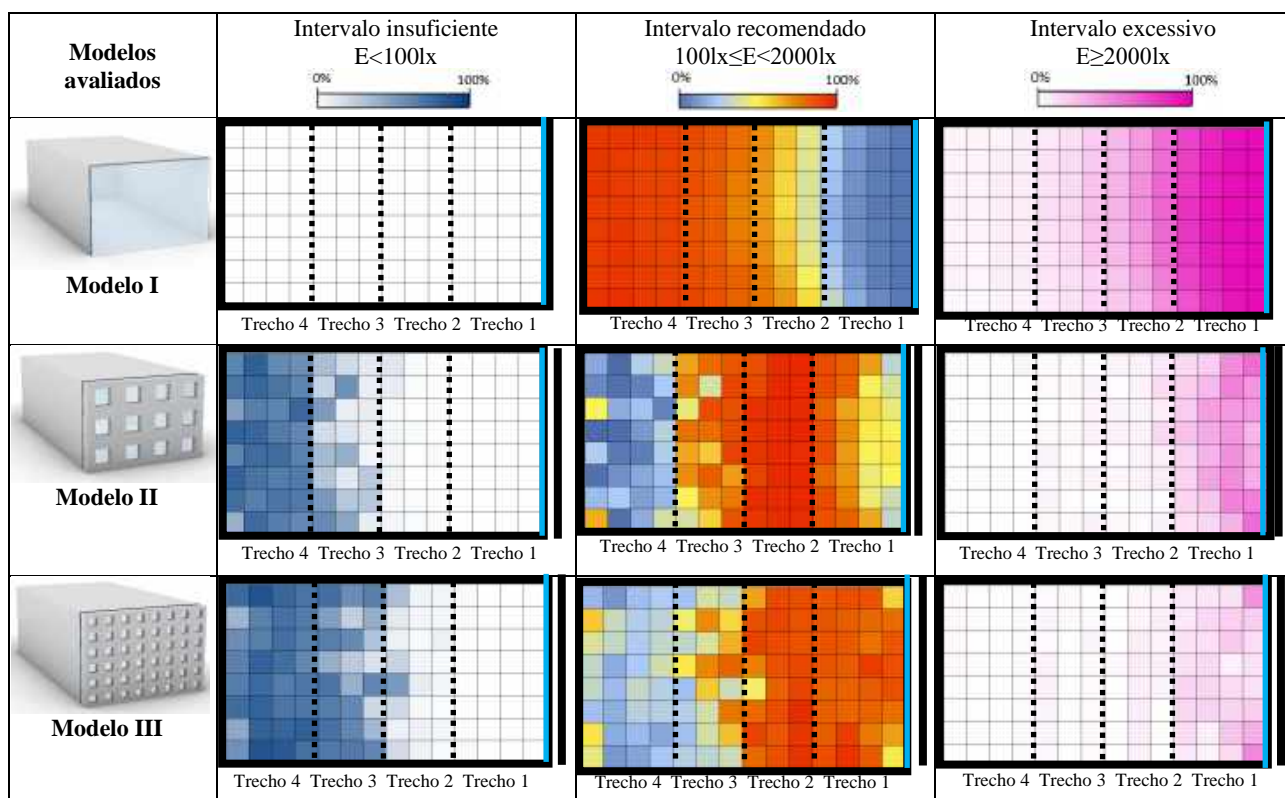
das horas do dia no intervalo recomendado. Desta forma, pode-se afirmar que os Modelos III e IV apresentam um melhor desempenho nos trechos mais próximos à fachada ao reduzir a necessidade de consumo energético com iluminação artificial, permitindo que mais de 70% das horas do dia deste trecho sejam iluminadas naturalmente.

Na análise do trecho 3, verifica-se que o Modelo I apresentou os maiores percentuais no intervalo recomendado com cerca de 80% das horas do dia neste intervalo, seguido dos Modelos II, III e IV com cerca de 55%, 45% e 25% respectivamente. Desta forma, observa-se que o melhor desempenho ocorreu com o Modelo I, ao permitir que esse trecho da sala seja iluminado naturalmente em 80% das horas do dia, reduzindo a necessidade de gasto com iluminação artificial. Já para os Modelos II, III e IV haverá uma maior necessidade de acionamento da iluminação artificial neste trecho da sala, sendo que o Modelo IV terá o pior desempenho energético por necessitar de um maior uso da iluminação artificial.

Na análise do trecho 4 (mais distante da fachada), verifica-se que somente o Modelo I apresentou um bom desempenho com cerca de 95% das horas do dia neste intervalo. Os Modelos II, III e IV apresentaram resultados inferiores a 30%, acarretando a necessidade de acionamento da iluminação artificial em 70% das horas do dia.

Na Figura 6, na análise do trecho 1 (mais próximo da fachada), observa-se que para todos os modelos analisados houve percentuais no intervalo excessivo ($E \geq 2000\text{lx}$), em que os maiores valores encontram-se no Modelo I, com mais de 80% das horas do dia neste intervalo. Os Modelos II, III e IV, para o trecho 1, apresentaram o melhor desempenho, com a melhor performance no Modelo IV, ao contribuírem na redução dos contrastes luminosos.

Na Figura 6, no trecho 1 (mais próximo da fachada), verifica-se que nenhum dos modelos avaliados contemplou pontos no intervalo insuficiente ($E < 100\text{lx}$). No trecho 2, somente os Modelos II, III e IV contemplaram percentuais neste intervalo, onde o pior resultado é decorrente do Modelo IV, que apresentou cerca de 20% das horas do dia no intervalo insuficiente. Para o trecho 3 os Modelos II, III e IV apresentaram percentuais neste intervalo, respectivamente cerca de 25%, 50% e 70%, onde mais uma vez o pior desempenho foi no Modelo IV. Para o trecho 4 os Modelos II, III e IV contemplaram acima de 60% dos percentuais neste intervalo, apresentando, dessa forma, a necessidade de acionamento da iluminação artificial na maior parte do dia no trecho mais distante da fachada. Nota-se, desta forma, um aumento no consumo energético com iluminação artificial no fundo da sala a medida que se aumenta o número de furos do modelo com redução da área de cada um dos furos.



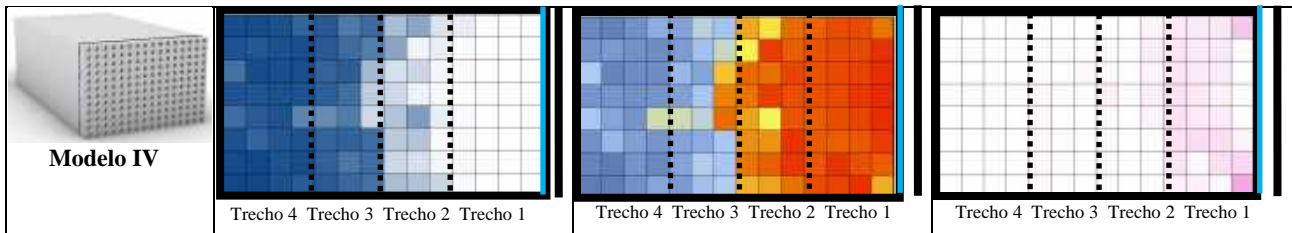


Figura 6 – Plantas baixas demarcando as áreas compreendidas nos percentuais das UDI para os modelos avaliados, orientação Oeste.
Fonte: os autores, 2019.

4.2. Índice de Uniformidade

Ao analisar o índice de uniformidade verifica-se que nenhum dos modelos avaliados alcançou o limite mínimo de uniformidade de 0,6 estabelecido pela NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013), como indica a Figura 7, evidenciando a dificuldade de os modelos analisados garantirem desempenho uniforme da iluminação no ambiente interno. O Modelo I apresentou os maiores valores de uniformidade em quase todas as situações analisadas, com exceção apenas da orientação Norte, solstício de inverno, 10h, onde se observa um melhor desempenho dos Modelos III e IV, apesar de ser uma melhora pouco significativa.

No solstício de verão, para os modelos com elementos vazados, observa-se um aumento pouco expressivo dos valores de uniformidade à medida que é reduzida a quantidade de furos. Ocorre que, de uma maneira geral, os três modelos com elementos vazados reduziram a iluminância excessiva próxima da fachada, porém também diminuíram significativamente a iluminância nas áreas mais profundas do ambiente.

No solstício de inverno há um pequeno aumento da uniformidade nos modelos com elementos vazados. Isto é observado de forma mais significativa quando a fachada está orientada para Sul, provavelmente em função da ausência de radiação solar direta incidente na fachada nesta época, reduzindo desta forma as altas iluminâncias nas áreas próximas da abertura. O mesmo ocorre no período da tarde na abertura orientada para Leste, bem como o período da manhã na abertura orientada para Oeste.

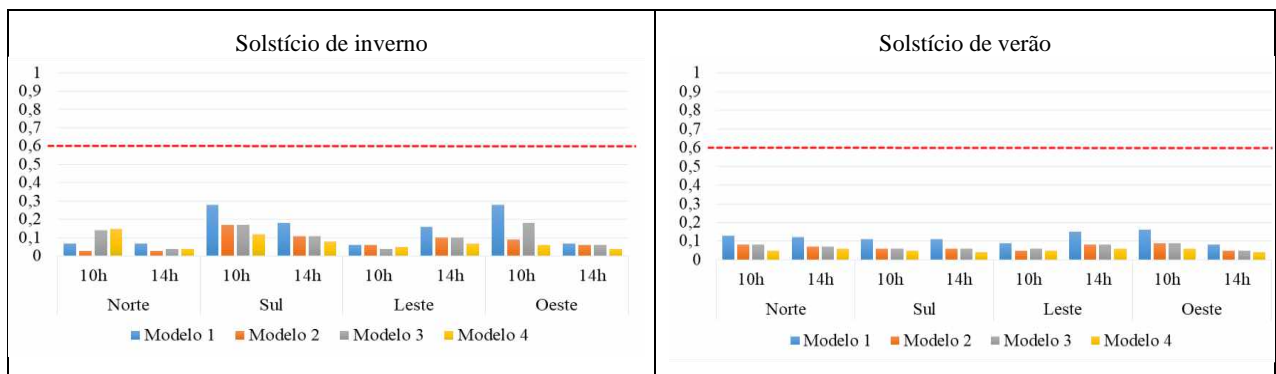


Figura 7 – Índice de uniformidade para solstícios de inverno e verão, orientações Norte, Sul, Leste e Oeste, 10h e 14h.
Fonte: os autores, 2019.

5. CONCLUSÕES

Este estudo teve como objetivo avaliar o desempenho lumínico do ambiente interno a partir do desempenho de elementos vazados para uma sala de escritório localizada em Vitória – ES. Foi possível constatar a capacidade de os modelos com elementos vazados reduzirem a iluminação excessiva no ambiente interno, bem como de manter os níveis de iluminação dentro dos intervalos adequados para a realização das atividades, principalmente nos trechos próximos à fachada. Todavia, os modelos com elementos vazados avaliados (Modelo II, Modelo III e Modelo IV) apresentaram dificuldade em iluminar a área mais profunda do ambiente interno. Sendo verificado, então, o melhor desempenho dos elementos vazados para as orientações Norte, Leste e Oeste e o pior desempenho para a orientação Sul.

Verificou-se ainda, que apesar de ser mantida a mesma área de vazio (3m²), para os três modelos de elementos vazados avaliados (Modelo II com 12 furos de 50x50cm, Modelo III com 48 furos de 25x25cm e Modelo IV com 192 furos de 12,5x12,5cm), estes apresentam desempenhos variados. A medida que houve aumento da quantidade de furos nos eixos X e Y, com redução da área de cada um dos furos, ocorreu um aumento na capacidade de redução da iluminação excessiva, porém, esta característica prejudicou o acesso à iluminação natural dos pontos mais profundos do ambiente interno.

No que se refere ao índice de uniformidade, nenhum dos modelos avaliados alcançou o limite mínimo

de uniformidade de 0,6 estabelecido pela NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013). No caso dos modelos com elementos vazados, identificou-se que a baixa uniformidade é decorrente do grande decaimento da iluminação natural no trecho mais distante da fachada.

Para estudos futuros faz-se necessária a análise de outras geometrias de elementos vazados a fim de se identificar qual a geometria que possibilita um desempenho lumínico mais eficiente. Além disso, vale ressaltar, que além da função lumínica os elementos vazados auxiliam no desempenho térmico do ambiente interno, sendo importante também a avaliação desse parâmetro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15215-4: **Iluminação natural: verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações: método de medição**. Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220: **Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO/CIE 8995-1: **Iluminância de ambientes de trabalho – Parte 1: Interior**. Rio de Janeiro, 2013.
- CARTANA, R.; PEREIRA, F.; MAYER, A. **Estudo piloto para análise de elementos de controle solar com formas complexas**. XIV ENCAC – Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e X ELACAC – Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, I. Balneário Camboriú SC: Anais, 2017.
- FAJKUS, M. **Superficial skins? Super Skins? Shading structures and thermal impact analysis**. In: Proceedings Advanced Building Skins - Energy Forum. p. 23-27. Bressanone, Italy: 2013.
- NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. **Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors**. Energy and Buildings, London: Elsevier, v.38, p.905-913, 2006.
- PAULERT, R. **Uso de elementos vazados na arquitetura: estudo de três obras educacionais contemporâneas**. 2012. 134f. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.
- SANTOS, A. J. **A Iluminação nos Edifícios: Uma perspectiva no âmbito do conforto ambiental e da eficiência energética**. 1a ed. Lisboa: LNEC, 2014.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela viabilização desta pesquisa.