

BALCÕES REFLETORES E A DISPONIBILIDADE DA ILUMINAÇÃO NATURAL EM SALAS DE AULA: O CASO DO INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO - CAMPUS COLATINA

Sirana Palassi Fassina

Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo - PPGAU, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Vitória (ES), Brasil sirana.fassina@ifes.edu.br

Andréa Coelho Laranja

Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Vitória (ES), Brasil. andrea.laranja@ufes.br

RESUMO: O presente estudo trata da iluminação natural no ambiente interno, com foco específico nos ambientes escolares. O objetivo é demonstrar a influência de balcões refletores, associados à elementos bloqueadores da luz solar direta, na disponibilidade da iluminação natural em salas de aula. O objeto de estudo são as jardineiras existentes próximas às janelas da sala de aula do Instituto Federal do Espírito Santo (IFES) campus Colatina, as quais não são utilizadas para este fim, sendo aqui intituladas de balcões refletores. Avaliou-se, através de simulações no TropLux, a disponibilidade de iluminação natural nas salas, variando-se a geometria dos balcões, associados também às prateleiras de luz e brises, no Céu 7 (Parcialmente encoberto) e Céu 12 (Claro) e nas orientações Norte e Sul. A análise dos resultados foi feita em função do período letivo, abrangendo fevereiro à novembro para a análise das UDIs, e em função de dois dias do ano, 24/09 e 24/11 para a análise das curvas isolux. Concluiu-se que há uma maior potencialidade do modelo “balcão refletor com superfície inclinada para o exterior e associado ao brise” na iluminação natural do ambiente interno: melhor distribuição das iluminância nas horas do dia, além de menor contraste da iluminação entre os pontos mais profundos do ambiente e os pontos mais próximos da abertura.

Keywords *balcões refletores, iluminação natural, simulação*

1. INTRODUÇÃO

A luz natural, além de ser proveniente de uma fonte inesgotável, é um elemento de fundamental importância para o desenvolvimento humano e o bom desempenho das suas atividades, influenciando diretamente na saúde e no bem-estar do homem. Amorim (2007) cita que a iluminação natural nas edificações tem fundamental importância nas exigências funcionais e ambientais. Yu e Su (2015) completam que a luz natural proporciona ambientes mais agradáveis e atrativos em função, por exemplo, da melhor reprodução de cor. No caso das edificações escolares, a iluminação natural desempenha um papel importante pois afeta a legibilidade durante a aprendizagem (Graça et al., 2007). Segundo Pellegrino, Cammarano e Savio (2015) há uma relação direta entre a capacidade de aprendizagem dos alunos e a presença da luz natural nos ambientes internos.

Entretanto, o uso da iluminação natural em ambiente escolar requer alguns cuidados para que sua presença não se torne um incômodo para os usuários, com efeitos indesejáveis como ofuscamento, radiação solar direta na superfície ou má distribuição da luz natural no ambiente. Araújo, Gonçalves e Cabús (2007) afirmam que a luz natural pode ser insuficiente em algumas horas do dia em decorrência da trajetória solar. Em função disso, os autores destacam que proteções solares externas e dispositivos arquitetônicos que controlam a entrada da luz solar podem contribuir para o equilíbrio da luz natural dentro do ambiente, já que esses elementos têm como finalidade proteger a edificação da incidência solar direta, redirecionando-os e redistribuindo-os no ambiente.

2. OBJETIVO

O objetivo geral é demonstrar a influência de balcões refletores, associados à elementos bloqueadores da luz solar direta, na disponibilidade da iluminação natural em salas de aula. Os balcões refletores localizam-se na fachada, externamente ao ambiente, das salas de aula padrão do Instituto Federal do Espírito Santo (IFES), campus Colatina.

3. MÉTODO DE TRABALHO

A metodologia deste trabalho consiste na análise comparativa entre tipologias de balcões refletores, os quais estarão associados à elementos bloqueadores da luz solar direta – brises e prateleiras de luz –, de forma a verificar a disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno. Para isso, foram realizadas simulações através do programa Tropix 7 (Cabús, 2005). O programa baseia-se no método de Monte Carlo e no método do raio traçado, que permite simular geometrias complexas, distribuição de iluminâncias de céus configuráveis pelo usuário, subdivisões do solo, cálculo de iluminância separado em até 12 componentes (Cabús, 2004).

A sala de aula escolhida para esta pesquisa se localiza no IFES – campus Colatina, no 2º pavimento, sendo suas dimensões: 10,65m de largura, 5,60m de profundidade e pé direito de 2,98m. Possui três aberturas de 6,27m² cada, com dimensões de 3,30 m de largura, 1,90 m de altura e peitoril com 97cm. Na face externa do bloco de salas de aula, existem jardineiras contínuas de 3,30 m de largura e 0,90 m de profundidade (medidas internas), e 0,52 m de altura (Figura 1).

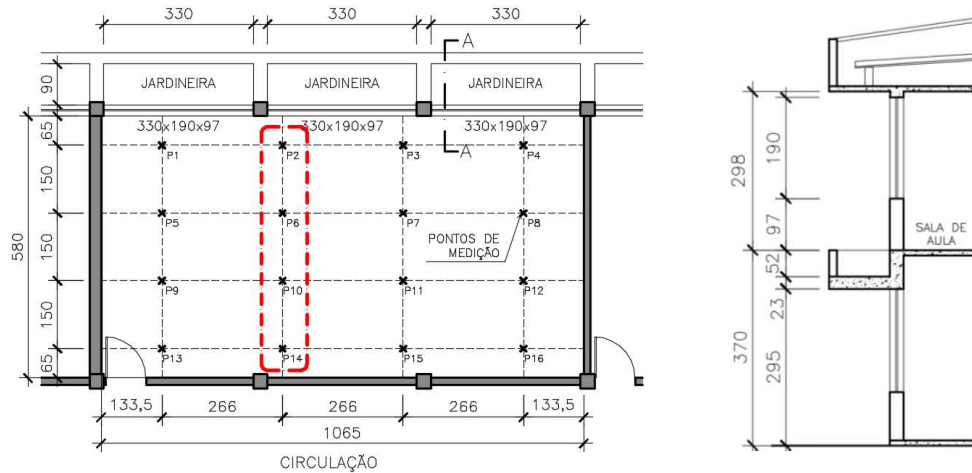


Figura 1: Planta Baixa e Corte da sala de aula utilizada como modelo para esta pesquisa. Detalhe da localização dos pontos de medição dos valores das UDIs e os pontos para curva isolux (P2, P6, P10 e P14 em destaque) (Troplux). Fonte: arquivo de AutoCAD com modificações feitas pelas autoras, 2015.

A sala de aula escolhida conta com abertura orientada para Norte com uma edificação obstruidora à frente, 19,00 metros distante desta, conforme mostram as Figuras 02 e 03.

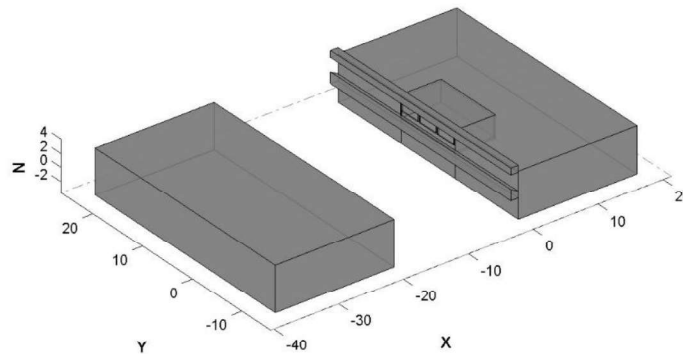


Figura 2: Perspectiva com a localização da edificação obstruidora. Fonte: Imagem gerada a partir do software Troplux 7, 2016.

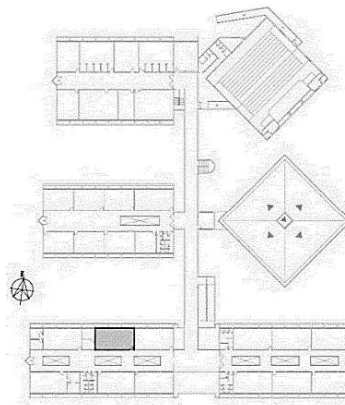
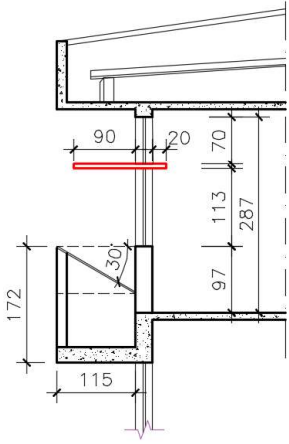
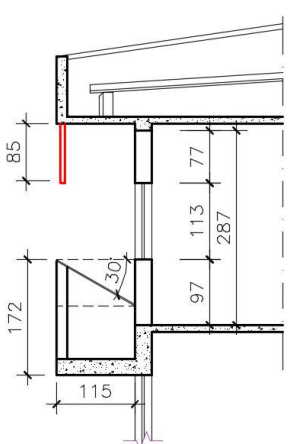
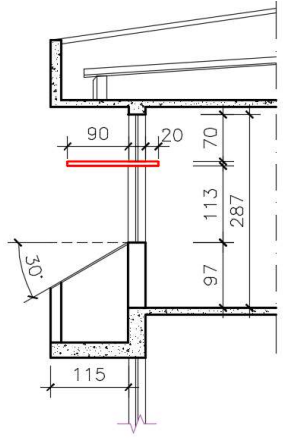
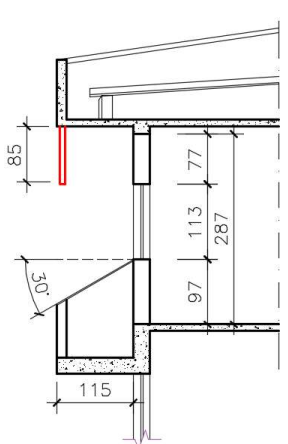


Figura 3: Planta de implantação do Ifes campus Colatina, com a localização da sala utilizada nesta pesquisa. Fonte: arquivo de AutoCAD com modificações feitas pelas autoras, 2015.

A sala escolhida trata-se de ambiente escolar e possui atividades contínuas por pelos menos 11 meses do ano. As jardineiras existentes paralelas às janelas não são utilizadas para este fim por motivos técnicos/estruturais e, para esta pesquisa, foram reformuladas e moduladas na sua geometria e refletância, para se tornarem balcões refletores, de modo a verificar a influência destes na disponibilidade de iluminação natural do ambiente interno. A inclinação utilizada para os balcões foi de 30°, baseada nos estudos de Lam (1986) e Cabús (2005), que analisam a capacidade das superfícies externas em refletir luz para dentro dos ambientes.

Quadro 1: Modelos de balcão utilizados nesta pesquisa

MODELO 1a	MODELO 1b
Balcão refletor inclinado a 30° em direção à sala, com prateleira de luz	Balcão refletor inclinado a 30° em direção à sala, com brise
	
MODELO 2a	MODELO 2b
Balcão refletor inclinado a 30° em direção à área externa, com brise	Balcão refletor inclinado a 30° em direção à área externa, com prateleira de luz
	

Os índices de refletância definidos para as superfícies foram baseados nos estudos de Cabús (2004), Hopkinson, Petherbridge e Longmore (1975) e Pereira e Souza (2000), onde procurou-se atribuir valores que representem uma realidade próxima das suas características de reflexão. Para a sala de aula adotou-se índice de 0,2 para o piso, 0,6 para as paredes internas, 0,5 para as paredes externas e 0,8 para os balcões, teto, brises e prateleiras de luz.

O céu considerado nas simulações foi o Céu 7 (Parcialmente encoberto) e o Céu 12 (Claro) (CIE, 1999). Os modelos foram simulados para todos os dias do ano, 11 horas por dia, de hora em hora, de 7 às 17h, para as orientações Norte e Sul. As coordenadas utilizadas foram as da cidade Vitória – ES, (latitude: 20°19'10" S e longitude: 40°20'16" W) pois não foi possível a inserção da cidade de Colatina - ES no programa utilizado para simulação. Optou-se então por Vitória por estas cidades possuírem coordenadas semelhantes (Colatina: latitude 19°32'22" S e longitude 40°37'50" W). Foram considerados 16 pontos de análise à 75cm de altura do piso.

Como parâmetros de avaliação de disponibilidade de luz natural no ambiente interno, foram usadas as *Useful Daylight Illuminance* (UDI) propostas por Nabil e Mardaljevic (2006). Os autores afirmam que valores abaixo de 100 lx caracterizam-se como insuficientes, valores entre 100 e 500 lx caracterizam-se com suficientes, mas com necessidade de iluminação complementar, valores entre 500 e 2000 lx caracterizam-se como suficientes e valores acima dos 2000 lx são caracterizados como excessivos.

Desta forma foram feitas as seguintes análises da iluminação natural em função dos quatro modelos de balcões (associados às prateleiras de luz e brises):

- a) avaliação dos percentuais de horas das UDI (*Useful Daylight Illuminance*), onde serão investigados como se dá o comportamento dos percentuais das UDI;
- b) avaliação da curva isolux, onde serão investigados como se dá o decaimento da iluminação natural no ambiente interno.

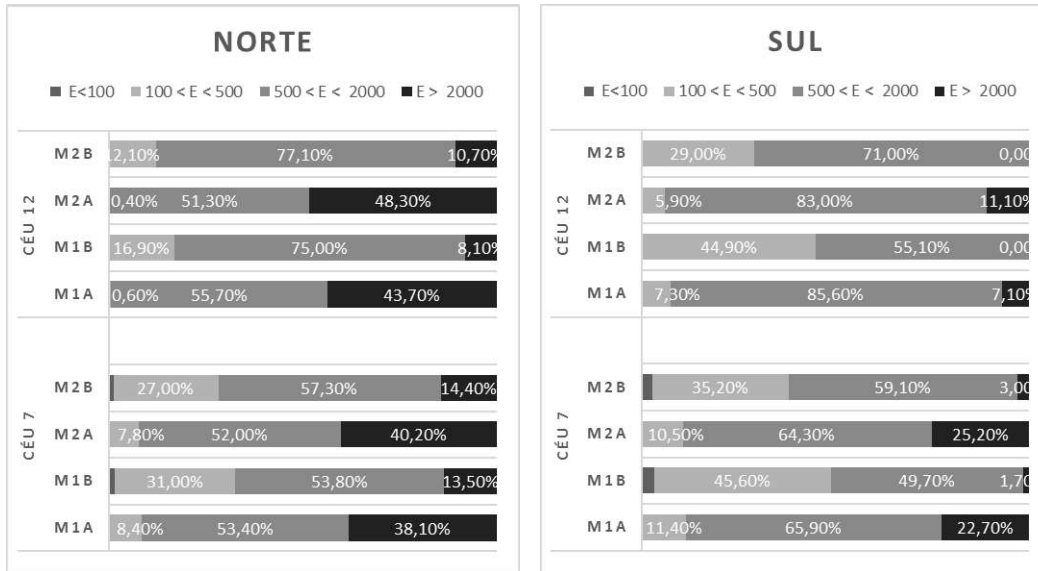
Para análise dos percentuais de horas das UDI, foram extraídos os valores dos meses entre fevereiro e novembro (período letivo). Já para a análise das curvas isolux, escolheu-se dois dias específicos, 24/09 – equivalente à uma data próxima ao equinócio de outono - e dia 24/11, que corresponde à uma data próxima do equinócio de verão, ambos dentro do período letivo. Ainda, optou-se em analisar dois horários do dia – às 10h e às 14h -, de forma a contemplar tanto o período da manhã quanto o período da tarde.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O Gráfico 1 apresenta os percentuais de horas do dia dentro do intervalo das UDI, de fevereiro a novembro, orientação Norte e Sul, para os Céus 7 (Parcialmente encoberto) e Céu 12 (Claro).

De maneira geral, é possível perceber que os modelos apresentaram melhor desempenho para a orientação Sul, com a maior parte das iluminâncias entre 500 e 2000 lx, considerada a faixa alvo. Para a orientação Sul, o modelo que apresentou o melhor desempenho foi o M2b, tanto para o Céu 7 (Parcialmente encoberto) quanto para o Céu 12 (Claro), pois além de apresentar elevados percentuais de horas do dia no intervalo útil das UDI, entre 500 e 2000 lx também apresentou insignificantes percentuais de horas da UDI no intervalo excessivo. Este fato contribuirá tanto para a redução do uso da iluminação artificial quanto para a redução do contraste da iluminância no ambiente interno. Os demais modelos, apesar de apresentarem elevados percentuais de horas do dia no intervalo útil das UDI - entre 500 e 2000 lx - também apresentam percentuais significativos de iluminação excessiva, a qual consequentemente acarretará grandes contrastes de iluminação no ambiente interno, principalmente para a orientação Norte.

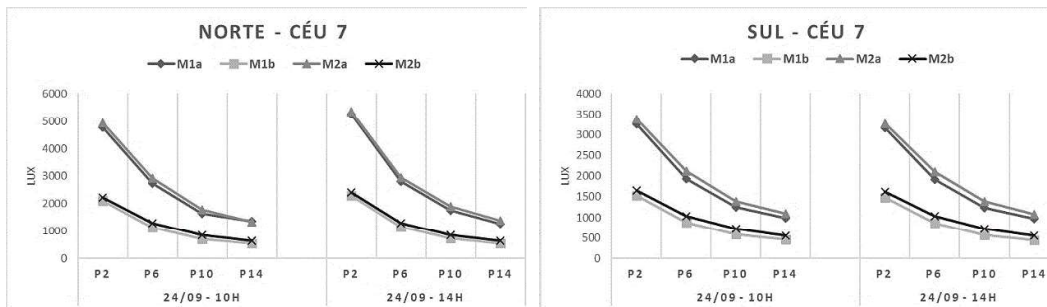
Gráfico 1: Percentual de horas do dia (UDI) de fevereiro a novembro, para orientação Norte e Sul, Céu 7 e Céu 12



Para a análise do desempenho dos modelos com relação à distribuição de luz natural dentro do ambiente, os Gráficos de 2 a 5 mostram o decaimento da luz natural, perpendicular à abertura, do ponto mais próximo à janela (P2) até o ponto mais distante (P14).

O Gráfico 2 demonstra os dados obtidos para o dia 24/09, às 10h e 14h, Céu 7 (Parcialmente encoberto), orientação Norte e Sul. Para ambas as orientações, os modelos M1b e M2b são os que apresentam os menores decaimentos da iluminância à medida que os pontos se afastam da abertura.

Gráfico 2: Decaimento da luz natural para o dia 24/09, 10h e 14h, orientação Norte e Sul, Céu 7



De acordo com a Tabela 1 e Tabela 2 observa-se que nestes modelos há um decaimento maior da iluminância até o Ponto 6, com um ponto de deflexão neste ponto e, a partir deste ponto 6, há uma redução no decaimento da iluminância. Isto permite concluir que o decaimento da iluminação natural, à medida que se afasta da abertura, não se torna progressivo. Desta forma, estes modelos contribuirão para um maior uniformidade da iluminância no ambiente interno, com menores contrastes entre a iluminância entre o ponto próximo da abertura e o ponto mais distante da abertura.

Tabela 1: Percentual de decréscimo da iluminância entre os pontos de medição, para o dia 24/09, Norte, Céu 7, às 10 e 14h

24/09 - NORTE				24/09 - NORTE			
Modelos	10h			Modelos	14h		
	P2 a P6	P6 a P10	P10 a P14		P2 a P6	P6 a P10	P10 a P14
M1a	-43%	-40%	-18%	M1a	-47%	-37%	-28%
M1b	-46%	-38%	-24%	M1b	-50%	-37%	-24%
M2a	-41%	-39%	-24%	M2a	-45%	-35%	-28%
M2b	-43%	-35%	-25%	M2b	-46%	-34%	-25%

Tabela 2: Percentual de decréscimo da iluminância entre os pontos de medição, para o dia 24/09, Sul, Céu 7, às 10 e 14h

24/09 - SUL				24/09 - SUL			
Modelos	10h			Modelos	14h		
	P2 a P6	P6 a P10	P10 a P14		P2 a P6	P6 a P10	P10 a P14
M1a	-41%	-35%	-21%	M1a	-39%	-36%	-21%
M1b	-43%	-34%	-22%	M1b	-42%	-34%	-22%
M2a	-37%	-34%	-22%	M2a	-36%	-34%	-22%
M2b	-37%	-30%	-23%	M2b	-36%	-30%	-23%

Para o Céu 12 (Claro), orientações Norte e Sul, os modelos com o melhor desempenho foram, novamente, M1b e M2b, os quais apresentaram os menores decaimentos da iluminância à medida que os pontos se afastam da abertura (Gráfico 3). Porém o modelo M1b, para Sul, Céu 12 (Claro), apresentou valores bem abaixo em comparação ao modelo M2b, apresentando, no ponto P14, índices abaixo de 500 lx, considerado insuficiente. A Tabelas 3 e 4 mostram o percentual de decaimento dos pontos de medição, com o modelo M2b apresentando a menor perda entre os pontos de medição par Sul (em destaque).

Gráfico 3: Decaimento da luz natural para o dia 24/09, 10h e 14h, orientação Norte e Sul, Céu 12

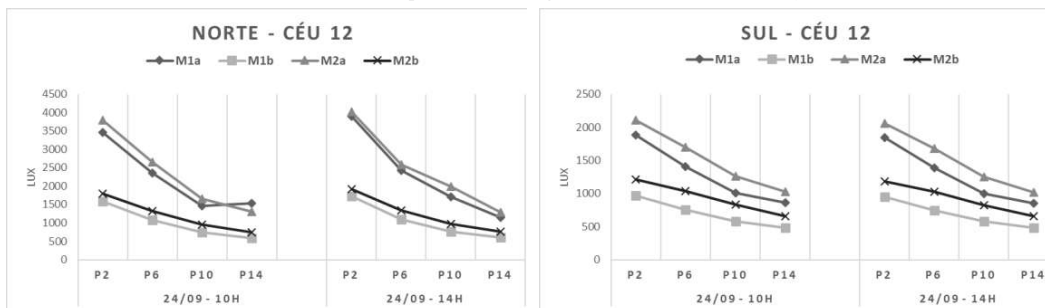


Tabela 3: Percentual de decréscimo da iluminância entre os pontos de medição, para o dia 24/09, Norte, Céu 12, às 10 e 14h

24/09 - NORTE				24/09 - NORTE			
Modelos	10h			Modelos	14h		
	P2 a P6	P6 a P10	P10 a P14		P2 a P6	P6 a P10	P10 a P14
M1a	-32%	-38%	5%	M1a	-38%	-29%	-33%
M1b	-33%	-30%	-21%	M1b	-36%	-30%	-20%
M2a	-30%	-37%	-22%	M2a	-36%	-23%	-35%
M2b	-27%	-27%	-23%	M2b	-31%	-26%	-22%

Tabela 4: Percentual de decréscimo da iluminância entre os pontos de medição, para o dia 24/09, Sul, Céu 12, às 10 e 14h

24/09 - SUL				24/09 - SUL			
Modelos	10h			Modelos	14h		
	P2 a P6	P6 a P10	P10 a P14		P2 a P6	P6 a P10	P10 a P14
M1a	-25%	-29%	-15%	M1a	-25%	-28%	-15%
M1b	-23%	-23%	-17%	M1b	-21%	-23%	-17%
M2a	-20%	-26%	-19%	M2a	-18%	-25%	-19%
M2b	-14%	-20%	-20%	M2b	-13%	-20%	-20%

No Gráfico 4, para o Céu 7 (Parcialmente encoberto), orientação Norte e Sul, os melhores resultados são provenientes do modelo M1b e M2b, que apresentaram valores de iluminância das UDI entre 500 e 2000 lx em todos os pontos, além dos menores decaimentos das iluminância à medida que os pontos se afastam da abertura, com maior uniformidade da iluminância no ambiente interno. Este decaimento é demonstrado nas Tabelas 5 e 6, com o modelo M2b tendo os menores percentuais de perda do constraste da iluminação da abertura até o ponto mais profundo da sala.

Gráfico 4: Decaimento da luz natural para o dia 24/11, 10h e 14h, orientação Norte e Sul, Céu 12

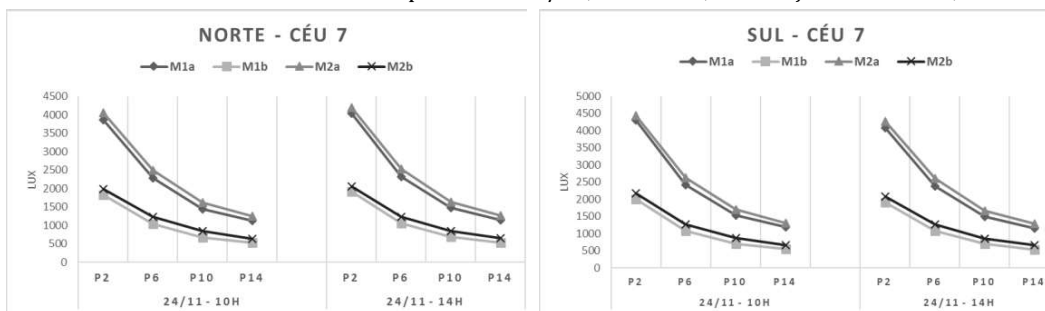


Tabela 5: Percentual de decréscimo da iluminância entre os pontos de medição, para o dia 24/11, Norte, Céu 7, às 10 e 14h

24/11 - NORTE				24/11 - NORTE			
Modelos	10h			Modelos	14h		
	P2 a P6	P6 a P10	P10 a P14		P2 a P6	P6 a P10	P10 a P14
M1a	-41%	-37%	-22%	M1a	-43%	-36%	-22%
M1b	-43%	-35%	-23%	M1b	-45%	-35%	-22%
M2a	-38%	-35%	-23%	M2a	-40%	-35%	-22%
M2b	-38%	-31%	-24%	M2b	-40%	-31%	-23%

Tabela 6: Percentual de decréscimo da iluminância entre os pontos de medição, para o dia 24/11, Sul, Céu 7, às 10 e 14h

24/11 - SUL				24/11 - SUL			
Modelos	10h			Modelos	14h		
	P2 a P6	P6 a P10	P10 a P14		P2 a P6	P6 a P10	P10 a P14
M1a	-44%	-37%	-22%	M1a	-42%	-37%	-23%
M1b	-46%	-35%	-23%	M1b	-44%	-35%	-23%
M2a	-41%	-36%	-23%	M2a	-39%	-36%	-23%
M2b	-41%	-31%	-24%	M2b	-39%	-32%	-24%

Ao analisar o Gráfico 5 referente ao Céu 7 (Parcialmente encoberto), orientações Norte e Sul, os melhores resultados são provenientes do modelo M2b, que apresentou, para Norte,

menores decaimentos da iluminância a medida que os pontos se afastam da abertura, além dos valores de iluminância permanecerem entre o intervalo das UDI considerado suficiente, ou seja, entre 500 e 2000 lx. Novamente, o modelo M2b apresentou as menores perdas, na faixa dos 20%, entre os pontos de medição do ambiente.

Gráfico 5: Decaimento da luz natural para o dia 24/11, 10h e 14h, orientação Norte e Sul, Céu 12

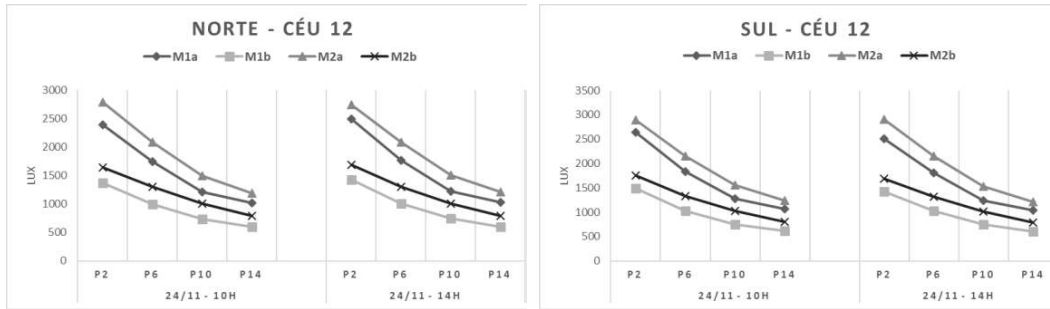


Tabela 7: Percentual de decréscimo da iluminância entre os pontos de medição, para o dia 24/11, Norte, Céu 12, às 10 e 14h

Modelos	24/11 - NORTE		
	10h		
	P2 a P6	P6 a P10	P10 a P14
M1a	-27%	-31%	-16%
M1b	-28%	-26%	-19%
M2a	-25%	-28%	-20%
M2b	-21%	-23%	-21%

Modelos	24/11 - NORTE		
	14h		
	P2 a P6	P6 a P10	P10 a P14
M1a	-29%	-30%	-16%
M1b	-29%	-26%	-19%
M2a	-24%	-28%	-20%
M2b	-22%	-23%	-21%

Tabela 8: Percentual de decréscimo da iluminância entre os pontos de medição, para o dia 24/11, Sul, Céu 12, às 10 e 14h

Modelos	24/11 - SUL		
	10h		
	P2 a P6	P6 a P10	P10 a P14
M1a	-31%	-31%	-16%
M1b	-31%	-27%	-19%
M2a	-25%	-28%	-20%
M2b	-24%	-23%	-22%

Modelos	24/11 - SUL		
	14h		
	P2 a P6	P6 a P10	P10 a P14
M1a	-28%	-31%	-16%
M1b	-28%	-27%	-19%
M2a	-26%	-29%	-21%
M2b	-22%	-23%	-22%

5. CONCLUSÃO

Sob as condições investigadas, os resultados demonstraram que os melhores resultados com relação à uniformidade das iluminâncias e a distribuição da luz natural foram obtidos pelo modelo M2b (balcão refletor inclinado para a área externa e brise). Este modelo obteve a melhor distribuição da luz natural no ambiente interno, principalmente quando voltado para a orientação Sul, com baixos percentuais de UDI acima dos 2000 lx, iluminância considerada indesejável. Desta forma o modelo M2b apresentou a melhor distribuição das iluminância nas horas do dia, além de menor contraste da iluminação entre os pontos mais profundos do ambiente e os pontos mais próximos da abertura.

Já os modelos que combinaram o balcão com a prateleira de luz, M1a e M2a, apresentaram os piores índices, provavelmente por este dispositivo, a prateleira de luz, permitir em várias

horas do dia um maior acesso da luz direta no ambiente interno. Esses dois modelos apresentaram, para todas as orientações, dias, horários e tipos de céu, valores acima de 2000 lx próximo às janelas. Só houve um desempenho razoável destes modelos para a orientação Sul, Céu 12 (Claro).

Desta forma, é possível afirmar que a correta combinação dos elementos de fachada podem influenciar na qualidade do ambiente interno, contribuindo para um maior aproveitamento da luz natural. Já estão sendo desenvolvidas novas pesquisas associando o balcão à outras variáveis, como diferentes ângulos solares, de forma a se conseguir o máximo de aproveitamento desse recurso, obtendo ambientes cada vez mais confortáveis e que aproveite ao máximo os recursos disponíveis.

REFERÊNCIAS

- Araújo, M. R.; Gonçalves, V.; Cabús, R. 2007. Análise da iluminação natural a partir de elementos vazados. In: *Ix Encontro Nacional E V Latino Americano De Conforto No Ambiente Construído, Ouro Preto: 2007*. ENTAC ELACAC.
- Amorim, C. N. D. 2007. Diagrama Morfológico Parte I: instrumento de análise de projeto ambiental com uso de luz natural. *Paranoá Cadernos de Arquitetura e Urbanismo, 3.*, Brasília, DF, n. 3, P. 57-76.
- Cabús, R. 2004. Influência da luz refletida no solo na iluminação natural nos trópicos: comparando o desempenho de protetores solares. In: *Conferência Latino-Americana De Construção Sustentável e Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído, São Paulo: 2004*. clac'S ENTAC.
- Cabús, R. 2005. *Troplux – Manual do usuário*. Maceió: GRILU.
- CIE – Commission Internationale de l'Eclairage. 1999. Spatial distribution of daylight – CIE standart general sky. CIE. Wien.
- Graça, V. A. C. da; Kowaltowski, D. C. C. K.; Petreche, J. R. D. 2007. An evaluation method for school building design at the preliminary phase with optimisation of aspects of environmental comfort for the school system of the State São Paulo in Brazil. *Building and Environment 42 (2)*: 984-999. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.10.020>
- Hopkinson, R. G.; Petherbridge, P.; Longmore, J. 1975. *Iluminação Natural*. Imperial Ltda. Lisboa.
- Lam, W. M. C. 1986. *Sunlighting as formgiver for architecture*. Van nostrand Reinold company: Nova York.
- Nabil, A. e Mardaljovic, J. 2006. Useful daylight illuminances: a replacement for daylight factors. *Energy and Buldings 38*: 905-913. London: Elsevier.
- Pellegrino, A.; Cammarano, S.; Savio, V. 2015. Daylighting for Green Schools: A Resource for Indoor Quality and Energy Efficiency in Educational Environments. *Energy Procedia 78*: 3162-3167. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.774>
- Pereira, F. O. R.; Souza, M. B. 2000. *Apostila da disciplina: Conforto Ambiental – Iluminação*. UFSC – CT: Florianópolis.
- Yu, X.; Su, Y. 2015. Daylight availability assessment and its potential energy saving estimation –A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews (52)*: 494-503. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.142>