



# XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Avanços no desempenho das construções – pesquisa, inovação e capacitação profissional

12, 13 E 14 DE NOVEMBRO DE 2014 | MACEIÓ | AL

## ANÁLISE DA OCORRÊNCIA DE OFUSCAMENTO NO USO DA LUZ NATURAL EM EDIFICAÇÕES ESCOLARES PARA NATAL-RN, POR SIMULAÇÃO

CARVALHO, Juliana (1); PEDRINI, Aldomar (2);

(1) Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN e-mail: [juliportela@gmail.com](mailto:juliportela@gmail.com) (2)

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN e-mail: [apedrini@ufrnet.br](mailto:apedrini@ufrnet.br)

### RESUMO

Este trabalho apresenta o estudo das ocorrências de ofuscamento em salas de aula para a cidade de Natal-RN. Embora haja muita disponibilidade de luz natural localmente, seu uso ainda é pouco explorado na arquitetura escolar. O método de análise é dividido em definição do caso base e modelos de referência, modelagem, simulação e tratamento dos resultados. Os modelos analisados são ambientes de sala de aula de dimensões 7,20m x 7,20m, com janelas com percentual de abertura de fachada (PAF) de 20%, 40% e 50%, e com dispositivos de sombreamento como marquise, marquise inclinada, marquise com proteção lateral, marquise com vista frontal, marquise dupla, marquise dupla com três brises horizontais, marquise simples com três brises horizontais, além do uso da prateleira de luz para alguns modelos. Como o comportamento da luz é bastante variável ao longo do ano, optou por adotar uma análise baseada na simulação dinâmica. A modelagem foi executada no programa SketchUp, a simulação foi realizada no programa Daysim (REINHART, 2010). Os dados foram tratados em planilhas eletrônicas, em que foi determinada uma faixa de UDI entre 300lux e 2000lux nas análises exploratórias e UDI entre 300lux e 3000lux nas análises específicas. Observou-se uma redução do ofuscamento na 1ª fileira de sensores, seja através do uso da prateleira de luz, ou de proteção para a bandeira de luz.

**Palavras-chave:** Iluminação natural, ofuscamento, eficiência.

### ABSTRACT

*This paper presents the study of glare occurrences in classrooms for the city of Natal- RN. Although there is much daylight availability locally, its use is still underexplored in school architecture. The method of analysis is divided into definition of the base case and reference models, modeling, simulation and analysis of the results. The analyzed models are classroom environments with the dimensions of 7.20m x 7.20 m, with window-to-wall-ratio (WWR) of 20 %, 40 % and 50 %, and shading devices such as standard horizontal overhang, sloped overhang, standard horizontal overhang with side view protection, standard horizontal overhang with a dropped edge, double standard horizontal overhang, double standard horizontal overhang with three horizontal louvers, standard horizontal overhang with three horizontal louvers, besides the use of light shelves in some models. As the behavior of light is quite variable throughout the year, chose to adopt an approach based on dynamic simulation analysis. The modeling was performed in SketchUp program , the simulation was performed in Daysim program ( Reinhart , 2010) and data analysis was done using spreadsheets , where a range of UDI was determined between 300lux and 2000Lux for exploratory analyzes and between 300lux and 3000lux for more specific analyzes. It was observed a reduction of glare in the first row of sensors, either by using the light shelves, or protection for the high light.*

**Keywords:** Daylighting, glare, efficiency.

## **1 INTRODUÇÃO**

Em Natal/RN, “Cidade do Sol” (clichê publicitário), geralmente o uso da luz natural é negligenciado no ambiente construído. Frequentemente os ambientes internos são iluminados artificialmente durante todas as horas do dia, enquanto que as aberturas são bloqueadas por cortinas internas devido ao ganho térmico e ofuscamento.

Em escolas, os benefícios do uso da luz natural incluem a melhoria no aprendizado, na qualidade ambiental, no conforto luminoso, na redução do consumo de energia e do impacto ambiental. Para sua implementação, é necessário atender o mínimo de iluminância e proporcionar sua uniformidade para evitar o ofuscamento. Grandes variações causam ofuscamento e fadiga mental, prejudicando o aprendizado dos alunos.

A Iluminância Natural Útil (UDI) demonstra quando “os níveis são úteis para os ocupantes, que é, nem tão escuro ( $<100\text{lx}$ ) nem tão claro ( $>2000\text{lx}$ )”. O limite superior detecta quando a incidência de radiação pode provocar aquecimento, resultando em desconforto térmico (REINHART, MARDALJEVIC *et al.*, 2006, p.16). A UDI resulta em três métricas as quais são referentes aos intervalos de tempo abaixo de 100lux, entre 100 e 2000lux e acima de 2000lux, este último intervalo é empregado para detectar a existência de ofuscamento (REINHART, MARDALJEVIC *et al.*, 2006).

A UDI, nesta pesquisa, teve o limite inferior da faixa adaptado para 300lux, que corresponde ao nível mínimo de iluminância requerido para salas de aula de acordo com a norma de iluminação de ambientes de trabalho ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013). O limite superior foi calculado para 2000lux e 3000lux.

Para uma cidade como Natal, por exemplo, existe uma grande incidência de radiação solar difusa que pode resultar em ofuscamento. Em Natal facilmente são atingidos os níveis de 3000lux, sendo, portanto inadequado o limite superior do UDI de 2000lux, que caracterizaria ofuscamento em uma boa parte do dia.

Mardaljevic (MARDALJEVIC, *et al.*, 2011, f. 4 e 5) adapta o intervalo da UDI de acordo com o uso do ambiente e às condições locais, admitindo a variabilidade desta faixa de acordo com cada situação. Neste estudo é avaliada a iluminação natural para edificações residenciais, com adaptação da faixa de UDI entre 300-3000lux para melhor aproveitamento da luz natural.

Outra métrica que detecta os níveis de ofuscamento é a Autonomia de Luz Natural máxima (D<sub>Max</sub>) que é referente ao percentual de horas ocupadas quando há incidência solar direta em excesso, traz indicações de ofuscamento e com que frequência os contrastes acontecem (REINHART, MARDALJEVIC *et al.*, 2006, p.17). Este critério detecta a incidência de luz solar direta e as prováveis condições de ofuscamento, informando a frequência na qual os contrastes aparecem no ambiente (REINHART, MARDALJEVIC *et al.*, 2006, p.11).

A arquitetura deve equilibrar iluminação, sombreamento e ventilação. A abertura deve contribuir com a luz natural no ambiente, sem ocasionar ofuscamentos, higienizando o ambiente com a renovação do ar, através da ventilação natural.

Esse artigo avalia a luz natural por meio de simulação computacional dinâmica de modelos hipotéticos, no programa Daysim (REINHART, 2010) e os resultados são analisados quanto à ocorrência de iluminância natural útil (UDI).

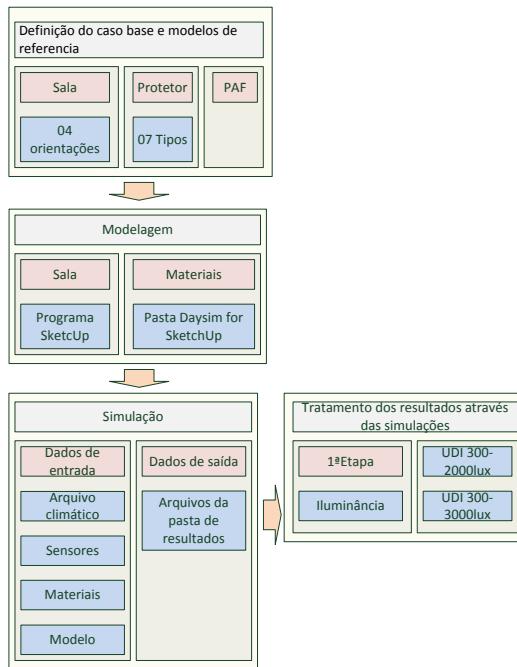
## **2 OBJETIVO**

Analizar as ocorrências de ofuscamento em salas de aula na cidade de Natal-RN.

### 3 MÉTODO

O método é dividido em: definição do caso base e modelos de referência, modelagem, simulação e tratamento dos dados de saída, conforme Figura 1.

**Figura 1: Diagrama do método**



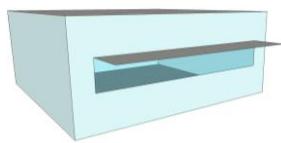
#### 3.1 Definição do caso base e modelos de referencia

O caso base foi definido a partir de uma sala de aula com as dimensões de 7,20m x 7,20m conforme a legislação do Fundescola (EDUCAÇÃO, 2002, p.48). A partir disso foram construídos os modelos de referência tendo como variáveis a orientação da abertura, geometria de proteção solar e tamanho de abertura.

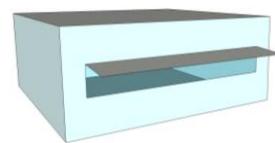
As simulações foram divididas em duas fases. A primeira fase abrange os sistemas marquise, marquise inclinada, marquise com proteção lateral e marquise com vista frontal, com e sem o uso da prateleira de luz, com as quatro orientações principais (Norte, Sul, Leste e Oeste) e PAF de 20% e 40%. A segunda fase abrange os sistemas marquise com três brises horizontais, marquise dupla e marquise dupla com três brises horizontais, sem prateleira de luz, com a orientação Norte e PAF de 40% e 50% (Figura 2, Figura 3, Figura 4, Figura 5, Figura 6, Figura 7, Figura 8, Figura 9, Figura 10, Figura 11, Figura 12, Figura 13, Figura 14 e Figura 15). Sendo totalizados 54 modelos simulados para a pesquisa.

**Figura 2: Marquise, PAF 20%.**

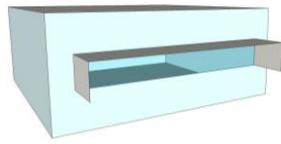
**Figura 3: Marquise inclinada, PAF 20%.**



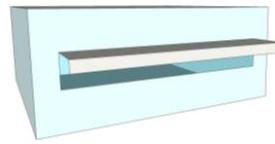
**Figura 4:** Marquise com proteção lateral, PAF 20%.



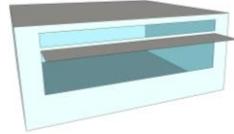
**Figura 5:** Marquise com vista frontal, PAF 20%.



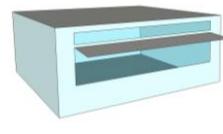
**Figura 6:** Marquise, PAF 40%.



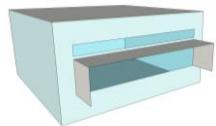
**Figura 7:** Marquise inclinada, PAF 40%.



**Figura 8:** Marquise com proteção lateral, PAF 40%.



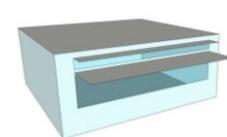
**Figura 9:** Marquise com vista frontal, PAF 40%.



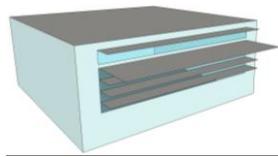
**Figura 10:** Marquise com três brises horizontais, PAF 40%.



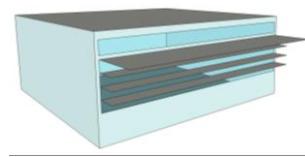
**Figura 11:** Marquise dupla, PAF 40%.



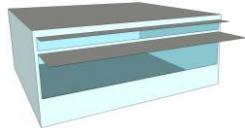
**Figura 12: Marquise dupla com três brises horizontais, PAF 40%.**



**Figura 13: Marquise com três brises horizontais, PAF 50%.**



**Figura 14: Marquise dupla, PAF 50%.**



**Figura 15: Marquise dupla com três brises horizontais, PAF 50%.**



### 3.2 Modelagem

A modelagem foi executada no programa SketchUp (GOOGLE, 2006). As propriedades de reflexão espelhada e rugosidade foram escolhidas na biblioteca “Daysim for SketchUp” (arquivo “\*.rad”, na pasta “rad”) do programa Daysim (REINHART, 2010).

### 3.3 Simulação

A simulação tem como dados de entrada: modelo, arquivo climático, arquivo de materiais, arquivo de sensores.

O modelo foi concebido na etapa anterior de modelagem. O arquivo climático utilizado nas simulações foi do ano de 2009 (RORIZ, 2009). O arquivo de materiais não foi alterado, sendo empregados materiais de altas refletâncias como forma de potencializar o uso da luz natural no ambiente. A determinação dos pontos de sensores seguiu a determinação presente na NBR 15215-4 (ABNT, 2005), sendo determinados 36 sensores para PAF de 20% e 16 sensores para o PAF de 40% e 50%.

### 3.4 Tratamento dos dados de saída

Os critérios adotados foram UDI (300lux-2000lux e 300lux-3000lux) e UDI hora. As saídas gráficas adotadas na pesquisa foram isolinhas de UDI, quadro com escala de cores para UDIh e tabela com os índices de ocorrências de UDI (300lux-3000lux).

As isolinhas de UDI são um recurso gráfico de visualização fácil do comportamento da luz natural no ambiente. A partir deste gráfico é possível inferir que existe ofuscamento na 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> fileira de sensores e que o UDI máximo chega a 90% ao final da profundidade de vão iluminado (**Figura 16**).

**Figura 16: Isolinhas, Oeste, marquise, PAF 40%, sem prateleira de luz**



Como a luz natural apresentou um comportamento horário variável, percebeu-se a necessidade de se prever em quais horários haveria o decaimento da luz natural. Sendo elaborado um novo critério denominado UDI hora, no qual são dados os percentuais em que o UDI é de 100% para cada hora do dia. A partir disso é possível observar em quais pontos de sensores e em que horários houve decaimento. No exemplo a seguir, observa-se que o UDI de 100% está presente às 10h e entre às 13h e 14h. Durante as outras horas do dia será preciso fazer uso de outros recursos para uniformizar a luz natural e reduzir o ofuscamento (Tabela 1).

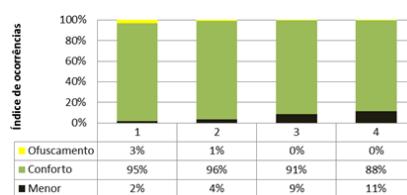
**Tabela 1: UDI hora, Oeste, marquise, PAF 40%, sem prateleira de luz**

Horas / Sensor	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
07:00	94	82	61	48	95	86	63	51	94	88	63	52	94	86	60	51
08:00	91	98	95	92	89	98	95	93	94	98	95	93	96	98	95	93
09:00	72	97	98	98	65	95	98	98	74	96	98	98	81	97	98	98
10:00	47	94	98	99	37	90	98	99	47	91	98	99	60	94	98	99
11:00	36	92	95	96	24	86	95	96	32	87	95	96	42	90	95	96
12:00	38	95	98	99	24	92	98	99	31	92	98	98	39	94	98	98
13:00	64	99	99	98	44	98	99	98	52	97	99	98	57	98	99	98
14:00	91	98	97	97	79	98	97	97	85	99	97	97	85	98	97	97
15:00	98	95	92	90	95	96	92	90	97	92	90	97	96	91	89	
16:00	90	83	71	61	90	84	69	62	90	85	68	58	89	82	64	54
17:00	38	40	42	41	39	40	42	39	39	40	42	38	38	40	42	40

Escala de cores
Entre 0 e 20%
Entre 20 e 30%
Entre 30 e 40%
Entre 40 e 50%
Entre 50 e 60%
Entre 60 e 70%
Entre 70 e 80%
Entre 80 e 90%
Entre 90 e 100%

O índice de ocorrências avaliou a UDI entre 300 e 3000lux, com a finalidade de observar os índices de ofuscamento para um nível de iluminância superior a 3000lux. Estas análises foram executadas apenas para a orientação Norte devido ao fato dela receber radiação solar durante todo o período do dia. Neste gráfico, são determinadas três categorias: ofuscamento ( $UDI > 3000\text{lux}$ ), conforto ( $UDI$  entre 300-3000lux) e menor ( $UDI < 300\text{lux}$ ). Neste caso houve um ofuscamento de apenas 3% na 1ª fileira de sensores, com decaimento uniforme do nível de conforto (Tabela 2).

**Tabela 2: Índice de ocorrências para marquise dupla com três brises, PAF 40%, sem prateleira de luz**



#### 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

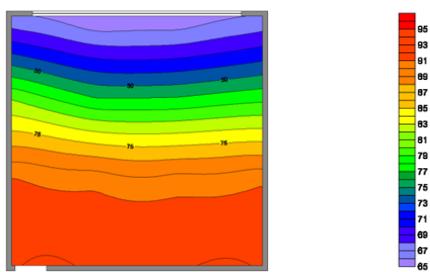
Observou-se através da iluminância natural útil que não foi detectado um UDI de 100% entre 300 e 2000lux. Os maiores valores estavam entre os 90 e 95%. Para o PAF de

20% esta faixa de 90% a 95% está localizada nos primeiros 3,0m de profundidade de sala, decaindo após a segunda metade da sala. Para o PAF de 40% foi observado ofuscamento na 1ª fileira de sensores, com níveis de iluminância maiores que 2000lux, o que reduziu o UDI para valores entre 50% e 60% na 1ª fileira de sensores. Já para o PAF de 50% o UDI na 1ª fileira de sensores variou de 30% a 58%, havendo a necessidade de complementação com um sombreamento interno, como a prateleira de luz para a redução da incidência de radiação solar.

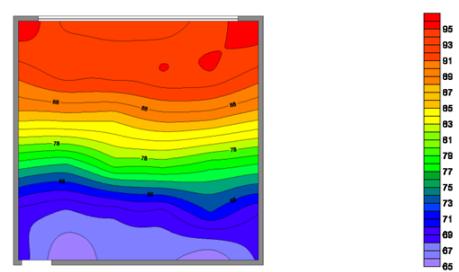
O sistema de proteção marquise inclinada a 5º teve um melhor desempenho (entre 82% e 93% na 1ª fileira de sensores) para as janelas com PAF de 20% e orientação Leste, para as demais orientações houve um decaimento da luz na 1ª fileira de sensores.

As aberturas com o PAF de 40% atingem uma maior profundidade de vão iluminado, para um UDI entre 90% a 99%, chegando a atingir até a profundidade final da sala, entretanto apresentam em sua maioria ofuscamentos na 1ª fileira de sensores (Figura 17). Aberturas com PAF de 20% (Figura 18) apresentam menos ofuscamento, mas atingem uma menor profundidade (1,95m) de vão iluminado para o UDI entre 90% a 99%.

**Figura 17: UDI 300-2000lux, marquise inclinada, PAF 40%, sem prateleira de luz, iluminância 300lux, norte**



**Figura 18: UDI 300-2000lux, marquise inclinada, PAF 20%, iluminância 300lux, norte**



Observou-se um melhor desempenho de UDIh para os modelos com PAF de 20%, destacando-se o modelo marquise, com PAF de 20%, orientação Leste sendo detectado um UDIh entre 90% e 99% das 9h às 14h para alguns sensores (Tabela 3).

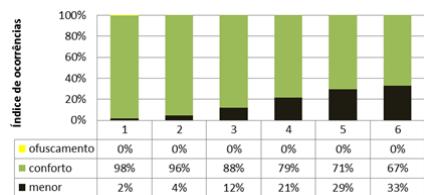
**Tabela 3: UDI hora 300lux-2000lux , modelo marquise para PAF 20%, Leste, sem prateleira de luz**

Horas / Sensor	31	25	19	13	7	1	32	26	20	14	8	2	33	27	21	15	9	3	34	28	22	16	10	4	35	29	23	17	11	5	36	30	24	18		
07:00	83	79	61	39	30	26	82	83	65	42	31	28	83	85	67	44	31	28	81	85	68	47	32	29	84	83	65	44	32	26	83	78	58	40		
08:00	85	97	94	82	71	62	78	98	95	85	72	68	76	98	95	86	71	66	73	98	95	89	73	67	80	98	95	86	74	63	74	97	92	83		
09:00	88	99	97	93	87	82	76	99	98	94	87	85	72	99	98	95	87	84	67	99	98	96	88	85	75	99	98	95	88	83	85	99	97	93		
10:00	91	99	98	96	93	91	74	99	99	97	93	92	66	99	99	97	93	92	60	99	99	97	94	92	71	99	99	97	94	91	93	99	98	96		
11:00	94	99	99	97	95	94	82	99	99	97	95	95	68	99	99	97	95	95	61	99	99	98	96	95	76	99	99	98	96	94	97	99	98	97		
12:00	98	99	99	97	96	94	94	99	99	98	96	95	85	99	99	98	96	95	79	99	99	98	96	95	91	99	99	98	96	94	99	99	99	98		
13:00	99	99	98	97	95	92	99	99	98	97	95	93	98	99	98	97	95	93	98	99	98	96	94	98	99	98	96	93	99	99	98	97				
14:00	99	98	96	90	80	68	99	98	96	91	82	75	99	98	97	92	82	73	99	98	97	93	84	77	99	98	96	93	84	73	99	98	96	91		
15:00	97	92	81	54	20	6	97	93	84	57	23	12	98	95	85	61	23	13	98	95	86	66	29	15	97	94	84	64	29	11	97	92	80	57		
16:00	82	60	35	11	6	4	86	67	40	13	6	6	87	75	44	13	6	3	88	75	45	17	7	6	86	69	40	15	6	5	82	62	31	13		
17:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

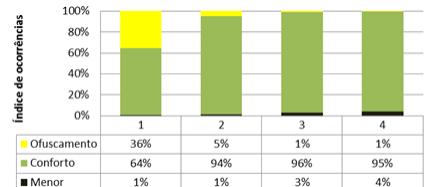
Quanto ao índice de ocorrências os melhores resultados foram obtidos para os seguintes sistemas: marquise PAF 20%, marquise com vista frontal com prateleira de luz PAF 40%, marquise com proteção lateral sem prateleira de luz e PAF 40%, marquise dupla com 03 brises horizontais sem prateleira de luz para PAF 50% e 40%.

Para o PAF de 20% (Figura 19) o índice de conforto teve um decaimento igual a 19% a partir da 4<sup>a</sup> zona de iluminação. Para o PAF de 40%, houve ofuscamento na 1<sup>a</sup> fileira de sensores menor nos sistema com prateleira de luz, de 5% neste no modelo marquise com vista frontal (Figura 20) e de 36% no modelo marquise com proteção lateral (Figura 21).

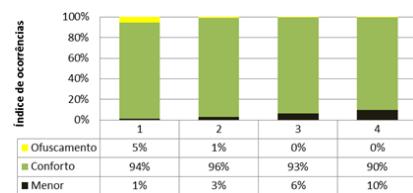
**Figura 19: Índice de ocorrências, modelo orientação norte com marquise, sem prateleira de luz PAF de 20%.**



**Figura 21: Índice de ocorrências, modelo orientação norte com marquise e proteção lateral, sem prateleira de luz PAF de 40%.**



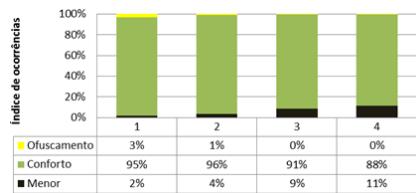
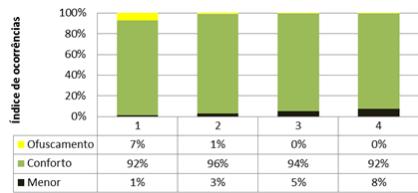
**Figura 20: Índice de ocorrências, modelo orientação norte com marquise com vista frontal, com prateleira de luz PAF de 40%.**



Foi observado que o sistema marquise dupla com três brises horizontais teve um melhor desempenho para os PAF's de 40% e 50%. Para o PAF de 50% (Figura 22) o ofuscamento da 1<sup>a</sup> fileira de sensores pode ser reduzido para apenas 7%, com índice de menor conforto de 8% para a profundidade final da sala de aula. Para o PAF de 40% houve um melhor desempenho quanto ao ofuscamento da 1<sup>a</sup> fileira de sensores com índice registrado de apenas 3%(Figura 23).

**Figura 22: Índice de Ocorrências, modelo orientação norte com marquise dupla com 03 brises, sem prateleira de luz, PAF de 50%.**

**Figura 23: Índice de Ocorrências, modelo orientação norte com marquise dupla com 03 brises, sem prateleira de luz, PAF de 40%.**



## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A luz natural tem uma grande variabilidade anual e diária, com pouca frequência de UDI de 90% a 100% para todas as orientações com sistemas de proteção fixo. As orientações Leste e Oeste precisam de um sistema de proteção móvel, cujo cálculo do UDI somente pode ser feito através da derivação dos valores de DA dentro da faixa de UDI indicada.

As prateleiras de luz serviram como sistema de sombreamento interno para alguns modelos, evitando o ofuscamento na 1<sup>a</sup> fileira de sensores, e reduzindo a profundidade de vão iluminado.

Os modelos com PAF de 20% não tiveram ofuscamento na 1<sup>a</sup> fileira de sensores, mas a profundidade de vão iluminado foi reduzida pela metade. Os modelos com PAF de 40% sem a prateleira de luz apresentaram o dobro de ofuscamento na 1<sup>a</sup> fileira de sensores em relação aos modelos com a prateleira de luz. Os modelos com PAF de 50% apresentaram ofuscamento na 1<sup>a</sup> fileira de sensores, sendo necessária a complementação com um sistema de sombreamento interno como a prateleira de luz.

Os modelos com melhor desempenho luminoso para toda a sala de aula foram marquise dupla com três brises horizontais sem prateleira de luz para os PAF's de 40% e 50%, sendo importante ressaltar que o uso da prateleira de luz possibilitaria a redução ou a eliminação do ofuscamento na 1<sup>a</sup> fileira de sensores.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo apoio recebido.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. **NBR 15215-4. Iluminação natural - Parte 4 - Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações - Método de medição.** Rio de Janeiro: ABNT 2005.
- \_\_\_\_\_. **NBR ISO/CIE 8995-1. Iluminação de ambientes de trabalho - parte 1: Interior [Lighting of work places Part 1: Indoor]**: ABNT 2013.
- EDUCAÇÃO, M. D. **Recomendações técnicas - EDIFICAÇÕES ambientes ESCOLARES**, C. D. P. E. I. Brasília: Fundaescola. Especificações 17 2002.
- GOOGLE. **Google SketchUp 8** 2006.
- MARDALJEVIC, J. et al. **Daylight metrics for residential buildings**. Proceedings of the 27th Session of the CIE. África do Sul 2011.
- REINHART, C. **Daysim 3.1**. UNIVERSITY, H. Cambridge 2010.
- REINHART, C. F.; MARDALJEVIC, J.; ROGERS, Z. **Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design**. Leukos. Ottawa. 3: 7-31 p. 2006.
- RORIZ, M. **RN\_Natal.epw**. São Carlos Roriz Bioclimática 2009.