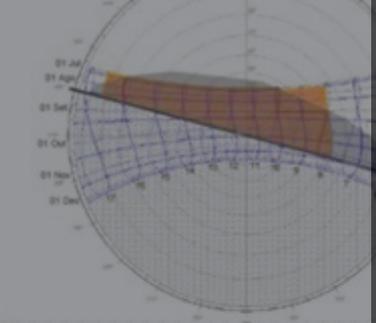
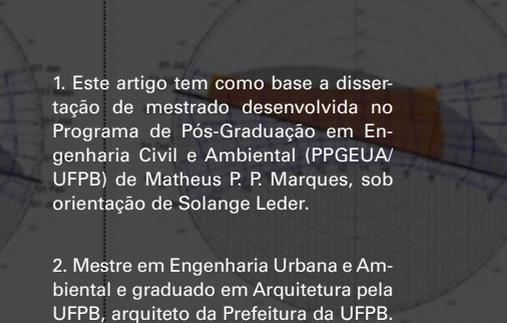


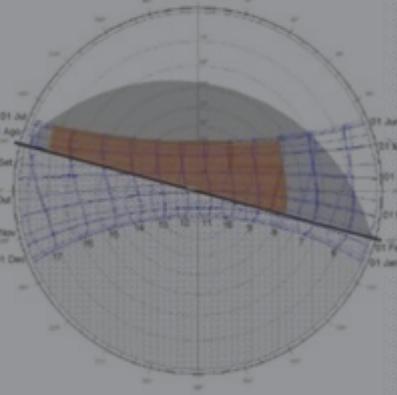
1B



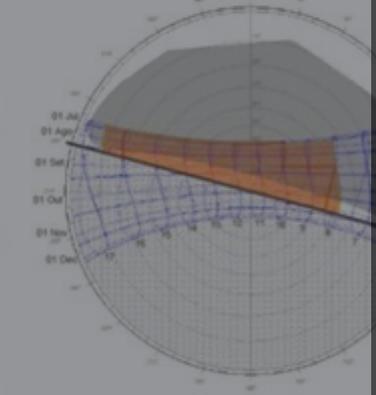
2B



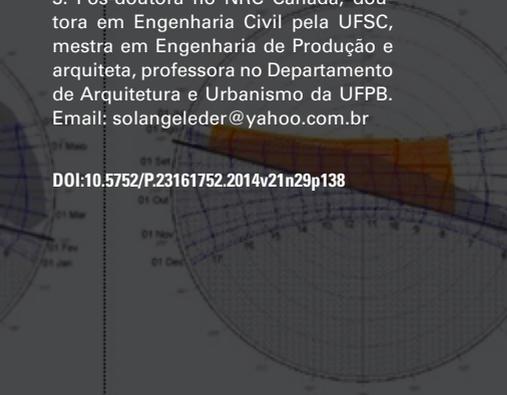
1C



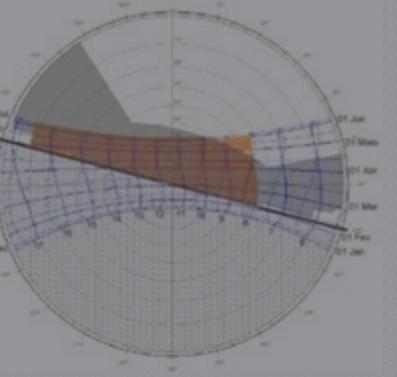
3C



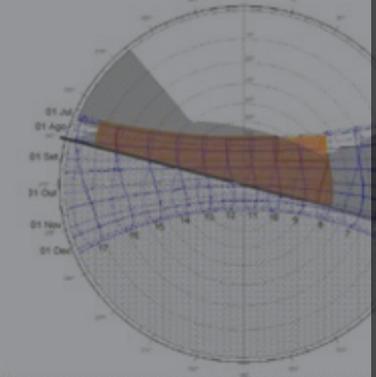
4C



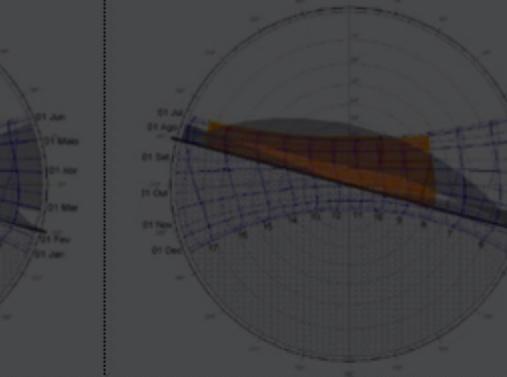
5C



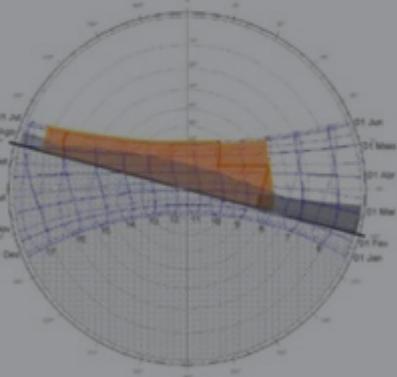
7C



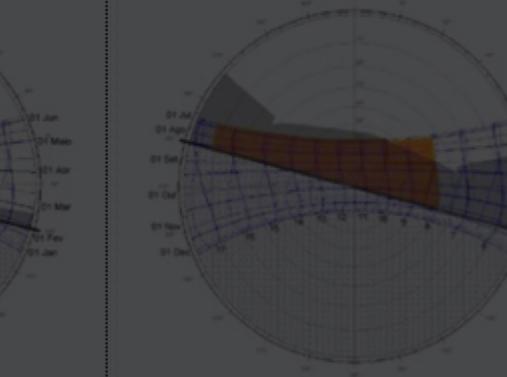
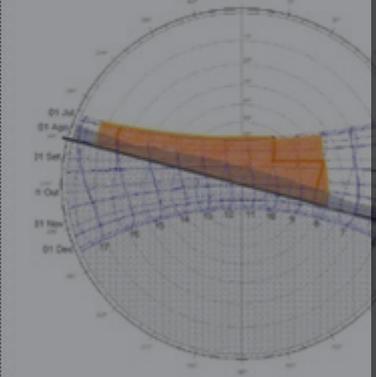
9C



11C



1D



1. Este artigo tem como base a dissertação de mestrado desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGEU/UFPB) de Matheus P. P. Marques, sob orientação de Solange Leder.

2. Mestre em Engenharia Urbana e Ambiental e graduado em Arquitetura pela UFPB, arquiteto da Prefeitura da UFPB. Email: matheuspeixoto@hotmail.com

3. Pós-doutora no NRC Canadá, doutora em Engenharia Civil pela UFSC, mestra em Engenharia de Produção e arquiteta, professora no Departamento de Arquitetura e Urbanismo da UFPB. Email: solangeleder@yahoo.com.br

DOI:10.5752/P.23161752.2014v21n29p138

SOMBREAMENTO E ILUMINAÇÃO NATURAL NA ANÁLISE DA PROTEÇÃO SOLAR¹

SHADING AND DAYLIGHTING IN THE ANALYSIS OF SOLAR PROTECTION

SOMBRA Y LUZ NATURAL EN EL ANÁLISIS DE PROTECCIÓN SOLAR

Matheus Peixoto de Paula Marques²
Solange Maria Leder³

Resumo

Este trabalho propõe uma metodologia para análise do desempenho de elementos de proteção solar a partir do percentual de sombreamento (PS), do percentual de iluminação do céu visível (PICV) e da iluminância natural útil (INU). O método proposto permite identificar intervalos de valores do PS e do PICV que ao serem aplicados no projeto de elementos de proteção solar permitem, além de um adequado sombreamento das aberturas, melhor desempenho da iluminação natural no ambiente interno.

Palavras chaves: Proteção solar. Iluminação natural. Simulação da luz natural.

Abstract

This paper presents a methodology proposed for the performance analysis of shading devices from performance measures such as the shading coefficient, vertical sky component and useful daylight illuminance. At the end of the investigation, it was possible to identify ranges of values of the effective shading coefficients and vertical sky component which will, beyond an appropriate shadowing in openings, improve the daylighting performance.

Keywords: Shading devices. Daylighting. Daylighting simulation.

Resumen

En este trabajo se propone una metodología para el análisis de la actuación de los elementos de protección solar a partir del porcentaje de sombreado (PS), el porcentaje de la iluminación del cielo visible (PICV) y la iluminancia naturales útiles (INU). El método propuesto permite identificar los rangos de valores de PS y PICV que permiten la protección solar y el sombreado adecuado de aberturas, con un mejor rendimiento de la iluminación natural en el ambiente interior.

Palabras clave: Protección solar. Iluminación natural. Simulación de la luz natural.

Introdução

O controle da radiação solar excessiva interfere na admissão e distribuição da luz natural no ambiente interno, a relação ótima entre o controle do sol e a adequada admissão da luz natural é difícil de assegurar (ROBBINS, 1986). Proteções insuficientes ou excessivas devem ser evitadas, os métodos empregados para identificar o período de necessidade de proteção solar frequentemente são baseados no comportamento da temperatura do ar. A incidência solar indesejável é identificada pela definição de zonas de conforto térmico específicas para cada local e em função da adoção de um índice de conforto adaptativo (que representa a adaptação natural das pessoas a diferentes tipos de climas e à variação anual da temperatura). Pereira e Assis (2010) realizaram um estudo comparativo entre vários modelos, considerando os índices de conforto térmico definidos para algumas cidades brasileiras, tendo concluído que o modelo proposto por Aluciems, em 1981 demonstrou melhor compatibilidade, quando utilizado no projeto de dispositivo de proteção solar. Esse modelo foi empregado no método proposto por Pereira e Souza (2008), que incorpora as seguintes variáveis: a latitude do local, a incidência da radiação solar nas fachadas, o uso da edificação, a aclimação da população e a área das aberturas. Essas variáveis são empregadas na definição dos períodos ao longo do ano e associadas a determinadas áreas na carta solar, em que a admissão do sol pelas aberturas é desejável ou indesejável. Esse método foi incorporado no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R).

Sobre a avaliação de proteções solares o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) adota ângulos verticais (AVS) e horizontais de sombreamento (AHS) no método prescritivo de determinação do nível energético da edificação. Em estudo realizado por Rodrigues, Dias e Pedrini (2011), foi constatado que os ângulos horizontais (AHS) e verticais (AVS) de sombreamento são medidas simplificadas para representar uma proteção solar, sendo insuficientes para caracterizar o período de sombreamento e insensíveis à orientação. Ao contrário, a máscara de sombreamento (BITTENCOURT, 2004; OLGAY, 1957), além de considerar o sistema de abertura e de sombreamento, associa estes à geometria solar. Pelas máscaras de sombreamento é possível identificar o quanto uma abertura está sendo protegida ao longo do ano. Esse método é, atualmente, base de ferramentas computacionais, como o Solartool (MARSH, 2007). O Solartool, aproveitando as vantagens computacionais, além da máscara solar, calcula variáveis associadas ao sombreamento da abertura, como o percentual de sombreamento (*shading coefficient*). Para o cálculo dessa variável, a superfície da janela é sobreposta a uma malha de 10 x 10 cm, e um único raio, aleatoriamente posicionado dentro de cada quadrante da malha, é gerado e cruzado com os dispositivos de sombreamento e os objetos externos em direção ao sol. O número de raios que se cruzam com um ou mais objetos resulta na fração da superfície da janela que está sendo sombreada em uma determinada posição do sol, ou seja, o percentual de sombreamento (PS).

O elemento de proteção da abertura, ao evitar a radiação solar direta indesejável, impede a visão de partes da abóbada celeste, interferindo na admissão e distribuição da luz natural no espaço interior do edifício. O céu é uma fonte de luz anisotrópica, isto é, a contribuição de diferentes partes do céu, na dinâmica da iluminação natural, não é igual. Para lidar com essa variabilidade, a norma britânica BS 8206 (2008) usa o conceito de componente vertical celeste, que é a razão, expressa em percentual, entre a iluminância incidente sobre uma superfície vertical e a iluminância incidente sobre um plano horizontal proveniente do céu, encoberto e totalmente desobstruído. Essa variável, também calculada pelo Solartool (MARSH, 2007), será aqui denominada de percentual de iluminação do céu visível (PICV).

Sabe-se que os níveis da iluminação oriunda de fontes naturais são dinâmicos. As fontes naturais de luz, céu e sol, interagem com as geometrias e as propriedades físicas do espaço interno e do contexto exterior (HESCHONG; LEE; MARDALJEVIC, 2009). Essa natureza dinâmica da luz natural dificulta a definição da quantidade e da qualidade da iluminação natural predominante em um ambiente interno. Estudos sobre as simulações de iluminação natural têm mostrado que métodos de simulação computacional podem ser usados para calcular com precisão os níveis de iluminâncias e luminâncias em edifícios, ao longo do ano. As simulações computacionais utilizam medidas dinâmicas de desempenho da luz natural (MARDALJEVIC, 2000; REINHART; WALKENHORST, 2001; REINHART; ANDERSEN, 2006).

Entre essas medidas dinâmicas, destaca-se a iluminância natural útil (INU) (*useful daylight illuminance* - UDI) proposta por Mardaljevic e Nabil (2005). Esta consiste na determinação da frequência em que uma faixa de iluminância considerada útil é alcançada ao longo do ano. Os níveis de INU úteis são aqueles situados dentro do intervalo de 100 lx a 2000 lx. Fora desse intervalo, há duas faixas: a considerada aquém da faixa útil ($INU < 100$ lx) e a que excede a faixa útil ($INU > 2000$ lx). Assim, a INU identifica não apenas a faixa útil de iluminância, mas também a probabilidade de excesso de luz, que pode causar desconforto visual e, ou, térmico, e as situações em que o nível se encontra insuficiente para ser a única fonte de iluminação. Através da INU pode-se rapidamente realizar uma avaliação comparativa de variantes do projeto. Apesar da carência de norma ou regulamento que estipule faixas de valores ideais, há estudos que apontam alguns procedimentos de avaliação do desempenho da iluminação através de medidas dinâmicas, como os sugeridos por Rogers (2006) e Mardaljevic, Reinhart e Rogers (2006).

A pesquisa aqui apresentada propõe uma metodologia de análise e auxílio ao projeto de elementos de proteção solar. A avaliação da eficácia desses elementos foi feita com base na aplicação do método de definição da zona de desconforto proposto por Pereira e Souza (2008), assim como da análise das seguintes medidas de desempenho: o percentual de sombreamento (PS), o percentual de iluminação do céu visível (PICV) e a iluminância natural útil (INU). Os elementos de proteção

solar analisados nesta pesquisa correspondem a exemplos reais levantados em salas de aula do *Campus I* da Universidade Federal da Paraíba, em João Pessoa (MARQUES, 2012; MARQUES; LEDER, 2012).

Método

A pesquisa compreende um levantamento de campo e atividades de simulação e análise. O levantamento definiu a amostra usada nos modelos de análise, composta por edificações com uso predominante de salas de aula, e que utilizam algum tipo de proteção solar nas aberturas. Foram levantadas as dimensões e as orientações desses ambientes assim como os tipos de elementos de proteção solar e o percentual de abertura da fachada. Com esses dados, foram definidos os modelos a serem analisados.

Na etapa de simulação e análise, a primeira atividade foi a definição dos períodos do ano em que há necessidade de sombreamento da abertura. Tendo como base as dimensões dos ambientes e das aberturas identificadas no levantamento, foram definidos os períodos do ano em que as aberturas em análise necessitam de sombra (zona de desconforto). A identificação da zona de desconforto fornece subsídios para a análise da eficácia da proteção solar na obstrução da luz solar direta quando esta é indesejável. Para a caracterização da zona de desconforto, dois métodos foram utilizados, denominados de M1 e M2. O método M1 foi extraído de Pereira e Souza (2008) e está incluso no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). O método M2 foi desenvolvido por Marques (2012). Com a aplicação dos dois métodos (M1 e M2), obteve-se a identificação de dois períodos de necessidade de sombreamento para cada orientação analisada. A partir dessa demarcação, foram projetadas, para as orientações em estudo, duas soluções de dispositivos que proporcionassem proteção total da radiação solar direta associada às zonas de desconforto M1 e M2. As duas hipóteses de proteção foram incluídas no conjunto de proteções provenientes do levantamento de campo, com o objetivo de compará-las com os elementos de proteção presentes na amostra e identificar qual método, M1 ou M2, resultaria em melhor desempenho do sistema de proteção solar em relação à iluminação natural.

As simulações computacionais foram realizadas para a obtenção das seguintes medidas de desempenho: percentual de sombreamento (PS), percentual de iluminação do céu visível (PICV) e iluminância natural útil (INU). As duas primeiras geradas com a ferramenta computacional Solartool e a última determinada com o programa Daysim (simulação da luz natural). Esclarecimentos adicionais sobre o método adotado serão apresentados a seguir.

Modelos de análise

Com base nas dimensões de salas de aula mais frequentes encontradas no levantamento de campo, definiu-se um modelo-base de ambiente interno, com as seguintes dimensões: 7,10 metros de largura, 8,85 metros de comprimento e 3,0 metros

de pé direito (MARQUES, 2012). Da mesma forma, definiu-se o percentual de abertura na fachada (PAF) de 56%, e a altura do peitoril de 1 metro (FIG. 1). Sobre esse modelo-base, foram simuladas diferentes situações de orientação e tipo de proteção solar, comparadas com o modelo base sem proteção solar.

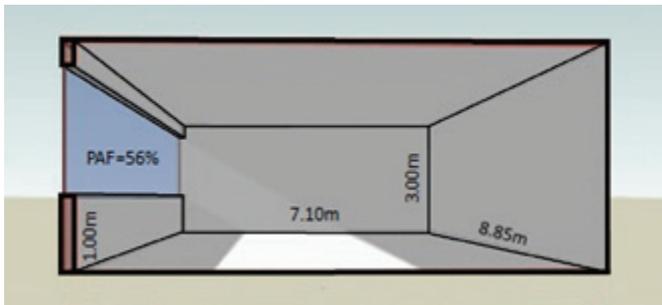


Figura 1 • Modelo-base utilizado nas simulações

Fonte: Marques, 2012.

Os tipos de proteção solar identificadas no levantamento foram reunidos em quatro grupos: A (beiral ou marquise), B (*brise* horizontal), C (misto) e D (cobogó). Cada modelo recebeu um código composto pela letra correspondente ao grupo (FIG. 2), seguida por números que definem diferentes tipos dentro do mesmo grupo. Os modelos foram construídos com o programa Sketchup.

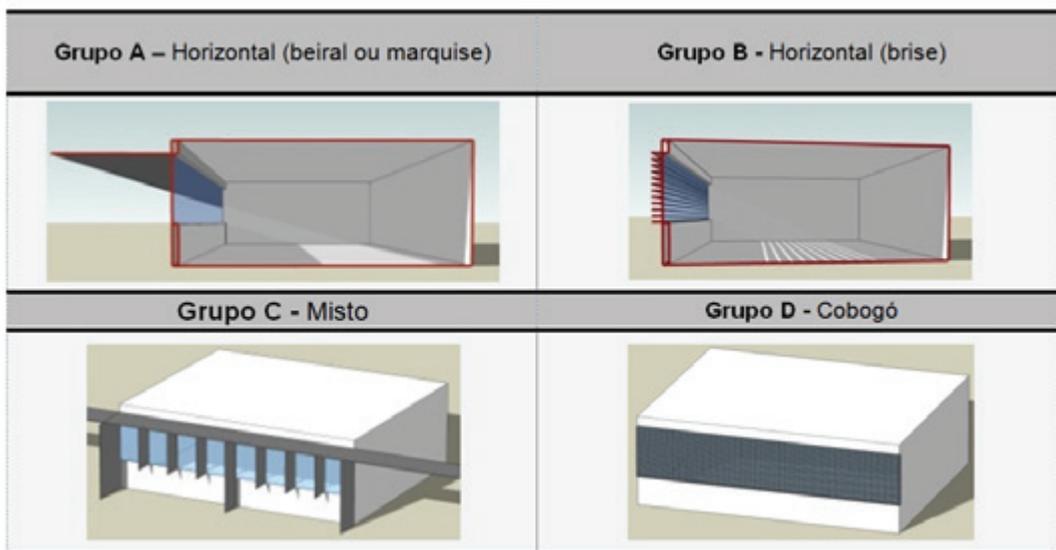


Figura 2 • Tipos de proteção solar obtidas no levantamento

Fonte: Marques, 2012.

Simulações computacionais

Dois programas de simulação foram utilizados: Ecotect e Daysim. Com o aplicativo Solar tool, do Ecotect, obtiveram-se as variáveis de análise do desempenho do sombreamento e as máscaras de sombra. O PICV foi obtido com a finalidade de, juntamente com o PS, identificar a relação que essas duas variáveis têm com o desempenho da iluminação natural.

O Daysim foi utilizado para o cálculo da medida dinâmica da iluminação natural, a INU, que indica o percentual, ao longo do ano, em que o nível de iluminância, calculado em um ponto,

encontra-se na faixa útil ou suficiente (entre 100 e 2000 lx), na faixa insuficiente (< 100 lx) e na excessiva (> 2000 lx). As simulações foram realizadas com o uso do arquivo de dados climáticos do tipo TRY (*test reference year*) para a cidade de Recife-PE, distante apenas 120 km da cidade de João Pessoa e com características climáticas semelhantes. Os índices de reflexão adotados no modelo foram de: 70% no teto, 50% nas paredes, 30% no piso, 20% no entorno e 20% no elemento de proteção solar. A transmitância adotada no vidro foi de 80%. Para avaliar o desempenho da iluminação natural nos modelos, a recomendação da NBR 15215-4 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007) serviu de base. O ambiente interno (7,10 m x 8,85 m) (FIG. 1) foi dividido em áreas iguais, formando uma malha de pontos com distanciamento de 1,11 m no comprimento e 1,18 m na largura, a uma altura de 75 cm. As simulações foram realizadas para o ciclo de um ano, em intervalos de 60 minutos, das 7h às 18h, considerando usuários passivos que não fecham as cortinas. Para a comparação dos resultados dos modelos, utilizou-se a média dos valores obtidos em cada linha de sensor paralela à abertura, juntamente com o desvio padrão das percentagens de tempo-ano em que o nível luminoso permanece na faixa útil.

Análise do desempenho do sombreamento e da iluminação natural

Conforme mencionado anteriormente, para a análise do desempenho da proteção solar frente à zona de desconforto, foram empregadas as medidas PS e PICV; enquanto a medida INU foi usada na análise do desempenho da iluminação natural. Para ordenar os modelos segundo seu desempenho em relação à iluminação natural, empregou-se a INU média em conjunto com o seu desvio padrão, e a INU excessiva. O desvio padrão é um indicador qualitativo que está relacionado com a dispersão dos valores obtidos, isto é, quanto menor o desvio padrão, mais uniforme a distribuição da luz natural. Foram determinados níveis de desempenho: bom, regular e ruim, assim definidos:

- Bom – INU suficiente > 80% e INU excessiva < 5%;⁴
- Regular – INU suficiente > 80% e INU excessiva > 5% ou INU suficiente < 80% e > 60%;
- Faixa ruim – INU suficiente < 60%.

A utilização da INU excessiva teve a intenção de impor uma abordagem qualitativa ao sistema de classificação. Modelos com valores de INU excessiva acima de 5% apontam para elevada incidência de radiação solar direta na abertura e, conseqüentemente, aumento da carga térmica do ambiente e desconforto visual, como ofuscamento e contraste excessivo. Modelos com menor ocorrência de INU excessiva (< 5%) obtêm melhor classificação, quando comparados com aqueles de elevada INU excessiva (> 5%).

Análises

A análise compreende três etapas. Na primeira, o desempenho das soluções de proteção solar, geradas com base nos métodos M1 e M2, foi analisado para comparar os dois métodos em es-

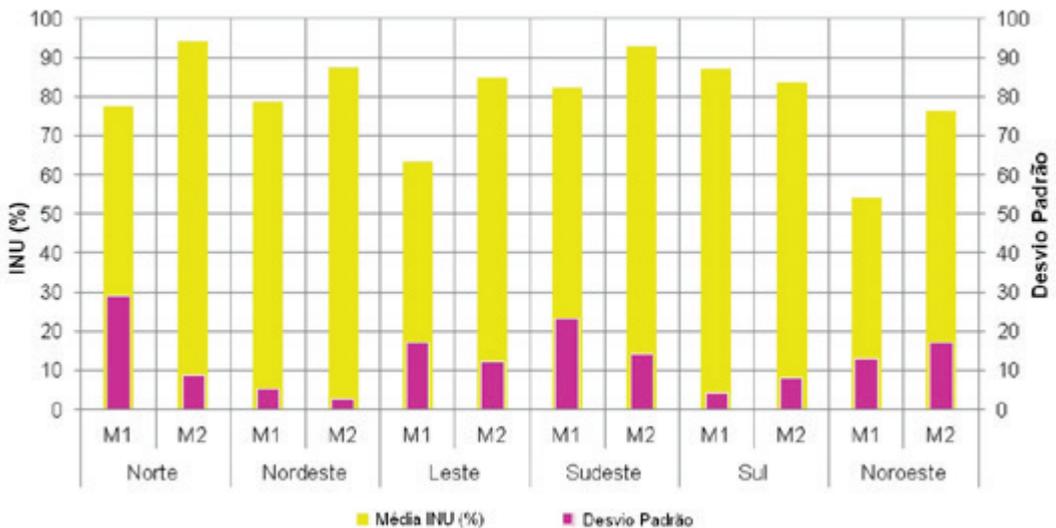
4. Valor utilizado por Rogers (2006) para medida do *maximum daylight autonomy* (DAMax). O DAMax é usado para indicar a percentagem de horas no ano que um local é ocupado, na qual o nível de iluminância mínimo em um determinado ponto do plano de trabalho é excedido em dez vezes e pode fornecer a frequência e a área onde se encontram os altos níveis de ofuscamento no espaço.

tudo. As etapas subsequentes compreendem a análise do desempenho das soluções de proteção solar em relação ao sombreamento e à iluminação natural no ambiente interno.

Análise dos métodos M1 e M2

Para esta etapa, foram modeladas proteções solares para proteger 100% das zonas de desconforto definidas nos métodos M1 e M2. Essas proteções foram elaboradas tendo como base os tipos de proteção identificados e caracterizados no levantamento de campo. O desempenho dessas proteções foi analisado considerando o impacto destas sobre os níveis de iluminação no ambiente interno, tendo como parâmetro a INU (suficiente) e seu desvio padrão, que permite analisar a uniformidade dos níveis de iluminação. As medidas PS e PICV também foram consideradas para cada proteção solar em análise.

Na FIG. 3, estão inseridos os valores de INU e o desvio padrão obtido com as proteções solares modeladas para os métodos M1 e M2. Maiores valores de INU em conjunto com menor desvio padrão representam proteção solar de melhor desempenho. Esses resultados permitem concluir que as soluções M2 apresentam melhor desempenho; exceto para a orientação sul, onde a proteção M1 tem desempenho ligeiramente superior ao M2. Em 83,4% das situações analisadas, o método M2 mostrou-se mais eficiente para o projeto de proteções solares quando comparado ao método M1 (16,6%).



Por esses resultados, nas análises subsequentes sobre o desempenho das proteções existentes, os PS das soluções M2 serão utilizados como referência para as fachadas norte, nordeste, leste, sudeste e noroeste. Já a fachada sul terá como referência o PS da solução M1.

3.2 Análise do sombreamento das proteções

A avaliação da eficiência do sombreamento gerado pelas proteções solares foi feita com base no uso de método gráfico, que consistiu na sobreposição da máscara de sombra da proteção solar (cinza), com a zona de desconforto

Figura 3 • Desempenho das soluções: método M1 e M2

Fonte: Marques, 2012.

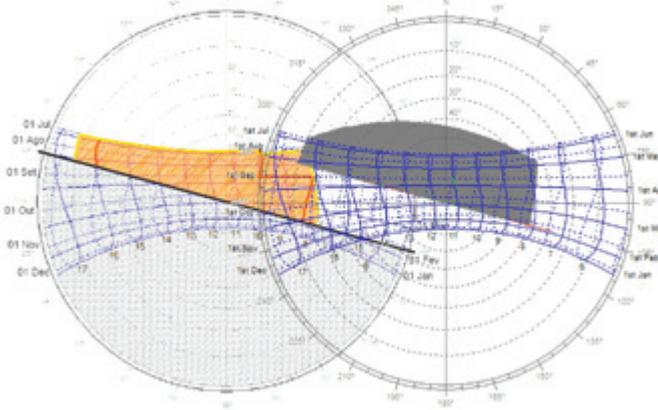


Figura 4 • Método gráfico utilizado na análise do sombreamento

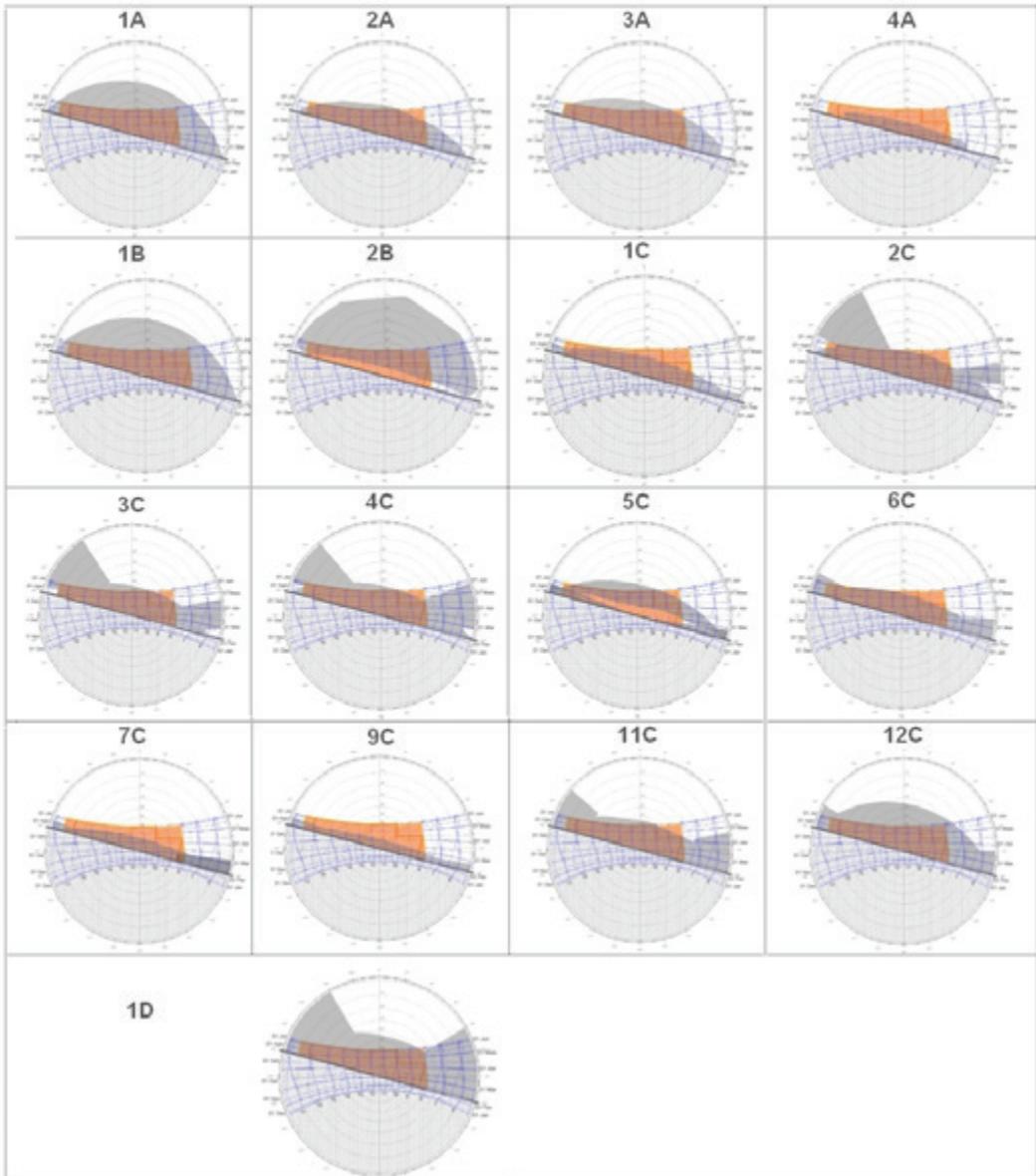
Fonte: Marques, 2012.

(laranja), obtida pelos métodos 1 e 2 (FIG. 4). Com a sobreposição dos dois diagramas, é possível identificar o horário e os meses em que o sombreamento da proteção analisada é excessivo ou insuficiente. Situações em que a área cinza é muito maior que a área laranja significam excesso de sombreamento. Quando a área cinza não cobre a área laranja, significa erro de projeto da proteção solar, pois a luz solar direta está atingindo a abertura e, conseqüentemente, o ambiente interno.

No FIG. 5, pode-se observar a máscara resultante referente às proteções solares da fachada norte. No grupo A (marquise ou beiral), o modelo 3A apresenta a proteção mais eficiente, gerando um sombreamento excessivo apenas no início da manhã. Os dois modelos analisados no grupo B (*brises* horizontais) apresentam sombreamento excessivo. O modelo 2B, devido ao afastamento da proteção em relação à fachada, permite a incidência solar nos meses mais quentes (fevereiro, março, abril, setembro e outubro), ao contrário do modelo 1A, que protege, excessivamente, ao longo do ano, das 7h às 17h. No grupo C (elementos verticais e horizontais), os modelos 2C, 3C, 6C e 11C oferecem proteção mais equilibrada, sem sombreamento excessivo e maior cobertura da zona de desconforto. As soluções presentes nos modelos 1C, 9C e 7C geram um sombreamento insuficiente, deixando descoberta grande parte da zona de desconforto.

Como comentado anteriormente, o PS de cada modelo foi utilizado na comparação do desempenho das proteções em análise (FIG. 6). O PS obtido com a proteção solar resultante da aplicação do método M2 foi demarcado no gráfico pela linha tracejada laranja. Os valores encontrados acima do valor limite representados por essa linha indicam sombreamento em excesso e, abaixo dela, representam proteção insuficiente.

No caso da fachada norte, o valor de referência corresponde a 87,5%. A proteção com menor PS é a 4A, que corresponde a uma máscara com grande parte da zona de desconforto (área laranja) descoberta (ver FIG. 5). Enquanto a proteção 12C, de elevado PS, corresponde a uma máscara com toda a zona de desconforto coberta.



Análise do desempenho da iluminação natural

Na análise do desempenho da iluminação natural, os percentuais de INU obtidos com o Daysim foram organizados considerando o comportamento das três faixas: insuficiente, suficiente e excessiva (ver item 2.2) em relação à profundidade do ambiente. Para isso, foi calculada a média dos percentuais de INU para cada linha de sensores, paralela à abertura, da malha dos pontos de análise (observar FIG. 7). As duas soluções projetadas pelos métodos M1 e M2 foram também inseridas nessa análise, com o objetivo de avaliar a eficiência desses métodos.

Ao comparar os resultados organizados na FIG. 7 com os dados de sombreamento (FIG. 5), observa-se que as proteções que não sombreiam suficientemente a zona de desconforto

Figura 5 • Análise da proteção: superposição da máscara de sombra (cinza) e da zona de desconforto (laranja) das proteções da fachada norte

Fonte: Marques, 2012.

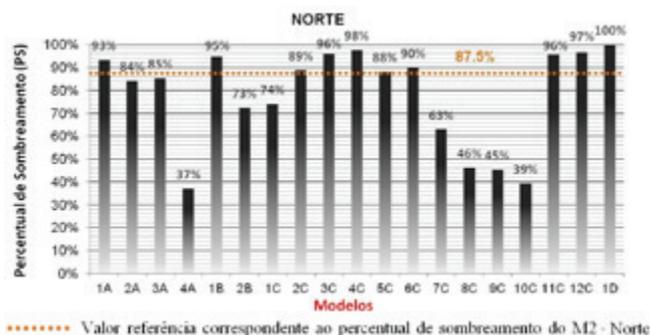


Figura 6 • Análise da eficiência do sombreamento para a fachada Norte

Fonte: Marques, 2012.

apresentam uma relação diretamente proporcional com a INU excessiva. Quanto maior a área descoberta da zona de desconforto, maior o percentual da área do plano de trabalho, próximo à abertura, com valores de iluminância acima de 2000 lx. Esse fato pode ser observado claramente no modelo base (sem proteção solar) e nos modelos 4A e 1C: na primeira linha de pontos (próxima à abertura), o valor da INU excessiva é de aproximadamente 80% do ano. A INU excessiva resulta na diminuição da INU suficiente.

Ao mesmo tempo, o excesso de sombreamento, que impede a observação do céu, resulta no acréscimo da INU insuficiente, como pode ser observado nos modelos 1A, 1B, 1D.

Em relação aos métodos em análise, observa-se que a proteção M2, para essa orientação, apresenta uma distribuição mais uniforme e maior nível de INU suficiente.

Na FIG. 8, observa-se a classificação do nível de desempenho da iluminação natural (conforme explicitado no item 2.2.1) dos modelos analisados, para a fachada Norte. O PS foi inserido para confrontar o desempenho do sombreamento com o desempenho da iluminação natural.

A hipótese de proteção solar M2, para essa orientação, apresenta o melhor desempenho, com INU suficiente de quase 95% e reduzidos níveis de INU excessiva. Ao contrário da hipótese de proteção M1, que apresentou o pior desempenho para essa orientação. Para a orientação norte, nenhum modelo foi classificado como ruim, 63% dos elementos analisados obtiveram bom desempenho, e 37%, um desempenho regular. Pode-se observar que os modelos 2A, 1C e 7C obtiveram médias de INU suficiente acima de 80%, valores que os colocariam no nível de desempenho bom, porém apresentaram INU excessiva superior a 5%, resultando em um rebaixamento na classificação geral. Ao contrário do modelo 2B, que ascendeu para o nível de desempenho regular por não apresentar INU excessiva. Ao relacionar os resultados expostos neste gráfico com os PS dos modelos, percebe-se que todas as soluções que foram classificadas como regular apresentam PS abaixo do valor utilizado como referência (M2).

A aplicação dessa metodologia nas demais orientações analisadas resultou na TAB. 1. Os modelos apresentaram nível de desempenho bom, com exceção das fachadas leste e noroeste. Nestas o percentual de modelos com nível de desempenho bom ficou abaixo de 50%. Entre os tipos de proteção solar ana-

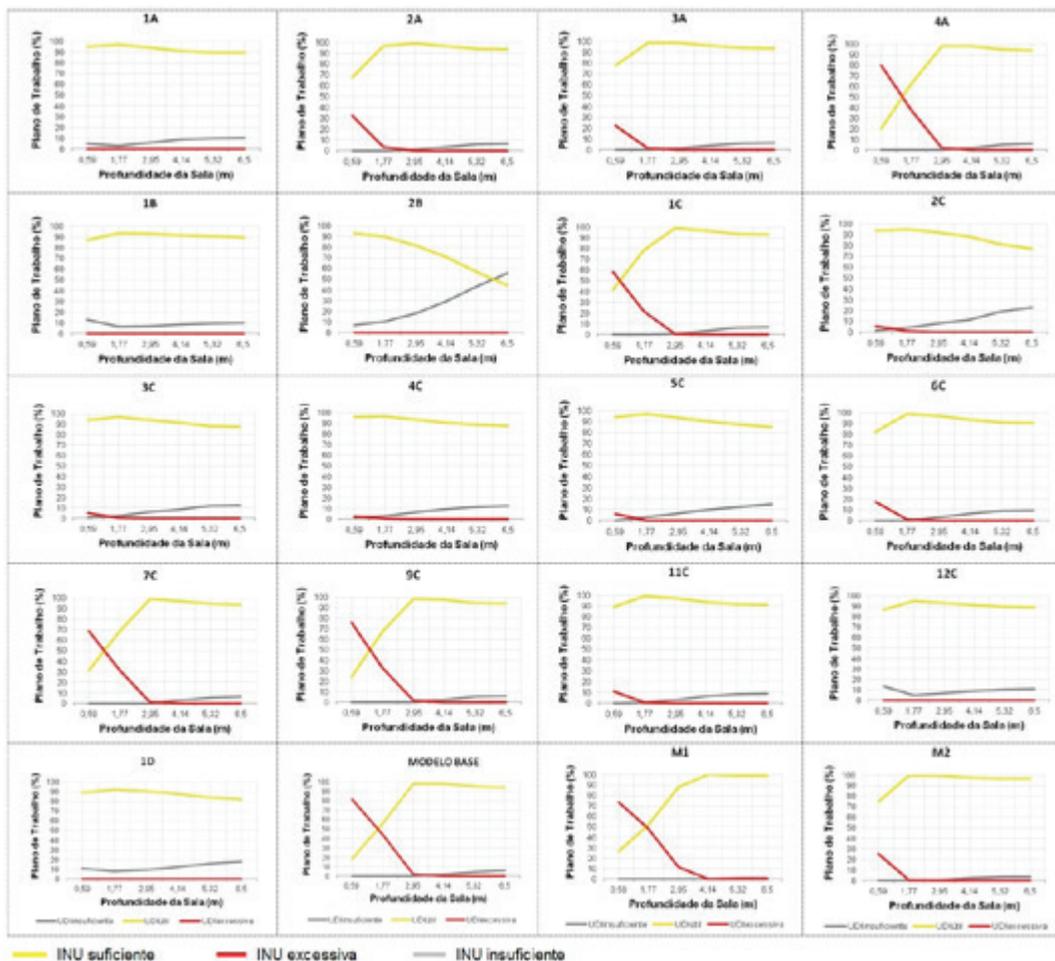


Figura 7 • INU x profundidade da sala: fachada norte

Fonte: Marques, 2012.

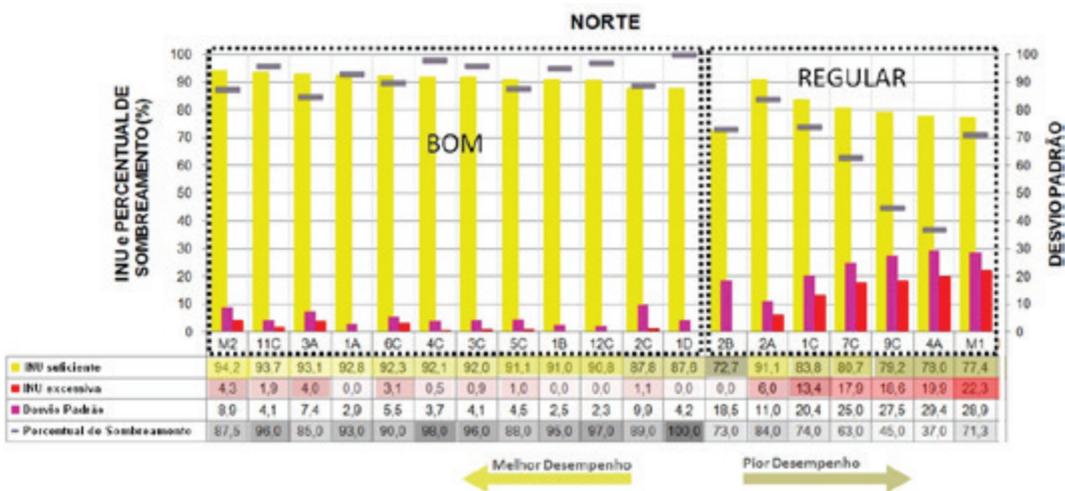


Figura 8 • Classificação da proteção solar de acordo com o desempenho em relação à iluminação natural: fachada norte

Padrões de Arquitetura e Urbanismo, v.21, n.29, 2ª sem. 2014

lisados, o horizontal (beiral ou marquise) obteve melhor resultado nas fachadas norte, nordeste, leste e noroeste. Nas demais orientações, esteve em segundo lugar. Já nas fachadas sudeste e sul, a tipologia mista, composta por elementos verticais e horizontais (mista), apresentou melhor desempenho.

Tabela 1 – Desempenho geral das proteções analisadas

Orientação da fachada	% Modelos com nível de desempenho Bom	% Modelos com nível de desempenho Regular	% Modelos com nível de desempenho Ruim
Norte	63%	37%	0%
Nordeste	52,6%	47,4%	0%
Leste	36,8%	63,2%	0%
Sudeste	57,9%	36,8%	5,3%
Sul	68,4%	31,6%	0%
Noroeste	36,8	57,9%	5,3%

Fonte: Marques, 2012

Discussão

Na FIG. 9, podem ser observadas as medidas PICV, PS e INU – suficiente, excessiva e insuficiente, para cada um dos tipos de proteção solar e orientação considerados.

Destaca-se a relação entre o PICV e o PS no desempenho da iluminação natural, ambos influenciam nas faixas da INU. A influência do PS é mais notável sobre a faixa da INU insuficiente (< 100 lx), já o PICV exerce maior influência na INU excessiva, ou seja, quanto maior o PICV mais elevado o INU excessivo (>2000 lx). Analisando o desempenho do modelo base (sem proteção solar), para as orientações em análise, pode-se observar que a abertura, quando orientada para noroeste (330°), apresentou o pior desempenho, com maior INU excessivo e menor INU suficiente. A fachada orientada para sul apresentou os melhores resultados.

A adoção do mesmo PICV e PS para todas as orientações não garante o mesmo desempenho lumínico, tendo em vista a maior e menor exposição à radiação solar conforme a orientação. Na TAB. 2, encontram-se os limites do PS e PICV identificados nos modelos classificados dentro do nível de desempenho bom, bem como a média desses intervalos. Os PS variaram de 68,3% a 100%, a média no intervalo de 78,5% e 94,3%. O PICV teve variação de 4% a 14,4%, com média entre 6,4% a 9,1%.

Considerações finais

Este trabalho permitiu algumas conclusões úteis ao projeto de elementos de proteção solar. Em relação à eficácia de dois métodos utilizados para identificar o período de necessidade de sombreamento das aberturas (zona de desconforto), aqui denominados de M1 e M2 (ver item 2), e tendo em conta os tipos de proteção solar analisados neste trabalho, as proteções modeladas a partir do método M2 resultaram em melhor desempenho da iluminação natural em 5 das 6 orientações

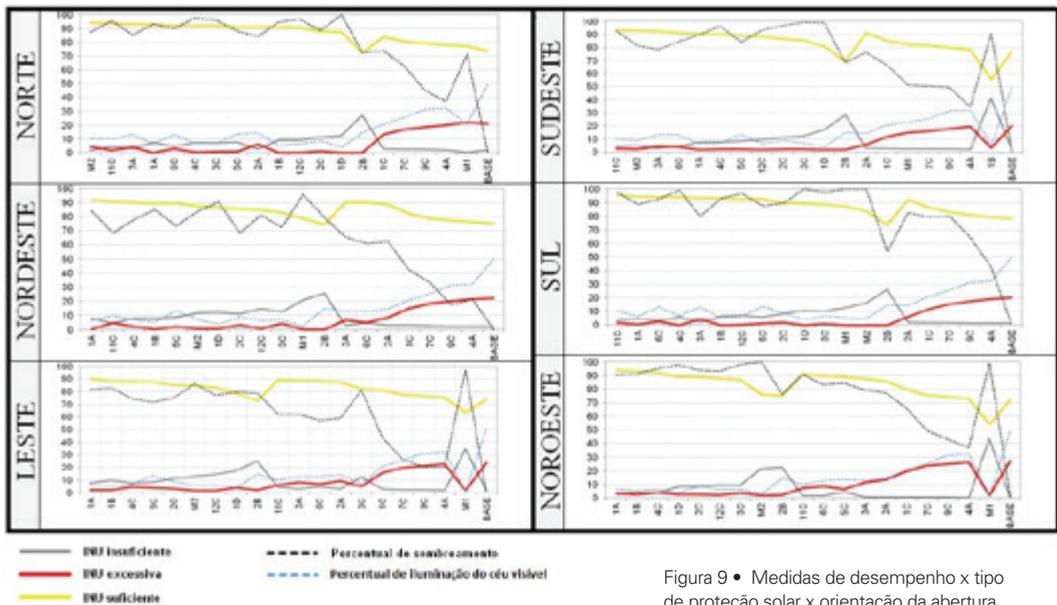


Figura 9 • Medidas de desempenho x tipo de proteção solar x orientação da abertura

Fonte: elaborado pelos autores.

Tabela 2 – PS e PICV nas proteções com nível de desempenho “bom”

	Percentual de sombreamento		Percentual de iluminação do céu visível	
	Intervalo (%) (1)	Média (%) (2)	Intervalo (%) (1)	Média (%) (2)
Norte	84,3 - 100	92,2	4,0 - 14,4	9,1
Nordeste	68,3 - 90,3	78,5	4,0 - 13,6	7,5
Leste	71,8 - 86,2	78,5	5,5 - 13,6	7,6
Sudeste	78,4 - 99,1	90,5	4,0 - 13,6	8,9
Sul	80,0 - 99,9	94,1	4,0 - 13,6	8,0
Noroeste	90,3 - 98,1	94,3	4,0 - 8,8	6,4

(1) Valor mínimo e máximo da medida de desempenho.

(2) Média da medida de desempenho.

estudadas, quando comparadas àquelas construídas a partir do método M1.

Sobre o PS, como medida de desempenho da proteção solar, recomenda-se que essa variável seja utilizada em conjunto com a máscara de sombreamento. A justaposição da máscara de sombreamento com a zona de desconforto (identificada com o M1 e M2) é útil no projeto da proteção solar e possibilita identificar a eficiência do elemento de proteção solar.

A conjunção do PS com o PICV pode ser empregada na classificação do desempenho do elemento de proteção solar, tanto em relação ao sombreamento quanto ao nível de iluminação natural proporcionado no ambiente interno. Constatou-se que, para cada orientação analisada, existem valores ideais para PS e PICV. Esses valores estão associados a ambientes com distribuição da iluminação mais uniforme e maior INU suficiente e, ao mesmo tempo, menores INU excessiva e INU insuficiente. Nos casos analisados, a média do PS esteve no intervalo

78,5% e 94,3%, enquanto o PICV apresentou média no intervalo de 6,4% a 9,1%.

Os tipos de proteção solar, objeto deste trabalho, foram identificados a partir de levantamento de campo. Estes, quando analisados na orientação original do levantamento, resultaram em um percentual de 56,3% com nível de desempenho "bom". As orientações onde essas proteções obtiveram melhores resultados foram nordeste e sul. A orientação com pior desempenho foi a noroeste. Quando a orientação original do levantamento é desconsiderada (todos os tipos de proteção solar são analisados em relação a todas as orientações), a proteção horizontal (beiral ou marquise) obtém melhor resultado nas fachadas norte, nordeste, leste e noroeste. Esse mesmo tipo, nas demais orientações, esteve em segundo lugar. Já nas fachadas sudeste e sul, o tipo composto por elementos verticais e horizontais (misto) apresentou melhor desempenho.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15215-4**: iluminação natural: verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

BITTENCOURT, L. S. **Uso das cartas solares**: diretrizes para arquitetos. Maceió: Edufal, 2004.

BSI. **BS 8206:1**: code of practice for daylighting. London: BSI, 2008.

HESCHONG, L.; LEE, E. S.; MARDALJEVIC, J. Daylight metric and energy savings. **Lighting Research & Technology**, London, n. 3, v. 41, p. 261-283, 2009.

MARDALJEVIC, J.; NABIL, A. Useful daylight illuminance: a new paradigm to access daylight in buildings. **Lighting Research & Technology**, London, n. 1, v. 37, p. 4 1-59, 2005.

MARDALJEVIC, J.; REINHART, C. F.; ROGERS, Z. Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design. **Leukos**, New York, v. 3, p. 7-31, 2006.

MARDALJEVIC, J. Simulation of annual daylighting profiles for internal illuminance. **Lighting Research & Technology**, London, n. 3, v. 32, p. 111-118, 2000.

MARQUES, M. P. P. **Análise da eficiência de elementos de proteção solar em relação ao sombreamento e a iluminação natural**: estudo de caso – salas de aula do Campus da UFPB. 2012. 197f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. Disponível em: <http://btdt.biblioteca.ufpb.br/tde_arquivos/3611/TDE-2014-06-11T082849Z-2517/Publico/arquivototal.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2015.

MARQUES, M. P. P.; LEDER, S. M. Elementos de proteção solar no campus I da UFPB. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14, 2012, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: Associação Nacional de Tecnolo-

gia do Ambiente Construído, 2012.

MARSH, A. J. Solar shading potential. **Natural Frequency**, n. 4, 1 nov. 2007. Disponível em: <<http://naturalfrequency.com/articles/shadingpotential>>. Acesso em: 18 jan. 2010.

OLGYAY, A.; OLGAY, V. **Solar control and shading devices**. New Jersey: Princeton University Press, 1957.

PEREIRA, I. M.; ASSIS, E. S. Avaliação de modelos de índices adaptativos para o uso no projeto arquitetônico bioclimático. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, n. 1, v. 10, p. 31-51, 2010.

PEREIRA, I. M.; SOUZA, R. V. G. Proteção solar em edificações residenciais e comerciais: desenvolvimento de metodologia. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12, 2008, **Anais...** Fortaleza: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2008.

REINHART, C. F.; ANDERSEN, M. Development and validation of a radiance model for a translucent panel. **Energy and Buildings**, n. 7, v. 38, p. 890-904, 2006.

REINHART, C. F.; WALKENHORST, O. Dynamic radiance-based daylight simulations for a full-scale test office with outer venetian blinds. **Energy and Buildings**, London, n. 7, v. 33, p. 683-697, 2001.

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

RODRIGUES, C. M.; DIAS, A. D.; PEDRINI, A. Grandes aberturas, porém sombreadas: análise da caracterização do sombreamento visando a eficiência energética para o clima quente úmido. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11, 2011, Búzios. **Anais...** Búzios: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2011.

ROGERS, Z. **Daylighting metric development using daylight autonomy calculations in the sensor placement optimization tool**. Boulder: Architectural Energy Corporation, 2006. Disponível em: <https://www.daylightinginnovations.com/system/public_assets/original/SPOT_Daylight%20Autonomy%20Report.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2010.

Recebido em 22/09/2014
Aprovado em 05/12/2014