

Análise do potencial luminoso por redirecionamento de elementos de controle de insolação

Analysis of the redirecting luminous potential of solar control devices

Jéssica Müller Carvalho, Mestranda, PósARQ/UFSC

jmullercarvalho@gmail.com

Fernando Oscar Ruttkay Pereira, PhD, PósARQ/UFSC

ruttkay.pereira@ufsc.br

Resumo

Espera-se que os elementos de controle de insolação interceptem a radiação solar direta ao mesmo tempo em que possibilitam a admissão do fluxo luminoso a partir do seu redirecionamento. Esta pesquisa tem como objetivo analisar o potencial luminoso por redirecionamento de elementos de controle de insolação frente ao ambiente térmico e luminoso por meio da elaboração de um método de análise descrito sobre a superfície dos elementos capaz de representar numericamente seu potencial de interceptar e redirecionar a radiação. São propostos dois novos indicadores: o Coeficiente de Radiosidade Ponderado (CRP) e o Potencial Luminoso por Redirecionamento (PLR). O ganho de calor e a admissão e distribuição do fluxo luminoso foram representados por meio do Fator Solar Equivalente (FSE) e do *Annual Light Exposure* (ALE), respectivamente. As simulações computacionais foram realizadas no programa Apolux IV para um conjunto de modelos com variação dos parâmetros geométricos de 01 aleta horizontal aplicada à abertura de orientação norte na cidade de Florianópolis - SC. Os indicadores propostos representaram o fenômeno do redirecionamento da radiação incidente de forma coerente, estabelecendo boa correlação entre os dados de iluminação.

Palavras-chave: Elemento de controle de insolação; Potencial luminoso; Redirecionamento

Abstract

Solar control devices are expected to intercept the direct solar radiation at the same time that they allow the admission of the luminous flux by redirection. This research aims to analyze the redirecting luminous potential of solar control devices concerning thermal and luminous performance through the development of an analysis method described on the device's surface that is capable of numerically representing their potential to intercept and redirect the radiation. New indicators were proposed: the Weighted Radiosity Coefficient (WRC) and the Redirecting Luminous Potential (RLP). The heat gain and the daylight admission and distribution were represented by the Equivalent Solar Factor (ESF) and Annual Light Exposure (ALE), respectively. The computer simulations were run in the Apolux IV program for a set of models varying the geometric parameters of 01 horizontal fin at a north orientation opening located at Florianópolis - SC. The proposed indicators represented the phenomenon of receive and redirect the radiation consistently, once they established a good correlation with the luminous data.

Keywords: Solar control devices; Luminous potential; Redirecting

1. Introdução

As aberturas de um ambiente são capazes de admitir a radiação solar incidente, transmitindo calor e luz ao interior. A aplicação do vidro como sistema de vedação oferece permeabilidade visual, colaborando com a formação de um ambiente melhor conectado às condições climáticas e temporais de seu entorno. Entretanto, o vidro é um material que admite grande fluxo de calor, sendo necessária a adoção de mecanismos de controle.

Em relação às demais soluções para controlar o ganho de calor, o sombreamento projetado sobre as aberturas de uma edificação, interceptando a radiação solar antes de sua incidência direta no ambiente, é a forma mais eficiente de combater o seu efeito para os períodos quentes. Tal sombreamento pode ser produzido, principalmente, por saliências da fachada, prolongamentos de beiral e elementos de controle de insolação externos.

Espera-se dos elementos de controle de insolação um comportamento seletivo da radiação solar, controlando simultaneamente a carga térmica e a admissão de luz natural. Ou seja, devem interceptar a radiação solar direta ao mesmo tempo em que possibilitam a admissão do fluxo luminoso a partir do redirecionamento dessa radiação, contribuindo com a melhor distribuição espacial da luz natural e a redução da probabilidade de desconforto visual. Para atingir um desempenho equilibrado na geração do ambiente térmico e luminoso, o elemento de controle de insolação precisa ser capaz de: a) reduzir o ganho de calor solar interceptando a radiação solar incidente nos períodos adequados e; b) redirecionar parte dessa radiação interceptada em forma de luz ao interior do ambiente para contribuir na geração de iluminâncias satisfatórias.

Embora já se tenha alguma clareza sobre como a forma de um elemento de controle de insolação é capaz de modificar a natureza direcional da radiação direta incidente para a sua admissão de forma indireta, as ferramentas de projeto e análise sobre o desenho desses elementos não estabelecem uma relação direta com a sua forma. Os estudos de iluminação utilizam como referência os resultados obtidos sobre planos de análise e oferecem poucos recursos capazes de direcionar a concepção desses elementos visando o equilíbrio na relação entre o ganho de calor e a admissão de luz natural. Não se trata de encontrar resultados ótimos para ambas as demandas, mas de fornecer ferramentas que auxiliem a projetar no sentido de melhorar essa relação.

Nesse contexto, a pesquisa trata da análise do potencial luminoso por redirecionamento de elementos de controle de insolação por meio da proposição de um método de análise descrito sobre a superfície dos elementos capaz de representar numericamente seu potencial de receber e redirecionar a radiação, possibilitando analisar a contribuição ponto a ponto da superfície para a condição de iluminação do ambiente em contraponto à sua capacidade de controlar o ganho de calor e admitir fluxo luminoso.

2. Revisão de literatura

2.1 Luz natural e sua interação com as superfícies

As fontes de iluminação natural podem ser caracterizadas como diretas (luz direta do sol e luz difusa do céu) e indiretas (luz refletida ou transmitida por superfícies). A luz direta do sol, por ser bastante intensa, pode ser considerada inadequada para iluminar diretamente as

superfícies de trabalho, tornando-se indesejada em projetos de iluminação, e possui significativo papel no ganho de calor solar passivo nas edificações (MOORE, 1991).

A condição de luminosidade em um ambiente é resultado, além das condições externas de brilho do céu e do sol, das condições de visibilidade de cada superfície em relação ao céu, da exposição das superfícies ao sol, da emissão inicial de cada superfície, da visibilidade entre as superfícies do ambiente e das interações sucessivas para redistribuição da energia por meio de interreflexões e transmissões (MOORE, 1991).

Considerando a luz nos termos sequenciais de fonte, caminho e alvo, Moore (1991) estabelece dois modelos conceituais de referência para análise de seu comportamento em fontes pontuais e distribuídas. A análise em casos de fontes distribuídas (abóbada celeste ou superfície refletora) considera a iluminância como sendo o produto da luminância pelo tamanho aparente da fonte em relação ao alvo. Esse, por sua vez, se dá em função do tamanho, distância, inclinação e posição da fonte em relação ao alvo.

Sendo assim, para o caso da iluminação indireta causada por uma superfície refletora, enquanto a luminância máxima dessa superfície é atingida quando a sua normal coincide com a direção de incidência da fonte primária, o seu tamanho aparente em relação ao alvo é maximizado quando a mesma se encontra perpendicular à normal do alvo. Logo, a inclinação ideal para fornecer a iluminação máxima redirecionada pela superfície será a combinação entre as duas condições, conforme ilustrado na figura 1.



Figura 1 - Inclinação ideal de refletor difuso para máxima iluminância do ponto receptor.
Fonte: Adaptado de: Moore (1991).

2.2 Elementos de controle de insolação

Os elementos de controle de insolação podem ser instalados internamente ou externamente à edificação. Quando instalados externamente, geralmente são mais efetivos no controle da luz solar direta e no ganho de calor, pois tratam a radiação solar antes da sua incidência nos envidraçados. Pereira (1992) demonstrou que os elementos de controle de insolação podem melhorar a iluminação natural do ambiente com uma pequena penalização por ganho de calor.

Os elementos de controle de insolação são capazes de controlar simultaneamente a carga térmica e a admissão de luz natural no ambiente. Ao interceptar a radiação solar direta por meio de uma superfície, possibilitam o seu redirecionamento e a admissão de parte do fluxo luminoso refletido. Além disso, a luz solar admitida de forma indireta acaba sendo a mais desejada, por apresentar reduzida probabilidade de ocorrência de ofuscamento, menor ganho de calor e melhor homogeneidade e distribuição em comparação à luz solar direta (OLGYAY e OLGAYAY, 1957; BOGO, 2007).

A superfície dos elementos de controle de insolação tem influência significativa na admissão e uniformidade da distribuição da luz. Quando composto por superfícies horizontais, os elementos podem funcionar como prateleiras-de-luz, fenômeno no qual parte da superfície iluminada pelo sol é, ao mesmo tempo, vista pelo interior do ambiente, refletindo a radiação incidente em forma de luz. Há indicações de que diferentes tipos de elementos de controle de insolação com mesmo ângulo de sombreamento proporcionam diferentes resultados na distribuição da luz natural, variando de acordo com as relações estabelecidas em sua geometria (BOGO, 2007; FELIPPE, 2016).

No final da década de 1950, Olgyay e Olgyay (1957) desenvolveram o primeiro método manual para orientar o dimensionamento dos elementos de controle de insolação baseado na construção de máscaras de sombreamento da abertura sobre a carta solar. Na sequência, métodos mais avançados foram propostos, a exemplo dos estudos de Etzion (1992), Kabre (1999), Kaftan (2001) e Marsh (2003). Recentemente, Sargent, Niemasz e Reinhart (2011) desenvolveram uma nova abordagem chamada de Shaderade, como método computacional, que inovou ao permitir significativa redução no tamanho dos elementos. O método considera o sombreamento parcial das aberturas e fornece contornos mais aproximados da desejabilidade por aquecimento ou resfriamento, com avaliações sobre qualquer volume ou superfície de sombreamento.

2.3 Métodos e ferramentas de análise da insolação

Os métodos mais utilizados para estudar a insolação são as medições em ambientes reais, as medições em escala reduzida (maquetes) e as simulações computacionais. As medições em ambientes reais, no geral, tendem a ser voltadas à avaliação do conforto visual, com resultados finais da condição de iluminação. Pereira (1992) destaca como vantagem da utilização de maquetes, entre outras, a possibilidade de realizar avaliações qualitativas por observação direta ou fotografias. A simulação computacional, por sua vez, é cada vez mais frequente na avaliação da iluminação, sendo o método mais difundido atualmente pela possibilidade de avaliação quantitativa de todo o fenômeno e pela disponibilidade de realizar análises dinâmicas espaciais e temporais.

Os resultados das simulações podem ser analisados por meio de valores absolutos da radiação incidente ou com o auxílio de indicadores de desempenho, que expressam condições específicas em porcentagem, facilitando a interpretação do conjunto de dados anuais. Os valores absolutos de radiação incidente podem ser analisados por meio do *Annual Light Exposure* (ALE), indicador de desempenho já estabelecido para auxiliar no projeto de espaços que contêm obras de arte sensíveis à luz. O ALE é definido pelos valores acumulados de iluminância incidente ao longo do ano sobre o plano de análise, expresso em lux hora por ano (CIE, 2004). Para análises de iluminação por meio de porcentagem de ocorrência, alguns dos indicadores utilizados são o *Daylight Autonomy* (DA), adaptado por Reinhart e Walkenhorst (2001), e o *Useful Daylight Illuminance* (UDI), proposto por Nabil e Mardaljevic (2005), expressos em porcentagem. Recentemente, Felipe (2016) propôs a utilização do Fator Solar Equivalente (FSE), que expressa o potencial de admissão da radiação solar incidente no plano de uma abertura com o emprego de elementos de controle de insolação.

Os programas Ecotect e Energyplus são amplamente aceitos como um método de análise de insolação e o Diva (extensão do Rhinoceros 3D) atualmente lidera o caminho para o desenvolvimento de programas computacionais de iluminação natural. Programas nacionais também estão sendo largamente reconhecidos por seus resultados bastante confiáveis, como o programa TropLux (CABÚS, 2020), desenvolvido na Universidade Federal de Alagoas, e o programa Apolux (CLARO, 2020), desenvolvido no Laboratório de Conforto Ambiental (LabCon) da Universidade Federal de Santa Catarina.

O programa Apolux, adotado para o desenvolvimento da pesquisa, realiza cálculos de Visibilidade, Radiosidade, Coeficientes de Luz Natural (CLN), Estimativa Anual de Luz Natural (EALN) e Potencial de Exposição ao Sol (PES). O cálculo da EALN pode ser executado através da radiosidade plena ou pelos métodos intermediários de cálculo chamados de Coeficientes de Luz Natural (CLN), sendo eles: a) Pelas direções da abóbada, no qual a radiosidade é calculada pelo *Daylight Coefficient* (DLC); e b) Pelos vértices do projeto, no qual a radiosidade é calculada pelo Coeficiente de Radiosidade (CR).

O DLC, proposto por Tregenza e Waters (1983), representa quanto da luminosidade de uma dada direção da abóbada celeste corresponde à iluminância resultante em cada ponto do plano de análise. De forma similar, o CR, proposto por Claro (2015) e utilizado exclusivamente pelo programa Apolux, representa a relação entre a quantidade de luz que parte de um determinado ponto em uma superfície emissora e a que chega a cada ponto do plano de análise. O cálculo do CR expressa, também, a contribuição do tamanho aparente da área de influência de cada ponto e a sua relação com as demais superfícies do ambiente.

2.4 Considerações sobre a revisão de literatura

Os elementos de controle de insolação podem contribuir significativamente para a melhora da admissão e da distribuição da iluminação natural no ambiente, principalmente pela sua capacidade de reduzir o ganho de calor e possibilitar o redirecionamento da radiação interceptada para iluminar o interior do ambiente. Diversos métodos de projeto foram desenvolvidos ao longo dos anos no sentido de projetar elementos cada vez mais otimizados para o controle da radiação incidente no ambiente. Entretanto, existe uma lacuna em relação a análises capazes de desconstruir o fenômeno físico que ocorre nas superfícies desses elementos que modifica a natureza direcional da radiação solar incidente ao ponto de contribuir com o ambiente luminoso, permitindo o desenvolvimento de um parâmetro de desempenho associado ao sistema de controle de insolação.

3. Método

Nesta seção estão descritos os conceitos e métodos para análise do potencial luminoso por redirecionamento de elementos de controle de insolação na geração do ambiente térmico e luminoso por meio de simulações computacionais realizadas com o programa Apolux IV. Para tanto, foi necessária a definição de critérios de desempenho e medidas de avaliação, conforme descritos na tabela 1. Para a análise do comportamento das superfícies foram propostos dois novos indicadores, denominados de Coeficiente de Radiosidade Ponderado (CRP) e Potencial Luminoso por Redirecionamento (PLR).

Tabela 1 - Critérios de desempenho e medidas de avaliação adotadas.

Critérios de Desempenho	Medidas de Avaliação	Plano de referência
Potencial luminoso por redirecionamento	CRP e PLR	Elemento
Ganho de calor	FSE	Vidro
Admissão e distribuição do fluxo luminoso	ALE e UD	Plano de Trabalho

3.1 Análise do potencial luminoso por redirecionamento

O potencial luminoso por redirecionamento de uma superfície depende de suas condições de exposição em relação às fontes de radiação e em relação ao alvo. Assim sendo, o método proposto tem como objetivo representar numericamente o potencial de quanto um elemento de controle de insolação pode receber de radiação direta do sol e difusa do céu e quanto dessa radiação pode ser redirecionada para um plano de análise.

As condições de exposição do elemento de controle de insolação ao plano de análise foram analisadas por meio do Coeficiente de Radiosidade (CR), que representa o percentual de quanto da energia luminosa incidente em cada vértice de uma superfície chegará ao plano de análise. A distribuição final do fluxo luminoso depende, ainda, do potencial de quanto cada vértice poderá receber de luz das fontes externas de radiação, aqui consideradas como a radiação direta do sol e a radiação difusa do céu, que foram analisadas por meio da porcentagem de visibilidade do céu (VisCéu) e da porcentagem de horas de incidência direta do sol (HorSol).

Para representar numérica e espacialmente a combinação de ambas as condições de exposição (fonte e alvo), foi proposto o Coeficiente de Radiosidade Ponderado (CRP), calculado de forma individual para a condição de exposição ao céu e ao sol, denominados de CRP_c e CRP_s , de acordo com as equações (1) e (2) para cada vértice da superfície.

$$CRP_c = CR \times VisCéu \quad (1)$$

Sendo:

CRP_c - Coeficiente de Radiosidade Ponderado pela visibilidade do céu [%];
 CR - Coeficiente de Radiosidade [%]; $VisCéu$ - Porcentagem de visibilidade do céu [%].

$$CRP_s = CR \times HorSol \quad (2)$$

Sendo:

CRP_s - Coeficiente de Radiosidade Ponderado pela visibilidade do sol [%];
 CR - Coeficiente de Radiosidade [%]; $HorSol$ - Porcentagem das horas de sol direto incidente em relação ao total de horas com sol simuladas [%].

Para a classificação geral do potencial luminoso por redirecionamento do elemento, foi proposta a utilização do indicador denominado de Potencial Luminoso por Redirecionamento (PLR), composto pela multiplicação do CRP de cada vértice pelo valor de 1 lx em somatória, conforme a equação (3), sendo denominado de PLR_c para dados do céu e PLR_s para dados do sol. O PLR representa, então, o potencial total de quanta energia luminosa o elemento pode receber das fontes de radiação e redirecionar para qualquer ponto de um plano de análise. Vale salientar que a resultado final de iluminação dependerá das condições de brilho do céu e do sol, não consideradas por esse indicador.

$$PLR = \sum(CRP \times 1) \quad (3)$$

Sendo:

PLR - Potencial Luminoso por Redirecionamento [lx]; *CRP* - Coeficiente de Radiosidade Ponderado [%];

O potencial de ganho de calor foi estimado pelo FSE, conforme descrito por Felipe (2016), representando a porcentagem do fluxo radiante incidente que atravessa o elemento de controle de insolação. O fluxo radiante incidente foi calculado para cada vértice do plano do vidro nas condições sem obstrução e obstruído, estabelecendo a razão entre as incidências de acordo com a equação (4). Os valores de fluxo luminoso incidente (ALE) foram convertidos em fluxo radiante incidente para aplicação no FSE por meio da equação (5), considerando $\eta = 112 \text{ lm/W}$.

$$FSE = \left(\frac{\sum I_{obstruído} \times 100}{\sum I_{sem\ obstrução}} \right) \quad (4)$$

Sendo:

FSE - Fator solar equivalente [%]; *I* - Fluxo radiante incidente [kW/m^2].

$$I = \frac{E}{\eta} \quad (5)$$

Sendo:

I - Fluxo radiante incidente [kW/m^2]; *E* - Fluxo luminoso incidente [klm/m^2]; η - Eficácia luminosa [lm/W].

O potencial de admissão do fluxo luminoso foi analisado pelo valor médio da iluminância anual total (ALE) obtida sobre o plano de trabalho. Por fim, a distribuição do fluxo luminoso foi representada pelo índice de Uniformidade de Distribuição (UD) aplicado sobre os valores de ALE obtidos nos vértices pertencentes ao eixo longitudinal central do plano de trabalho, de acordo com a equação (6).

$$UD = \left(\frac{ALE_{mínimo}}{ALE_{médio}} \right) \quad (6)$$

Sendo:

UD - Índice de Uniformidade de Distribuição; *ALE* - *Annual Light Exposure* [klux.h].

Para as simulações, adotou-se um ambiente padrão de 3 m de largura por 6 m de profundidade, com pé direito de 3 m de altura e um plano de análise horizontal (plano de trabalho) situado a 75 cm do piso. Toda a fachada norte foi considerada aberta ao exterior com aplicação de elemento de controle de insolação do tipo horizontal com 01 aleta, variando seus parâmetros geométricos de: altura de instalação (*h*), profundidade (*p*) e inclinação (*i*) da aleta (figura 2). O conjunto de modelos para simulação foi definido conforme descrito na tabela 2.

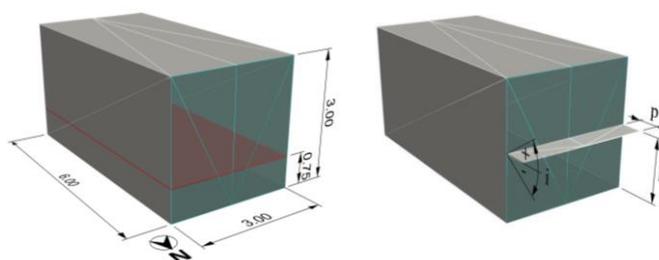


Figura 2 - Ambiente padrão e parâmetros geométricos.

Tabela 2 - Modelos para simulação.

Grupo de análise	Modelo	Altura (h) [m]	Profundidade (p) [m]	Inclinação (i) [°]
Modelo Base	Mod-Base	1,50	0,50	0
Grupo 01	Mod-01-A	2,00	0,50	0
	Mod-01-B	1,00	0,50	0
Grupo 02	Mod-02-A	1,50	0,25	0
	Mod-02-B	1,50	1,00	0
Grupo 03	Mod-03-A	1,50	0,50	+ 30
	Mod-03-B	1,50	0,50	- 30

No que se referente às propriedades físicas dos modelos, todas as superfícies foram classificadas como opacas difusoras e a refletância média das paredes, piso, teto e elementos de controle de insolação foram definidas em 50%, 20%, 70% e 60%, respectivamente, com base na NBR ISO/CIE 8995 (ABNT, 2013). Os níveis do vidro e do plano de trabalho foram calculados como planos de análise e não apresentam propriedades físicas. A área máxima de fracionamento foi definida em 0,10 m² e o fator de divisão das superfícies dos elementos de controle foi alterado para 16.

Sobre a superfície do elemento, foram extraídos os dados de CR, VisCéu e HorSol. Para o desenvolvimento da pesquisa, uma versão especial do programa Apolux foi elaborada e adaptada pelo desenvolvedor do programa para extrair os dados referentes ao cálculo do CR em formato de arquivo de texto. Os dados de VisCéu foram obtidos pelo cálculo de Visibilidade e representam a porcentagem em relação aos valores de fator de céu, os quais contém um intervalo numérico entre 0 e 3,14, equivalendo a 0% e 100%. Os dados de HorSol foram obtidos pelo cálculo da EALN. E, sobre os planos de análise (vidro e plano de trabalho), foram extraídos os dados de ALE pelo cálculo da EALN.

Os parâmetros de entrada para as simulações de iluminação foram definidos conforme descritos na tabela 3 para a cidade de Florianópolis, SC, com base no arquivo bioclimático BRA_FLORIANOPOLIS838990_SWERA.epw.

Tabela 3 - Parâmetros de simulação no Módulo Fóton.

Cálculo	Parâmetro	Definição
Visibilidade	Globo	Globo 6
	Modo de Cálculo	Simplex
Coeficiente de Radiosidade (CR)	Ciclos de radiosidade	20
	Refletância média do solo	0%
Estimativa Anual de Luz Natural (EALN)	Intervalo de horas	8h - 18h

3.2 Processamento e análise dos resultados

O processamento dos resultados da simulação foi realizado com o programa de edição de planilhas Microsoft Office Excel e o mapeamento espacial dos mesmos por meio da ferramenta de extensão Grasshopper do programa de modelagem Rhinoceros 3D.

Ambos os coeficientes propostos (CRP e PLR) representam o fenômeno de recepção e redirecionamento da energia luminosa pela superfície para o plano de trabalho, não tendo relação com a radiação que incide de forma direta no ambiente. Logo, sua aplicabilidade será verificada em relação aos resultados obtidos sobre a radiação redirecionada pelo elemento e incidente no plano de trabalho. Os demais dados sobre ganho de calor e admissão e distribuição do fluxo luminoso foram calculados para possibilitar a análise geral de seu comportamento.

4. Resultados e discussões

Inicialmente, estão apresentados os resultados para o modelo base (Mod-Base) obtidos sobre a superfície do elemento de VisCéu, HorSol, CR, CRP_c e CRP_s na sua disposição espacial (figura 3), a fim de possibilitar a análise do comportamento de cada condição de exposição separadamente. Posteriormente, estão apresentados a disposição espacial dos resultados de CRP_c e CRP_s para os grupos de análise (figura 4) e os dados gerais de PLR, FSE, ALE médio e UD estão apresentados de forma gráfica (figura 5).

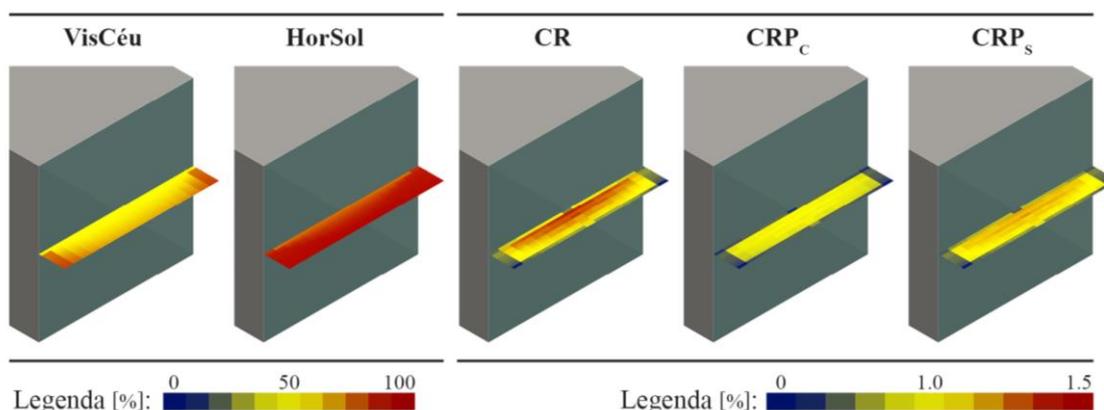


Figura 3 - Distribuição espacial VisCéu, HorSol, CR, CRP_c e CRP_s para o Mod-Base.

A partir da análise da figura 3 foi possível observar a tendência das áreas mais externas do elemento em obter maior visibilidade de ambas as fontes externas de radiação (VisCéu e HorSol), enquanto o CR demonstrou uma tendência oposta para a relação de visibilidade com o interior, obtendo na área central interna, próxima da abertura, o maior potencial de troca radiante com o plano de trabalho. A combinação de ambas as condições por meio do CRP resultou em um comportamento mais homogêneo ao longo da superfície do elemento, com uma predominância para os maiores valores na área central interna da superfície.

A Figura 4 apresenta a distribuição espacial dos resultados de CRP_c e CRP_s sobre a superfície do elemento para os modelos dos grupos de análise, e nos permite analisar a variação de seu comportamento para cada configuração.

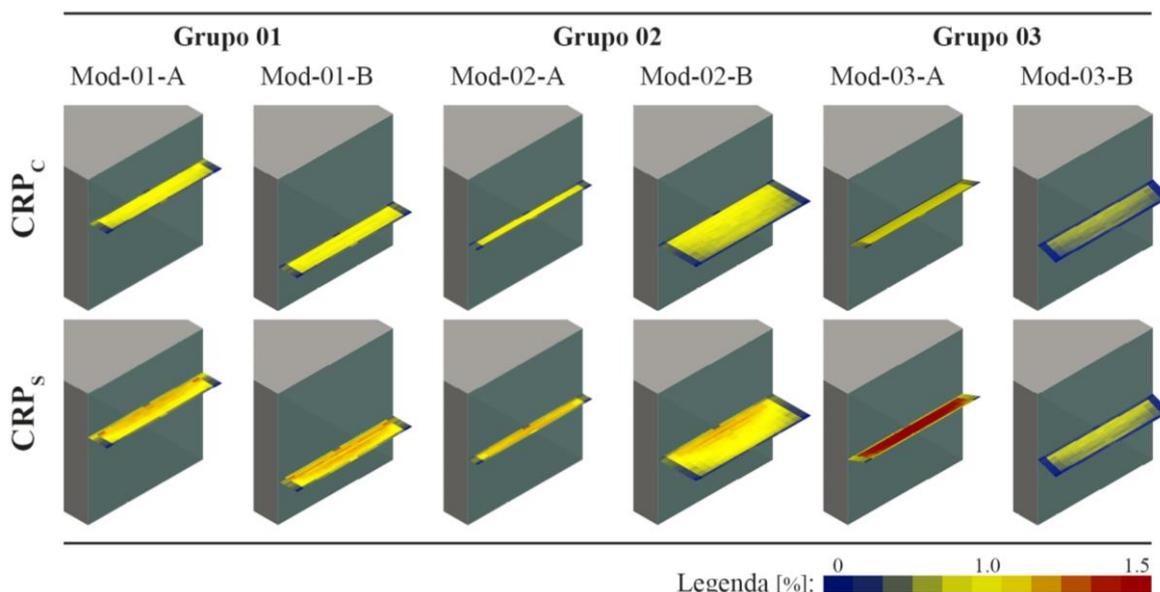


Figura 4 - Distribuição espacial CRPc e CRPs sobre a superfície do elemento.

Os resultados ilustrados na figura 4 demonstraram que a variação da altura dos elementos (Grupo 01) apresentou uma pequena variação para a distribuição dos coeficientes. A alteração da profundidade dos elementos (Grupo 02) não alterou a distribuição espacial dos coeficientes, mas sim o recorte sobre o comportamento que se manteve constante ao longo de um mesmo plano. A rotação da superfície (Grupo 03), por sua vez, obteve a maior influência sobre ambos os coeficientes. A inclinação positiva do elemento (Mod-03-A) resultou nos maiores valores para o CRP_c e o CRP_s e a inclinação negativa (Mod-03-B) nos menores resultados para ambos os coeficientes, comportamento já esperado, conforme colocado na revisão de literatura, e constatado pelos indicadores.

Os gráficos da figura 5 apresentam os resultados para PLR, FSE, ALE e UD para todos os modelos simulados. Os dados relativos à radiação incidente (FSE e ALE) foram divididos, ainda, nas parcelas de: radiação total incidente (tot); radiação direta incidente (dir); e radiação redirecionada pelo elemento (red).

Os valores obtidos para o PLR_c e o PLR_s apresentaram correlação com os valores de ALE_{red} respectivamente de 0,99 e 0,92, demonstrando a aplicabilidade dos indicadores propostos para representar o potencial luminoso por redirecionamento do elemento.

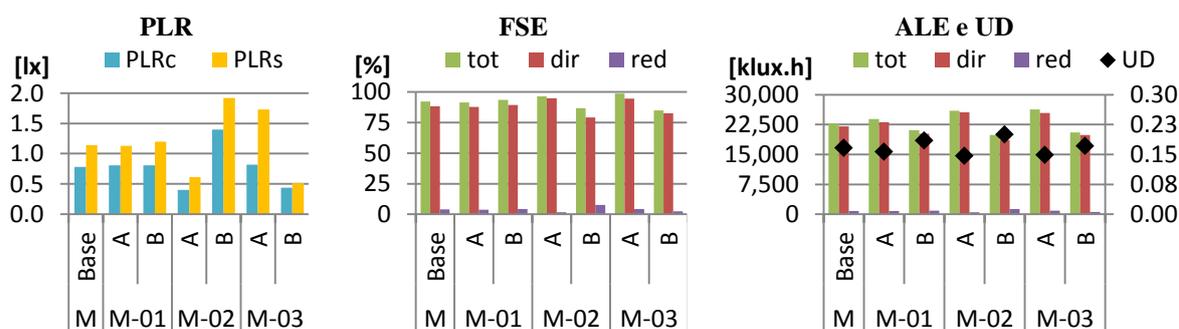


Figura 5 - Gráficos de PLR, FSE, ALE e UD.

A partir da análise dos gráficos foi possível constatar que o modelo com maior PLR, o Mod-02-B, apresentou, simultaneamente, a maior admissão da parcela redirecionada de radiação tanto para o FSE quanto para o ALE. Sendo o PLR a somatória dos resultados de CRP obtidos sobre superfície do elemento, quanto maior a área de um elemento, maior tende a ser a sua contribuição para o redirecionamento da radiação. Logo, embora o Mod-03-A tenha apresentado os maiores valores de CRP distribuídos espacialmente, a maior área de superfície do Mod-02-B prevaleceu para resultar nos melhores valores de PLR.

Os valores elevados de FSE e o ALE totais e diretos em todos os modelos representam a baixa influência do elemento proposto para o controle de ganho de calor e admissão do fluxo luminoso. Ainda assim, é possível notar uma redução tanto no ganho de calor quanto na admissão do fluxo luminoso para o elemento com maior área de superfície (Mod-02-B) e para o modelo com a superfície voltada para a fonte (Mod-03-B).

5. Considerações finais

O presente trabalho se propôs a analisar o potencial luminoso por redirecionamento dos elementos de controle de insolação a partir da construção dos indicadores de Coeficiente de Radiosidade Ponderado (CRP) e de Potencial Luminoso por Redirecionamento (PLR), com objetivo de representar numericamente o potencial da superfície do elemento em receber e redirecionar o fluxo luminoso para o interior do ambiente.

Os resultados das simulações reafirmaram, conforme colocado por Moore (1991), que quanto maior a área aparente de uma superfície em relação à fonte, maior a energia interceptada e emitida pela mesma. Assim como, que para fornecer o máximo de iluminação redirecionada a um alvo, essa superfície precisa estabelecer um equilíbrio entre a sua condição de exposição em relação às fontes de radiação e ao alvo. A condição de exposição às fontes (céu e sol) foram representadas pelos dados de VisCéu e HorSol e a condição de exposição ao alvo foi representada pelo CR.

O CRP representou a distribuição espacial da combinação de ambas as condições de exposição sobre a superfície, permitindo a identificação das regiões centrais e próximas da abertura como as de maior contribuição para a iluminação do ambiente interno. Por sua vez, o PLR representou o potencial luminoso por redirecionamento do elemento como um todo e permitiu identificar, dentre as variações propostas para o elemento, que o aumento de área da superfície receptora (Mod-02-B) e a sua inclinação em direção ao ambiente interno (Mod-03-A) obtiveram as maiores contribuições para a iluminância redirecionada para o plano de trabalho.

Ambos os indicadores, CRP e PLR, representaram de forma coerente o fenômeno físico da interceptação e redirecionamento da radiação solar pelas superfícies, demonstrando seus potenciais para incorporação como parâmetros de desempenho em estratégias de projeto que visem à concepção de elementos de controle de insolação com melhores resultados para a admissão e a distribuição da energia luminosa em contraponto à capacidade do elemento em controlar o ganho de calor solar.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES e ao CNPq - Brasil (Processo No 307179/2016-8) pelas bolsas e recursos financeiros aplicados no desenvolvimento deste estudo.

Referências

- BOGO, A. J. Método para avaliação da admissão de luz natural através de aberturas com elementos de controle solar. 2007. 308p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2007.
- CABÚS, R. TROPLUX: Projeto, cálculo e análise de eficiência da iluminação natural e artificial, 2020. Disponível em: <https://ctec.ufal.br/grupospesquisa/grilu/?page_id=61>. Acesso em: 03 fev. 2020.
- CIE. 2004. Control of Damage to Museum Objects by Optical Radiation. Commission International de l'Eclairage. Division 3 TC-22. Vienna (Austria): CIE 157: 2004.
- CLARO, A. Método para determinação da estimativa anual de luz natural utilizando o modelo vetorial esférico para radiosidade. 2015. 165p. Tese (Progressão a Professor Titular) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2015.
- CLARO, A. APOLUX IV: Projeto, cálculo e análise de eficiência da iluminação natural e artificial, 2020. Disponível em: <<http://foton.arq.ufsc.br>>. Acesso em: 03 fev. 2020.
- ETIZION, Y. An Improved Solar Shading Design Tool. Building and Environment, v. 27, n. 3, p. 297-303, 1992.
- FELIPPE, A. R. Desempenho luminoso e energético de vidros de controle solar e dispositivos de sombreamento. 2016. 193p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2016.
- KABRE, C. WINSHADE: A computer design tool for solar control. Building and Environment, v. 34, p. 263-274, 1999.
- KAFTAN, E. The cellular method to design energy efficient shading form to accommodate the dynamic characteristics of climate. Conference proceedings. XVIII PLEA. Florianópolis. 2001. p. 829-833.
- MARSH, A. J. Computer optimized shading design. Building Simulation. International Building Performance Simulation Association (IBPSA). Eindhoven. 2003. p. 831-837.
- MOORE, F. Concepts and Practice of Architectural Daylighting. Nova York: Van Nostrand Reinhold, 1991.
- NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. Useful Daylight Illuminance: A New Paradigm for Assessing Daylight in Buildings. Lighting Research & Technology, v. 37, p. 41-57, 2005.
- OLGYAY, A.; OLGAY, V. Solar Control and Shading Devices. Princeton: Princeton University Press, 1957.
- PEREIRA, F. O. R. Luminous and thermal performance of window shading and sunlighting reflecting devices. 1992. 310p. Tese (Doutorado em Filosofia) - School of Architectural Studies, University Of Sheffield. Sheffield. 1992.
- REINHART, C. F.; WALKENHORST, O. Validation of dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a test office with external blinds. Energy and Buildings, v. 33, n. 7, p. 683-697, 2001.
- SARGENT, J. A.; NIEMASZ, J.; REINHART, C. F. SHADERADE: Combining rhinoceros and energyplus for the design of static exterior shading devices. Building Simulation 2011. XII Conference of International Building Performance Simulation Association. Sydney, Australia. 2011. p. 310-317.
- TREGENZA, P. R.; WATERS, I. M. Daylight coefficients. Lighting Research and Technology, v. 15, n. 2, p. 65-71, 1983.