

SOMBREAMENTO E ILUMINAÇÃO NATURAL: DESEMPENHO DE PROTEÇÕES SOLARES EM EDIFICAÇÕES NO CAMPUS-UFCG

Raoni Venâncio (1); Pollyanna Padre (2)

(1) Arquiteto, Doutor, Professor do Curso de Arquitetura e Urbanismo da UFCG, raoni_vsl@yahoo.com.br

(2) Estudante do Curso de Arquitetura e Urbanismo (bolsista PIBIC), pollyannapadre@hotmail.com
Campina Grande/PB - Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Civil,
Curso de Arquitetura e Urbanismo, Grupo d-Solar, R. Aprígio Veloso, 882, Bairro Universitário

RESUMO

Este trabalho confronta duas estratégias de projeto que podem ser conflitantes entre si: a necessidade de sombrear janelas e, através de suas superfícies envidraçadas, permitir bom aproveitamento de iluminação natural. A pesquisa investigou o desempenho de proteções solares típicas (encontradas no Campus UFCG) e hipotéticas (modificadas a partir da manipulação de suas propriedades para atingir desempenho aceitável). Foram usadas ferramentas de simulação computacional para avaliar a eficiência do sombreamento da abertura e o aproveitamento do potencial de iluminação natural. Na primeira etapa de simulação, as proteções solares e janelas encontradas no Campus foram classificadas em tipos. O desempenho do sombreamento dos casos típicos foi verificado em cartas solares com máscaras de sombras gradientes, produzidas no Autodesk Ecotect. Dois critérios de desempenho de sombreamento são usados: a proteção solar deve bloquear mais de 70% da radiação entre 8h00 e 16h00 horas e bloquear menos de 30% do restante da abóbada celeste. Os dois parâmetros de desempenho levaram à produção de soluções hipotéticas, geradas a partir da necessidade de melhorar o desempenho das proteções típicas. Apenas os casos considerados de bom desempenho foram investigados na segunda fase da pesquisa, que trata da iluminação natural. O programa Dialux foi usado para se avaliar aspectos de desempenho de iluminação natural. Também foram produzidos casos hipotéticos que, embora sejam equivalentes em termos de sombreamento, buscam melhorar o alcance da zona passiva através do uso de superfícies refletoras. Os resultados sugerem uma considerável redução das iluminâncias internas quando se adota uma proteção solar – mesmo que seja corretamente dimensionada. Contudo, o desempenho pode ser influenciado pelas alturas da janela e do peitoril, bem como pelo uso da proteção solar como elemento refletor.

Palavras-chave: proteções solares, sombreamento, iluminação, simulação.

ABSTRACT

This paper confronts two design strategies that can be conflicting between each other: the need to shade windows and, through its glazed surfaces, allow good daylight use. The research investigated the performance of typical shading devices (found on the UFCG Campus) and hypothetical (modified by the manipulation of its properties to achieve an acceptable performance). Simulation tools were used to evaluate the efficiency of window shading and daylight use. In the first simulation stage, shading devices and windows were grouped in types. The shading performance was assessed by gradient shadow masks plotted on sun path diagrams, calculated using Autodesk Ecotect. Two shading performance criteria were used: the shading device should block at least 70% of the direct solar radiation between 8am and 4pm and block less than 30% of other areas of the sky dome. Both parameters led to the development of hypothetical solutions, which were generated based on the need to improve the performance of typical shading devices. Only the cases with acceptable performances were investigated further in the second stage, which deals with daylight assessments. The Dialux tool was used to evaluate daylight performance. We also produced hypothetical cases that, even though have similar shading performances, aim to improve the passive zone through the use of reflective surfaces. Results suggest a considerable reduction of internal daylight levels when there is a shading device – even if it is properly sized. However, the performance can also be influenced by the height of window and sill, and by the use of the shading device as a reflective element.

Key-words: shading devices, shading, daylight, simulation.

1. INTRODUÇÃO

A correta adequação do edifício às condicionantes ambientais externas é certamente um dos princípios mais básicos da arquitetura. Assim, a identificação dos recursos que devem ser aproveitados ou evitados (radiação solar, ventilação natural, iluminação natural, oscilações de temperatura, etc.) depende do correto entendimento das exigências humanas frente ao contexto climático.

Contudo, muitas das decisões de projeto a serem tomadas apresentam implicações que podem afetar outros critérios de desempenho. É o caso do sombreamento e iluminação de aberturas. Em climas tropicais, a incidência de radiação solar durante o ano é considerável. Conseqüentemente, o sombreamento de aberturas é uma decisão muito relevante, pois busca minimizar os ganhos de calor pela incidência de radiação direta nos ambientes. O aproveitamento do potencial de iluminação natural, por sua vez, requer desobstrução da abertura – exposição da janela à abóbada celeste. Em tese, como o sombreamento tem como premissa sempre bloquear parte da abóbada celeste, poderia se concluir que o sombreamento necessariamente compromete a iluminação.

Apesar do aparente conflito, os dois critérios são convergentes até certo ponto. O desempenho de uma proteção solar para determinada abertura depende do bloqueio à incidência da radiação solar direta. Em termos de qualidade de iluminação, essa radiação (chamada ‘luz direta’) também não é desejável, pois pode provocar ofuscamento e aumento de contrastes (Lawrence Berkeley National Laboratory, 1997). O aproveitamento da iluminação natural requer exposição de áreas da abóbada celeste que não coincidem com o percurso solar anual.

Assim, os dois critérios de desempenho apenas se tornam conflitantes quando o sombreamento é superdimensionado. Nesse caso, há um bloqueio de áreas da abóbada celeste a partir das quais não existem ganhos de radiação direta. Dessa forma, além de não contribuir para um melhor desempenho térmico, o aproveitamento da iluminação proveniente dessas áreas do céu é comprometido.

Considerando a relativa complexidade de integração entre os dois critérios sem o uso de ferramentas de simulação e a limitada familiaridade dos arquitetos com estudos quantitativos (BAY, 2001), acreditamos que o estudo sobre o desempenho lumínico de aberturas bem protegidas da radiação direta pode fornecer respaldo para que se evite o projeto de proteções solares superdimensionadas.

Por considerar importante que as instituições de ensino apliquem na prática aquilo que elas se propõem a ensinar – correto aproveitamento dos recursos naturais na arquitetura -, esta pesquisa será realizada no contexto da UFCG, Universidade Federal de Campina Grande, localizada no interior da Paraíba, na região do semiárido nordestino.

Com o intuito de alimentar o processo de projeto dos arquitetos responsáveis pelos projetos de futuras edificações na instituição, esta pesquisa trata de dois aspectos essenciais para se projetar no contexto do clima semiárido:

- Sombreamento de aberturas: grande parte dos ganhos de calor no interior dos ambientes incide na forma de radiação direta, através de aberturas. Assim, o sombreamento das aberturas é uma das estratégias mais básicas para o clima em questão e pode tanto maximizar a possibilidade de conforto térmico (no caso de edificações ventiladas naturalmente), como reduzir o consumo energético (ar condicionado e ventiladores).

- Iluminação natural: sabe-se que a iluminância externa nas cidades brasileiras é abundante (ARAÚJO, 2012). Contudo, dependendo de como é feito o projeto das proteções solares, esse potencial de iluminação natural pode ser drasticamente reduzido. Com a redução do aproveitamento da iluminação natural, pode haver também aumento do consumo energético. Por outro lado, uma proteção solar subdimensionada pode maximizar a ocorrência de ofuscamento e altos níveis de contraste, provocados pela incidência da luz direta.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é investigar desempenho térmico e lumínico de proteções solares típicas e hipotéticas no contexto de edificações administrativas e institucionais do Campus UFCG-CG com o uso de simulação computacional, com o intuito de fornecer suporte para o projeto de futuras edificações ou reformas.

3. MÉTODO

A pesquisa adota parâmetros quantitativos de comparação de desempenho de proteções solares com base em soluções típicas encontradas no Campus/UFCG e soluções hipotéticas, propostas a partir da melhoria do desempenho das soluções típicas. Para tanto, as seguintes etapas foram realizadas:

1. Levantamento de campo

2. Simulações de sombreamento: típicas e hipotéticas
3. Simulações de iluminação natural: típicas e hipotéticas

Os dados coletados em edificações no Campus buscam caracterizar casos típicos e alimentar os modelos de simulação. Considerando que dois aspectos são avaliados (sombreamento e iluminação), foram adotadas ferramentas com licenças educacionais gratuitas e que pudessem fornecer os resultados esperados. A análise de sombreamento baseia-se em resultados calculados geometricamente (carta solar, dentre outros recursos). No tocante à análise de iluminação, o principal resultado esperado é baseado na distribuição de iluminâncias internas – a partir da qual se podem obter dados de uniformidade e alcance da zona passiva.

3.1. Levantamento de campo

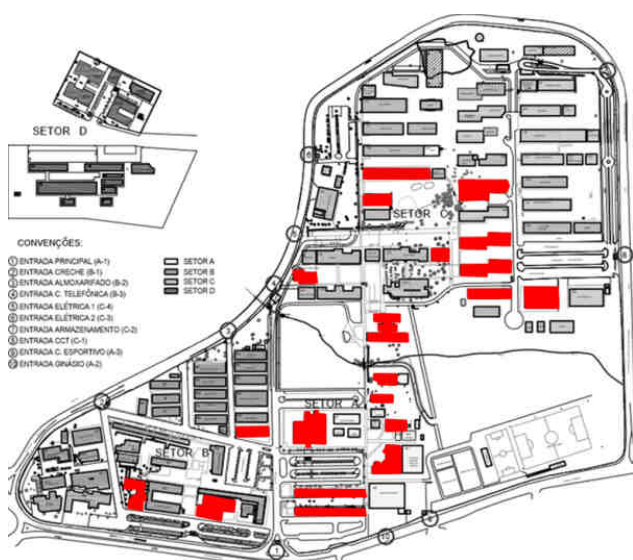


Figura 1 – Mapa do Campus/UFMG de Campina Grande: em vermelho, as edificações de uso administrativo.



Figura 2 – Exemplos de proteções solares: A) Inclinação; B) Horizontal/Vertical; C) Alpendre; D) Prateleira de Luz.

3.1.1. Tipificação de variáveis

A relativa homogeneidade de soluções facilitou a tipificação das variáveis a serem adotadas nos modelos de simulação. Ao todo, quatro tamanhos de janelas foram identificados (Figura 3):

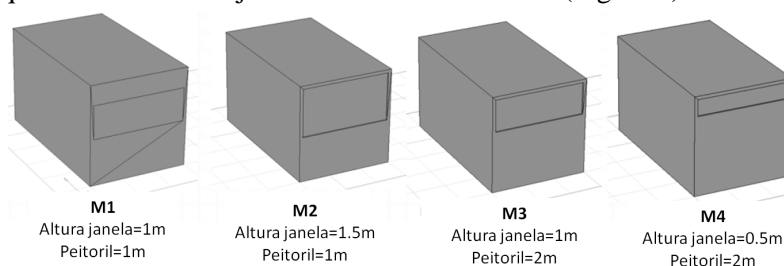


Figura 3 – Tamanhos típicos de janelas.

O procedimento de levantamento de campo permitiu a identificação de 20 edificações de uso administrativo (Figura 1), nas quais são realizadas atividades de escritório (salas administrativas ou de professores).

Nesta etapa, foram realizados registros fotográficos das edificações e salas, bem como a coleta de informações relevantes para as simulações de sombreamento e iluminação:

- Variáveis relevantes para o sombreamento: dimensões/orientação das janelas e geometria das proteções solares;

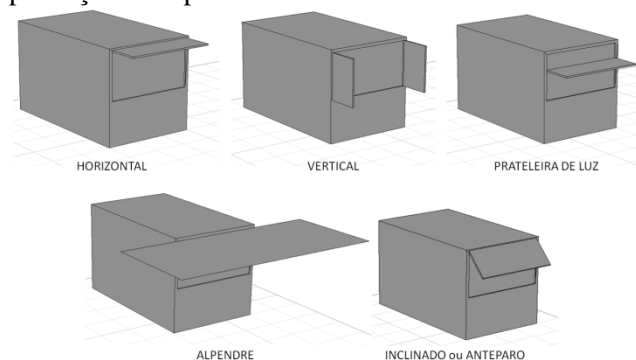
- Variáveis relevantes para o aproveitamento da iluminação natural: obstáculos de edificações vizinhas em relação às janelas térreas (altura e distância), refletância das superfícies internas (paredes, piso e forro), profundidade típica das salas e propriedades das janelas (dimensões, tipos de vidros e fator de caixilho).

Percebe-se no Campus que algumas soluções são reproduzidas em várias edificações, sobretudo quando são edificações construídas na mesma época. Em edificações mais antigas, é comum o uso de anteparos inclinados de concreto apoiados nas extremidades por duas placas verticais (Figura 2A).

A solução mais recorrente, tanto em edificações antigas quanto mais recentes, é o uso de projeções horizontais (platibanda ou marquises), que algumas vezes é combinada a proteções verticais (Figura 2B). Como variação da proteção horizontal comum (que em média tem 1 metro de profundidade), também se percebe algumas soluções com beirais mais generosos, seja pela criação de um alpendre externo (Figura 2C), seja pela localização de passarelas externas na fachada. Um caso mais atípico, encontrado apenas no prédio da reitoria, é o uso de prateleira de luz (Figura 2D).

Neste trabalho, não serão apresentados os resultados do modelo M4 pelo limitado potencial de aproveitamento da iluminação natural mesmo sem o uso de proteção solar.

Foram identificados ao todo 5 tipos básicos de proteções solares básicas, alguns dos quais podem ser combinados entre si (ex.: proteção vertical e horizontal). Por se tratar de uma pesquisa que busca alimentar a prática projetual, em vez de reproduzir com fidelidade as proteções existentes, optou-se por expressar apenas suas propriedades geométricas essenciais. Com geometrias mais simplificadas, fica mais evidente a relação entre a forma e os resultados obtidos e, conseqüentemente, o processo de manipulação geométrica para a produção de hipóteses é facilitado.



Foi identificado que o tipo ‘alpendre’, mostrado ao lado (Figura 4) apresenta prolongamento considerável nas duas laterais da janela, pois o elemento é parte da cobertura da edificação ou de passarela externa.

Os tipos ‘horizontal’ e ‘vertical’ foram primeiramente simulados separadamente, considerando que a primeira fase de simulações representa apenas uma aproximação ao entendimento do problema. Em etapa posterior, os dois tipos foram combinados conforme os parâmetros de desempenho definidos pela pesquisa.

Figura 4 – Tipos de proteções solares das janelas do Modelo 2.

As variáveis que caracterizam os modelos da segunda etapa, que abarca a simulação de iluminação natural, também foram definidas no mesmo processo. Contudo, as variáveis identificadas não sofrerão interpolação, devido à maior quantidade de alternativas e à maior complexidade da simulação. Assim, optou-se por adotar valores fixos das variáveis que maximizam o aproveitamento do potencial de simulação natural. Caso nessas condições mais favoráveis não houver boa incidência de luz natural, pode-se afirmar que não haveria com a adoção de variáveis mais restritivas.

Tabela 1 – Variáveis de iluminação natural: destacadas em vermelho, variáveis adotadas.

TIPO DE VIDRO		
Claro (89%)	Translúcido (50%)	Fumê (30%)
FATOR DE CAIXILHO		
95%	85%	
OBSTRUÇÃO EXTERNA		
16° (17 metros de distância)	32° (7 metros de distância)	
REFLETÂNCIAS INTERNAS		
Paredes (70%), Pisos (50%) e Tetos (70%)		
TAMANHO DA SALA (LARGURA X PROFUNDIDADE)		
3 x 5 metros		

Foi realizada uma análise de sensibilidade para identificar o impacto de cada variável interna, interpolando também algumas variáveis externas, como tipos de céu (claro, misto e encoberto) e hora do dia (entre 8h00 e 16h00).

Embora não haja dados de nebulosidade anuais que embasem estatisticamente a escolha do tipo de céu, percebe-se claramente, por observação, uma predominância do céu misto durante o dia. Esse indicativo foi confirmado em meteorogramas quinzenais divulgados pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC/INPE -, única base de dados disponível. A partir da análise de sensibilidade, também foi definido um horário e data para as simulações, considerando que o programa apenas realiza simulações estáticas. Assim, para minimizar a influência da posição do sol nos diversos estudos, foi selecionada a data 21/03 (equinócio) às 12:00h.

3.2. Simulações de sombreamento

A primeira etapa de avaliação de desempenho consiste na simulação de sombreamento com base nas interpolações entre tamanhos de janelas, orientação e tipos de proteções solares. Foi adotado o programa Autodesk ECOTECH, reconhecidamente uma das mais completas ferramentas para simulações de sombreamento. Para que seja possível classificar os casos típicos conforme seu desempenho (aceitável ou não), foram propostos dois critérios de desempenho que deveriam ser atingidos:

- **SOMBREAMENTO:** a radiação solar direta entre 8h00h e 16h00h deve ter um bloqueio mínimo de 70%.
- **EXPOSIÇÃO:** as áreas da abóbada celeste que não coincidem com o percurso solar anual devem ter uma exposição de pelo menos 70% (bloqueio máximo de 30%).

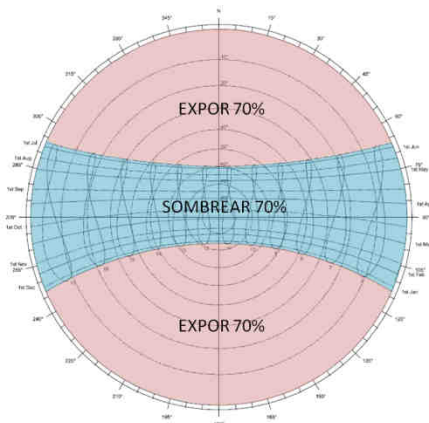


Figura 5 – Estratégias para o desempenho de proteções solares (-7.2° de Latitude).

Os dois critérios de desempenho devem ser atendidos simultaneamente para um bom desempenho da proteção solar e podem ser visualizados na carta solar (Figura 5).

Como dificilmente os casos típicos iriam satisfazer os dois critérios de desempenho, os casos simulados foram classificados em grupos para que fossem gerados, a partir da manipulação geométrica das proteções, casos hipotéticos que cumprissem às exigências de desempenho:

- **AUMENTAR SOMBREAMENTO:** quando o sombreamento da radiação direta é insuficiente entre 8h00 e 16h00 horas. Nesses horários, o sombreamento mínimo deve ser de 70%.
- **AUMENTAR EXPOSIÇÃO:** quando o sombreamento é superdimensionado, atingindo áreas da abóbada celeste que se deseja expor. A exposição mínima nessas áreas deve ser de 70%.

- **CASOS INVIÁVEIS:** quando não há como conciliar os dois critérios de desempenho. Nesses casos, ou a necessidade de sombreamento afeta o aproveitamento da iluminação natural, ou a exposição à abóbada celeste provoca incidência de radiação direta, comprometendo o desempenho térmico e a própria qualidade da iluminação natural. Este foi o caso, por exemplo, de todas as aberturas voltadas para Leste ou Oeste.

Os resultados foram analisados em máscaras de sombra gradientes nas cartas solares. Para permitir maior legibilidade dos resultados e facilidade nas comparações, as faixas de sombreamento acima de 70% e abaixo de 30% foram destacadas com as cores vermelho e azul, respectivamente.

O processo de geração de hipóteses (Figura 6) se dá a partir da análise dos resultados de desempenho dos casos típicos. Em seguida, o processo de manipulação geométrica das proteções hipotéticas é parecido com o processo decisório que ocorre durante um projeto, embora com menor liberdade de escolha. Assim, ciclos de análise e síntese resultam de alterações no modelo virtual e da reflexão sobre os resultados obtidos.

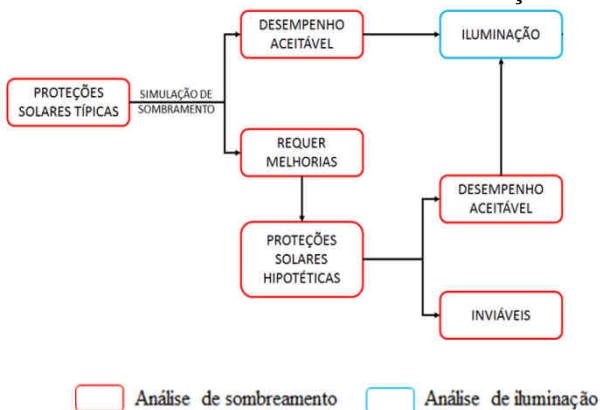


Figura 6 – Fluxograma do processo de simulação de sombreamento.

A etapa de simulação de sombreamento tem o objetivo de gerar casos de proteções solares que satisfaçam aos dois critérios de desempenho pré-definidos, para que esses casos sejam testados na fase seguinte, de simulação da iluminação natural.

Ao filtrar apenas os casos de desempenho aceitável, reduzimos a quantidade de alternativas na segunda etapa do trabalho (cujo processo de simulação é mais complexo) sem prejuízo para os objetivos da pesquisa. Entende-se que a simulação de iluminação natural de ambientes com sombreamento excessivo ou insuficiente não iria contribuir para o entendimento sobre a integração dos critérios propostos, pois as proteções solares inadequadas não atendem ao critério de aproveitamento ou qualidade da iluminação natural.

3.3. Simulações de iluminação natural

Após a seleção das proteções solares que apresentam bom desempenho segundo os dois critérios adotados, foram realizadas as simulações de iluminação natural no programa Dialux 4.12. Embora a ferramenta não seja tão robusta em comparação com outros programas mais complexos, trata-se de uma ferramenta mais adequada à atividade projetual, sendo usada sem maiores dificuldades por alunos de graduação.

Conforme mencionado no item 3.1.1 (tipificação de variáveis), não serão feitas interpolações entre variáveis nesse estágio. As simulações tem a finalidade de verificar as distribuições de iluminâncias internas e alcance da área passiva nas salas cujas proteções solares foram dimensionadas conforme os critérios pré-estabelecidos. Por se tratar de atividades similares à atividade de escritório, a iluminância recomendável no plano de trabalho é de 500lux a 750lux (NBR ISO/CIE, 2013). Contudo, como o excesso de iluminação pode

ser facilmente controlado com persianas internas e outros mecanismos, foi adotado apenas o limite inferior de 500lux como parâmetro de delimitação da área passiva. Sabe-se que a iluminação natural unilateral tem como característica uma distribuição não uniforme: a ocorrência de altos valores de iluminância próximos à janela e uma brusca queda na medida em que se afasta das janelas. Esse comportamento inviabiliza a adoção de uma faixa entre 500 a 750 lux como meta apenas com o uso da iluminação natural.

Tendo em vista as características apontadas, os seguintes aspectos são relevantes para compreender: (i) a área da zona passiva, (ii) comparação com o caso base sem proteção solar, (iii) iluminância média e (iv) uniformidade (mínima/média) (Figura 7).



Figura 7 – Fluxograma do processo de simulação de iluminação natural.

O processo de simulação também prevê a proposição de soluções hipotéticas, com o aproveitamento das superfícies da proteção solar como refletores da luz direta. Seguindo este princípio, é possível obter proteções cujas propriedades de sombreamento são similares, mas com diferentes desempenhos de iluminação.

4. RESULTADOS

4.1. Simulação de sombreamento

Tabela 2 – Casos típicos com sombreamento insuficiente.

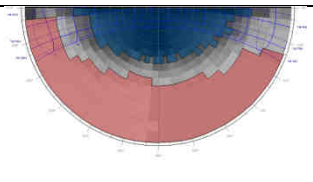
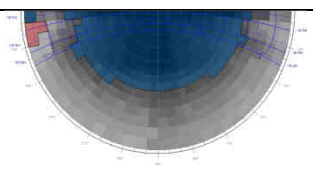
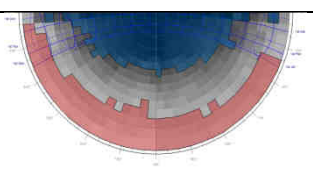
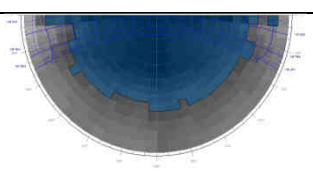
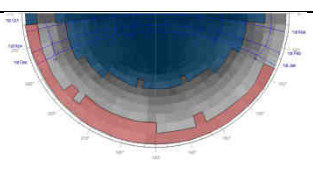
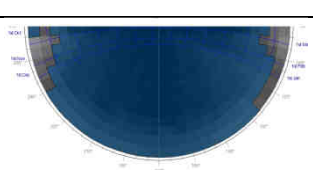
MODELO	AUMENTAR SOMBREAMENTO	EXEMPLOS
M1 (janela 1 metro de altura com peitoril de 1 metro)	Vertical (1m nas extremidades) N-S	
M2 (janela 1.5 metros de altura com peitoril de 1 metro)	Vertical (1m nas extremidades) N-S	
	Prateleira (1m com 50cm da janela exposta) N-S	
M3 (janela de 1 metro com peitoril de 2 metros)	Vertical (1m nas extremidades) N-S	

Levando em conta as combinações de tamanhos de janelas (3), tipos de proteções solares (entre 4 e 5, a depender do tamanho da janela) e orientação (4), foram produzidas 52 alternativas típicas. Nenhum dos casos típicos teve desempenho aceitável nos dois critérios definidos (sombreamento da radiação direta e exposição ao restante da abóbada celeste). Assim, os casos de cada modelo foram classificados em dois grupos de soluções hipotéticas (Tabelas 2 e 3) e um grupo de soluções descartadas pela inviabilidade de satisfazer os critérios estabelecidos. O grupo de soluções descartadas abarca os seguintes casos:

- Janelas voltadas para Leste e Oeste: embora seja possível bloquear a radiação solar incidente com o uso de proteções solares, o potencial de iluminação é reduzido, pois há obstrução considerável das áreas da abóbada celeste que não coincidem com o percurso solar anual.

- Soluções de alpendres: o conflito da solução alpendre reside na impossibilidade de reduzir suas dimensões de modo que permita melhor aproveitamento da iluminação natural, considerando que a coberta fornece abrigo a ambientes semi-externos (alpendres) ou externos (passarelas).

Tabela 3 – Casos típicos com sombreamento excessivo.

MODELO	AUMENTAR EXPOSIÇÃO	EXEMPLOS
M1 (janela 1 metro de altura com peitoril de 1 metro)	Horizontal (1m na altura da laje) N-S	
	Inclinado (1m a 45°) N-S	
M2 (janela 1.5 metros de altura com peitoril de 1 metro)	Horizontal (1m na altura da laje) N-S	
	Inclinado (1m a 45°) N-S	
M3 (janela de 1 metro com peitoril de 2 metros)	Horizontal (1m na altura da laje) N-S	
	Inclinado (1m a 45°) N-S	

4.1.1. Casos hipotéticos: melhora de desempenho

Os resultados obtidos nas simulações dos casos típicos indicam que, em menor ou maior grau, todas as soluções não descartadas necessitam de um dos ajustes para serem avaliados na etapa seguinte: aumentar o sombreamento da radiação direta ou aumentar a exposição de partes da abóbada celeste.

O processo de manipulação dos modelos para a melhoria do desempenho dos vários casos analisados envolve ciclos de análise e síntese de informações fornecidas pelo programa de simulação, procedimento similar ao que acontece durante um projeto de arquitetura. Como a ferramenta permite uma considerável gama de possibilidades de análise e visualização dos resultados no modelo, os resultados das manipulações podem ser visualizados instantaneamente, tanto na carta solar quanto no próprio modelo, dando agilidade ao procedimento.

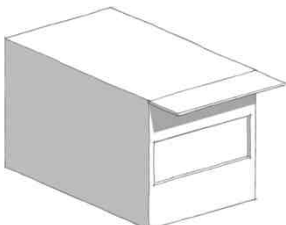
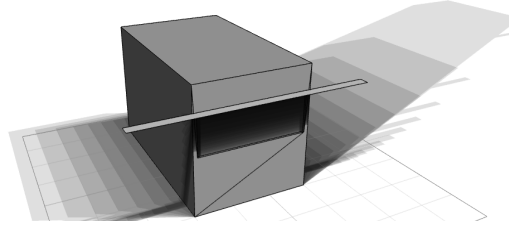
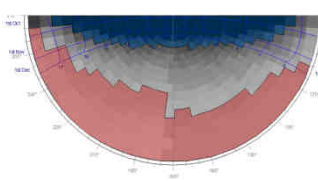
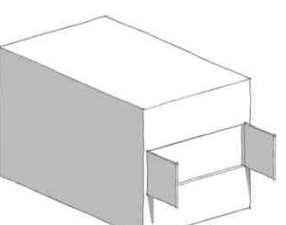
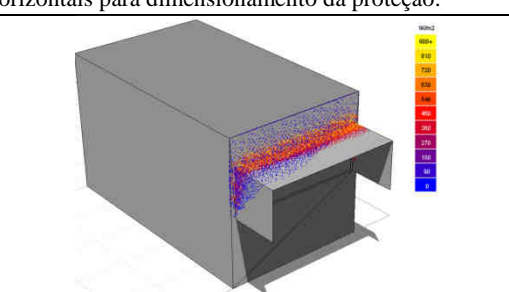
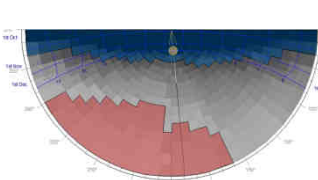
Na Tabela 4 são apresentados três exemplos do processo de geração de um caso hipotético. As alterações promovidas envolvem dimensionamento, reposicionamento e adição de novas proteções quando necessário. Dependendo das ações a serem testadas, foram usados recursos diferentes da ferramenta.

No caso típico 1, a diferença de altura entre o topo da janela e a proteção solar, bem como a inexistência de um prolongamento lateral comprometem o desempenho. Assim, foi avaliado o alcance de sombreamento no dia do solstício de verão entre 8h00 e 16h00 horas. O caso típico 2 apresenta grande incidência de radiação direta pela ausência de proteção horizontal. Para dimensionar uma proteção mista, foi usado o método de projeção de pontos, gerado a partir de um cálculo geométrico da obstrução proporcionada pelas superfícies combinado com os dados de radiação presentes no arquivo climático da cidade de Campina

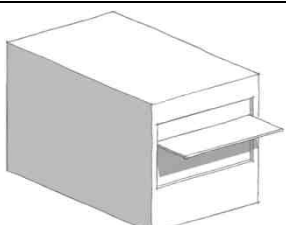
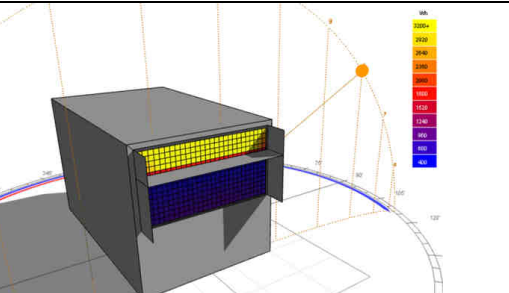
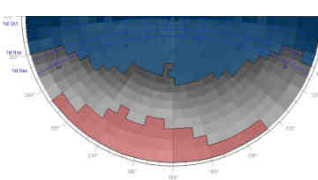
Grande. O terceiro caso típico é de uma prateleira de luz externa que permite uma incidência de radiação direta maior do que 30%. Para minimizar essa incidência, foram feitas análises com malha na superfície envidraçada que resultaram na adoção de proteções verticais prolongadas e na redução da prateleira.

Tabela 4 – Casos típicos, processos de análise e resultados (casos hipotéticos).

MODELO 1: janela de 1 metro de altura e peitoril de 1 metro;

<p>CASO TÍPICO 1: Proteção Horizontal de 1 metro na altura da laje sem projeção lateral</p> 	<p>PROCESSO DE ANÁLISE: Alcance de sombreamento no dia do solstício de verão</p> 	<p>CASO HIPOTÉTICO: Proteção Horizontal contínua de 25cm no topo da janela</p> 
<p>CASO TÍPICO 2: Proteção Vertical de 1 metro nas extremidades da janela</p> 	<p>PROCESSO DE ANÁLISE: Projeção de pontos nas superfícies verticais e horizontais para dimensionamento da proteção.</p> 	<p>CASO HIPOTÉTICO: Proteção mista de 25cm de projeção.</p> 

MODELO 2: janela de 1.5 metros de altura e peitoril de 1 metro;

<p>CASO TÍPICO 3: Prateleira de luz com 1 metro de profundidade</p> 	<p>PROCESSO DE ANÁLISE: Análise de malha na superfície da janela.</p> 	<p>CASO HIPOTÉTICO: Prateleira de luz e proteções verticais de 65cm</p> 
--	---	--

Mesmo com uma latitude muito próxima da linha do Equador (-7.2°Lat.), foram consideradas as diferenças das necessidades de fachadas Norte e Sul. Assim, ao contrário dos casos típicos, cujas dimensões eram unificadas, adotou-se um dimensionamento para cada fachada que busca atender aos critérios de sombreamento e necessidades de exposição da abóbada celeste.

A Tabela 5 apresenta a lista de todos os casos hipotéticos que cumprem às duas exigências de desempenho (sombreamento e exposição). Qualitativamente, como todos apresentam razoável exposição da parte desejável da abóbada celeste, tudo indica que há também um bom aproveitamento da iluminação natural. Mas devemos mensurar se há perda significativa de potencial de iluminação natural quando uma sala é sombreada por uma proteção solar corretamente dimensionada em comparação com uma sala sem sombreamento.

Tabela 5 – Casos hipotéticos a serem simulados na etapa seguinte (iluminação natural).

	CÓD. ORIG.	DESCRIÇÃO
M1	HOR-N	Proteção horizontal (0.40m) na altura do topo da janela com prolongamentos laterais
	HOR-S	Proteção horizontal (0.30m) na altura do topo da janela com prolongamentos laterais
	VERT-N	2 proteções verticais (0.8m) nas extremidades e horizontal (0.25m) na altura do topo da janela.
	VERT-S	2 proteções verticais (0.8m) nas extremidades e horizontal (0.15m) na altura do topo da janela.
	INCL-N	Proteção inclinada a 45° (0.61m) na altura da laje
	INCL-S	Proteção inclinada a 45° (0.46m) na altura da laje
M2	HOR-N	Proteção horizontal (0.60m) na altura do topo da janela com prolongamentos laterais
	HOR-S	Proteção horizontal (0.45m) na altura do topo da janela com prolongamentos laterais
	VERT-N	2 proteções verticais (0.8m) nas extremidades e horizontal (0.55m) na altura do topo da janela.
	VERT-S	2 proteções verticais (0.8m) nas extremidades e horizontal (0.45m) na altura do topo da janela.
	INCL-N	Proteção inclinada a 45° (0.59m) na altura da laje
	INCL-S	Proteção inclinada a 45° (0.38m) na altura da laje
	PRAT-N	Prateleira de luz a 0.5m do topo da janela (0.60m) com duas proteções verticais (0.60m)
	PRAT-S	Prateleira de luz a 0.5m do topo da janela (0.60m) com duas proteções verticais (0.45m)
M3	HOR-N	Proteção horizontal (0.40m) na altura do topo da janela com prolongamentos laterais
	HOR-S	Proteção horizontal (0.30m) na altura do topo da janela com prolongamentos laterais
	VERT-N	2 proteções verticais (0.8m) nas extremidades e horizontal (0.35m) na altura do topo da janela.
	VERT-S	2 proteções verticais (0.8m) nas extremidades e horizontal (0.25m) na altura do topo da janela.
	INCL-N	Proteção inclinada a 45° (0.30m) na altura da laje
	INCL-S	Proteção inclinada a 45° (0.24m) na altura da laje

4.2. Simulação de iluminação natural

O modelo de iluminação natural é composto de uma quantidade muito maior de variáveis. Como o estudo busca apenas quantificar se há potencial de aproveitamento de iluminação natural quando se usa proteções solares corretamente, não há interpolação de variáveis internas nem externas, mas somente a avaliação de desempenho dos casos apresentados na Tabela 5. As variáveis adotadas são apresentadas na Tabela 1.

Os resultados são calculados em 70 pontos distribuídos uniformemente no plano de trabalho (a 75cm do chão). Para evitar distorções nos resultados médios, as arestas do plano de trabalho estão a 50 cm das paredes da sala, conforme especificado pela norma brasileira (NBR ISO/CIE, 2013).

Os seguintes itens serão mensurados para que se possa comparar o desempenho das soluções: (i) Iluminância média (E), (ii) % dos pontos acima de 500lux (zona passiva) e (iii) uniformidade. Os resultados são apresentados na Tabela 6 com gradações de vermelho para diferenciar valores maiores e menores dos itens avaliados.

Alguns pontos podem ser observados a partir da análise da Tabela 6:

- 1) A maior janela (M2) apresenta valores médios de iluminância acima de 500 lux em quase todos os casos.
- 2) A janela M3, de mesmo tamanho da M1, apresenta melhor desempenho em todos os casos por ter peitoril mais alto.
- 3) As salas voltadas para Norte apresentam maior incidência de luz natural, certamente por causa da posição do Sol, levemente incidente na fachada Norte, e sua influência na distribuição das iluminâncias na abóbada celeste (foi utilizado céu misto).

Tabela 6 - Casos hipotéticos a serem simulados na etapa seguinte (iluminação natural).

		CASOS	E Média (lux)	% zona passiva	Uniform.					
NORTE	M1	S/ PROTEÇÃO	705	70,0	0,368	SUL	S/ PROTEÇÃO	565	40,0	0,452
		HORIZONTAL	385	21,4	0,464		HORIZONTAL	403	20,0	0,499
		MISTA	442	30,0	0,452		MISTA	401	20,0	0,49
		INCLINADA	447	30,0	0,452		INCLINADA	405	27,1	0,504
	M2	S/ PROTEÇÃO	1139	80,0	0,358		S/ PROTEÇÃO	839	60,0	0,406
		HORIZONTAL	604	48,6	0,459		HORIZONTAL	583	41,4	0,488
		MISTA	606	45,7	0,457		MISTA	592	40,0	0,473
		INCLINADA	546	40,0	0,451		INCLINADA	489	30,0	0,504
	M3	PRATELEIRA	806	61,4	0,429		PRATELEIRA	655	50,0	0,467
		S/ PROTEÇÃO	854	68,6	0,379		S/ PROTEÇÃO	618	50,0	0,439
		HORIZONTAL	493	41,9	0,48		HORIZONTAL	458	36,2	0,486
		MISTA	458	40,0	0,486		MISTA	410	31,4	0,494
		INCLINADA	489	40,0	0,442	INCLINADA	427	32,4	0,469	

4) Em comparação com os casos sem proteção solar, há uma grande redução da zona passiva com o uso de proteção solar. Em média, os casos M1-norte e M1-sul tiveram uma redução maior, de cerca de 60% e 44%, respectivamente. O posicionamento da janela M1, de 1 metro de altura com peitoril de 1 metro não favorece o aproveitamento do potencial de iluminação natural.

O caso M2, a maior janela, teve menor redução da zona passiva (39% no caso Norte e 33% no caso Sul).

- 5) A uniformidade (definida pela razão entre o valor mínimo e o médio) é maior nos casos voltados para Sul, cuja incidência de iluminação natural é menor. Há também uma clara tendência de redução da uniformidade na medida em que a porcentagem da zona passiva e a média de iluminâncias internas aumentam.

4.2.1 Casos hipotéticos: melhora de desempenho

Os casos hipotéticos foram propostos a partir de dois princípios básicos: (i) o sombreamento deve ser geometricamente equivalente aos casos originais e (ii) deve ter uma ou mais superfícies refletoras (refletância de 70%), permitindo a incidência da luz refletida pela proteção solar.

Por se tratar de uma avaliação pontual de determinadas hipóteses, foram simulados três casos apenas para a orientação Norte, um para cada modelo de janela.

Tabela 7 - Casos hipotéticos com superfícies refletoras.

		CASOS	E Média (lux)	% zona passiva	Uniform.
NORTE	M1	BRISE HORIZ.	385	21,4	0,464
		VENEZIANAS 8CM	500	40,0	0,432
	M2	INCL. P/ BAIXO	546	40,0	0,451
		INCL. P/ CIMA	775	60,0	0,433
	M3	HORIZONTAL	493	41,9	0,48
		BASE REFLETORA	591	50,0	0,49

Os resultados da Tabela 7 indicam melhora de desempenho de todos os casos simulados. No caso das venezianas da janela M1, mesmo considerando que há um sutil aumento no bloqueio da área desejável da abóbada celeste, a iluminação média é maior. O caso M2, no qual foi alterada a inclinação do anteparo teve uma sutil melhora, provocada pela reflexão das iluminâncias de áreas da abóbada celeste mais próximas ao horizonte. O caso M3, cuja janela é mais alta, teve também maior alcance da área passiva, provocada apenas por uma base refletora na altura do peitoril da janela. Quanto à uniformidade da distribuição, apenas o caso M3 teve uma sutil melhora, enquanto que os outros dois casos apresentaram pior desempenho.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho combina dois critérios de projeto que, apesar de serem fortemente relacionados, são frequentemente estudados de forma isolada. A seleção do Campus/UFCG como universo de pesquisa buscou não somente viabilizar o processo de coleta de dados e tipificação de variáveis – devido à relativa homogeneidade das soluções – mas oferecer suporte a futuros projetos na instituição.

Dois critérios de desempenho de sombreamento foram usados para filtrar os casos que seriam estudados em etapas posteriores: sombreamento da radiação direta e exposição das áreas desejáveis da abóbada celeste. Os procedimentos de simulação de sombreamento abarcaram 52 casos diferentes, dos quais 20 foram agrupados em dois grupos para melhoria de desempenho (casos hipotéticos).

Os 20 casos hipotéticos, que cumprem as exigências pré-determinadas de desempenho, foram avaliados no programa DiaLux. Os resultados indicam que, embora todas as proteções estejam bem dimensionadas, a incidência da iluminação natural é fortemente influenciada pelo tamanho e altura das janelas. A simulação dos casos hipotéticos indica que o alcance da área passiva pode aumentar consideravelmente com o uso de proteções solares que refletem a luz para o interior do ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. **NBR ISO/CIE 8995-1:2013 Iluminação de Ambientes de Trabalho: ABNT 2013**, 2013.
- ARAÚJO, J. D. S. **Uma Janela Tropical: Análise do desempenho luminoso de ambientes com aberturas sombreadas para o clima de Natal/RN**. RN, 2012.
- AUTODESK. **Autodesk Ecotect Analysis** 2011.
- BAY, J.-H. **Cognitive Biases in Design: The case of tropical architecture**. 2001. PhD TU Delft, Delft, Netherlands.
- GMBH, D. **DiaLux 4.12**, 2014.
- LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY. **Tips for Daylighting with Windows**. The Program, 1997.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Cnpq pela bolsa concedida como parte do programa PIBIC.