

INFLUÊNCIA DE ELEMENTOS DE PROTEÇÃO SOLAR HORIZONTAIS APLICADOS A ABERTURAS LATERAIS, NA ADMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO DA LUZ NATURAL.

Júlia M. Fiuza (1); Anderson Claro (2)

(1) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo,
julia@fiuzaarquitectura.com.br

(2) Dr, Professor do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, ander@arq.ufsc.br
Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Laboratório de Conforto
Ambiental, Florianópolis-SC, Tel.: (48) 3331-7080

RESUMO

Este trabalho investigou como os elementos de proteção solar interferem nas condições de iluminação natural nos ambientes construídos, considerando protetores horizontais. Tem como objetivo comparar diferentes composições, que mantenham o mesmo sombreamento, avaliando diferentes momentos de insolação e a influência da refletância destes elementos nas condições de iluminação, através de simulação computacional, com o programa Apolux Beta. As soluções de protetores têm como base a porcentagem de área superior do elemento que é vista pelo interior do ambiente; quanto à insolação, foi utilizada como parâmetro a porcentagem de área desta superfície superior do protetor que recebe insolação direta. Concluiu-se que ao anexar os protetores as condições de iluminação são alteradas, porém pode-se reduzir a perda de fluxo quando a solução de proteção possui alguma porcentagem de área visível e tenha refletância adequada. Ocorre redução de luz admitida quando elevada a altitude solar. Quanto à variação de refletância do elemento de proteção é tanto mais expressiva quanto a maior porcentagem de área insolada visível pelo interior. Visa auxiliar na aplicação destes elementos tirando o melhor proveito das condições de iluminação nos ambientes.

Palavras-chave: Iluminação Natural. Abertura Lateral. Elementos de Proteção Solar. Simulação Computacional.

ABSTRACT

This study investigated how the element's sun protection interferes in the conditions of natural lighting on the built's environment, regarding horizontal's protectors. It was compared different compositions which keeps the same shade. Using computer's simulation with the program Apolux Beta, it was evaluated many insolation moments and the influence of the reflectance in these elements. The protector's solutions were based on visible area which seems the percentage of superior area of the element that is seen by the environment interior. Concerning the insolation, it was used a parameter of the percentage area of the protector that receives a direct sunlight. It was concluded that when the element's sun protection was added the conditions of lighting environment changed. However, the protector just helped the lighting environment when the system has some percentage of visible area and adequate reflectance. This works aims to assist the implementation of these elements, without affecting the lighting in the environments.

Keywords: Natural Illumination. Lateral Fenestration. Elements of Solar Protection. Computational Simulation.

1. INTRODUÇÃO

O projeto arquitetônico desempenha um papel fundamental tanto na busca da eficiência energética quanto no aprimoramento do uso de recursos naturais por estarem adaptado as características locais, que repercutem na qualidade do projeto. A iluminação é um fator muito importante a ser considerado no projeto de arquitetura, pois quando inadequada pode dificultar o desenvolvimento das atividades, assim como

provocar perturbações, fadiga visual, ofuscamento, dores de cabeça, complicações no sistema nervoso e até mesmo variações na produtividade. Seus efeitos nocivos não se relacionam apenas aos aspectos quantitativos (nível mínimo de iluminação por atividade), mas também aos aspectos qualitativos (sua distribuição no espaço e a forma de percepção pelos usuários).

Como as outras fontes de luz, a intensidade da iluminação natural também precisa ser controlada. Assim, todas as aberturas do projeto devem ser cuidadosamente planejadas para otimizar o uso desta iluminação e evitar o ofuscamento, além de eliminar o máximo possível do uso de iluminação artificial durante o dia. Os sistemas de iluminação natural modificam o comportamento ambiental, permitindo ou impedindo não só a entrada de luz, como também interferindo nas trocas de ar, calor e som no ambiente. O controle destes fenômenos pode contribuir para obter tanto o conforto ambiental com também evitar gastos de energia.

Os protetores solares são muito utilizados nos projetos de arquitetura, visto sua grande eficiência para atenuar o desconforto térmico causado pela incidência solar direta, porém o uso destes elementos influencia na iluminação dos ambientes. Robbins (1986) afirma que a composição arquitetônica da solução de proteção solar interfere nas condições de iluminação dos ambientes, podendo ainda ser projetada de forma a auxiliar na admissão e distribuição do fluxo pelo ambiente. Kremer (2002) atenta que eventualmente quando utilizados elementos de proteção solar, pode-se prejudicar a distribuição de luz no ambiente, mesmo que reduzindo o ofuscamento pela radiação solar direta.

Littlefair (2001) ainda aponta certa escassez de estudos sobre os efeitos da radiação difusa provocada pelos elementos de proteção nos ambientes construídos, particularmente quando aplicados em aberturas laterais.

Bogo (2007) apresentou uma nova forma de estimativa de distribuição do fluxo luminoso pela abertura quando influenciada por protetores solares, porém com a compreensão dos gráficos sugeridos apresentando apenas o resultado final, ficando a sugestão de soluções melhores ou piores pela interpretação do estudioso. Novos estudos podem caracterizar o fenômeno mais claramente, de forma que os profissionais possam aplicar esta técnica mais facilmente em seus projetos.

Este estudo visa contribuir para o conhecimento deste fenômeno, com intuito de aliar o aproveitamento da luz natural ao cuidado de não admitir ganhos de calor no ambiente, a partir de elementos de proteção solar. Questiona-se que soluções de proteção solar com mesmo ângulo de obstrução solar, com máscaras solares equivalentes, apesar de produzirem mesmo sombreamento, não necessariamente resultam na mesma condição de iluminação no ambiente.

Este estudo irá abordar o fenômeno físico da iluminação natural nos ambientes construídos, sob efeito do uso de protetores solares em aberturas laterais, quanto ao redirecionamento da radiação luminosa e sua influência na distribuição da iluminação pelo ambiente. Visa conhecer como o protetor solar participa na admissão e distribuição do fluxo luminoso, ressaltando do total da radiação admitida a parcela referente ao redirecionamento do fluxo de luz pelo elemento protetor, analisando diferentes soluções de proteção a partir de um mesmo ângulo de obstrução solar, trabalhando com simulação computacional.

2. OBJETIVO

O objetivo geral desta pesquisa é analisar o comportamento da luz natural no ambiente construído, quando aplicados elementos de proteção solar em aberturas laterais. Visa caracterizar a admissão e distribuição do fluxo luminoso pelo ambiente, através da análise nas diferentes parcelas de contribuição do fluxo luminoso.

3. MÉTODO

Um modelo de ambiente básico foi criado com características fixas, sem proteção solar, e as condições de iluminação neste ambiente foram comparadas com modelos que apenas variam a composição de proteção solar, determinadas por certo ângulo de obstrução, que produzem mesmo sombreamento, através do conceito de máscara solar (BITTENCOURT, 2004).

As soluções arquitetônicas de proteção solar foram determinadas a partir da porcentagem de área da superfície superior dos elementos de proteção, que é visível pelo interior e simultaneamente pode receber a luz da abóboda e do Sol. Partindo do princípio que estas “superfícies visíveis” refletirão o fluxo luminoso para dentro do ambiente.

Com isso é constituído o modelo base (sem proteção), o modelo com obstrução apenas bloqueadora (um protetor) e os demais modelos com certa porcentagem de “área visível”. Feito este grupo de modelos, com base nas características básicas são comparadas e analisadas as condições de luz no ambiente sob o

efeito das diferentes composições de proteção solar, além dos resultados são consideradas também as diferentes formas de visibilidade da abóboda celeste entre os modelos.

Cada modelo, portanto, também foi analisado em diferentes “momentos de insolação”, já que em determinados modelos há superfícies visíveis pelo interior, e no decorrer do ano estas superfícies serão “insoladas” de diferentes formas. Denominados “grupos de análise”, foram determinados pela latitude dos modelos na simulação, uma vez que foi determinado apenas um dia e hora de análise, a variação da posição no globo permite diferentes angulações de incidência solar, utilizou-se as fórmulas de Treguenza (1993).

Esta pesquisa utilizou como ferramenta de coleta de dados a simulação computacional, escolhido o programa Apolux Beta, que é a evolução do programa Apolux 1.0, desenvolvido pelo Laboratório de Conforto Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (CLARO et. al., 2005). Este *software* trabalha com um dos métodos mais utilizados atualmente pelos programas computacionais de simulação da iluminação natural, a radiosidade. Fundamenta-se no modelo vetorial esférico (CLARO, 1998), um método de abordagem mais amplo, onde são mapeadas as trocas de energia luminosa entre superfícies, além do cálculo de uma distribuição da abóboda segundo as equações padronizadas pela CIE *Standard General Skies* (CIE, 2003).

Através da mensuração de iluminâncias, são apresentadas as condições de iluminação no ambiente. Visando identificar o momento que o elemento de proteção tem maior ou menor influência nesta admissão e distribuição da iluminação pelo ambiente. Estas análises são feitas por parcelas de contribuição no resultado da iluminação, separando estas componentes referentes: à primeira admissão de luz, iluminância inicial (E_{ini}); à componente apenas da reflexão das superfícies internas e externas (do ambiente e dos protetores), iluminância refletida (E_{ri}); e à componente total que soma estas duas parcelas anteriores, iluminância total (E_{tot}).

Máscaras de visualização da abóboda solar em determinado ponto comum entre os modelos também foram analisadas, com intuito de verificar a visibilidade de áreas de maior ou menor brilho da abóboda celeste.

Para separar a influência só do elemento de proteção foram feitas duas simulações para cada modelo em todos os grupos de análise, variando apenas a refletância do elemento de proteção: uma com alta refletância (85%) e outra nula (0%). Esta comparação mostra como, em cada composição de proteção, a superfície do protetor influencia no ambiente luminoso.

Foram utilizados dois métodos de análise, gráfica e analítica. O primeiro, método gráfico, objetiva caracterizar a tendência de distribuição do fluxo luminoso e compreender a forma de visualização da abóboda celeste em cada solução. Utiliza gráficos de curva isolux do resultado final da iluminação em um plano de trabalho hipotético, e máscaras solares de visibilidade da abóboda, que representam a luminosidade da abóboda celeste. Neste artigo apenas as máscaras são apresentadas, para reduzir a discussão dos resultados.

O segundo, método analítico, tem como objetivo identificar particularidades no fenômeno, através de gráficos bidimensionais, de profundidade e iluminância ou relação percentual de iluminâncias entre modelos, trabalhados como uma função matemática, onde os valores que representam a iluminação foram tratados tanto em iluminância absoluta (lux) como porcentagens relativas (porcentagem em relação ao modelo desobstruído).

3.1 Modelos

O ambiente proposto é hipotético, desconsidera o entorno, apesar de se distanciar da situação real tem o intuito de não alterar a parcela de fluxo avaliada, que é originada apenas pela influência dos protetores solares. A geometria do ambiente simulado é de uma sala retangular com 6m de largura, 10m de profundidade e 3m de pé-direito. Possui apenas uma abertura centralizada em uma das faces da largura do ambiente, de 5,80m de largura por 1,80m de altura com peitoril de 1m, orientada a Norte. As superfícies internas são todas difusoras opacas com refletâncias internas de 80% para o teto, 60% para paredes e 40% para o piso.

Estas características do ambiente formam o modelo sem protetor (SP), base para comparação (Figura 1), que representa o total de luz que pode ser admitido em cada momento de análise, representando 100% da admissão em cada parcela de contribuição do fluxo luminoso.

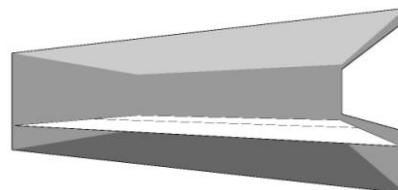


Figura 1 – Modelo SP (Sem protetor).

A geometria dos elementos de proteção foi criada a partir de uma forma simples de sombreamento da janela, com apenas um protetor superior. Os demais modelos, a partir do mesmo ângulo de obstrução, são classificados por porcentagem da área total de proteção solar que pode receber insolação e simultaneamente ser visível do interior, área visível (Figura 2). No esquema ao lado, F2 é a face superior do protetor que está insolada e ainda é visível pelo interior do ambiente. Assim, parte da porcentagem da área que inicialmente apenas bloqueia a radiação solar direta, em determinada solução de sombreamento pode receber e refletir o fluxo luminoso para dentro do ambiente.

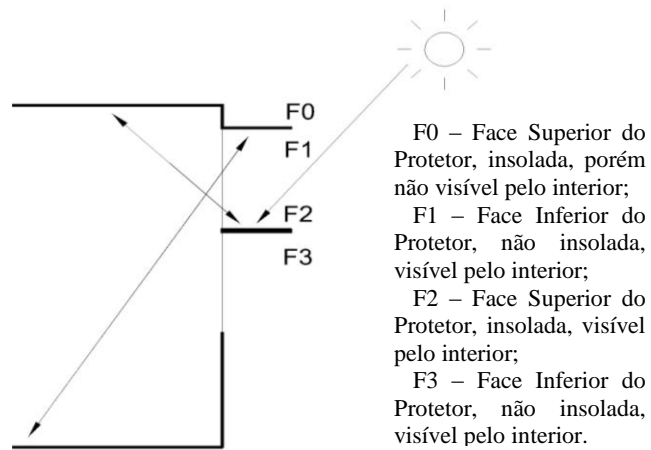


Figura 2 - Esquema de Área Visível.

Portanto, partindo de um ângulo de sombreamento com a abertura (BITTENCOURT, 2004), no caso 60°, projetou-se a solução mais simples de proteção solar, que não tem área visível do interior (0%), apenas um protetor colocado na parte superior da abertura, figura 3. A segunda solução tem 50% de área visível, a altura da abertura foi dividida em 2, colocando outro protetor no meio com metade da área do primeiro e reduzindo o superior à metade da largura, totalizando 1/2 ou 50% da área que inicialmente é apenas bloqueadora, tornou-se área visível pelo interior do ambiente, mas ainda mantém o sombreamento do modelo com um protetor, figura 4.

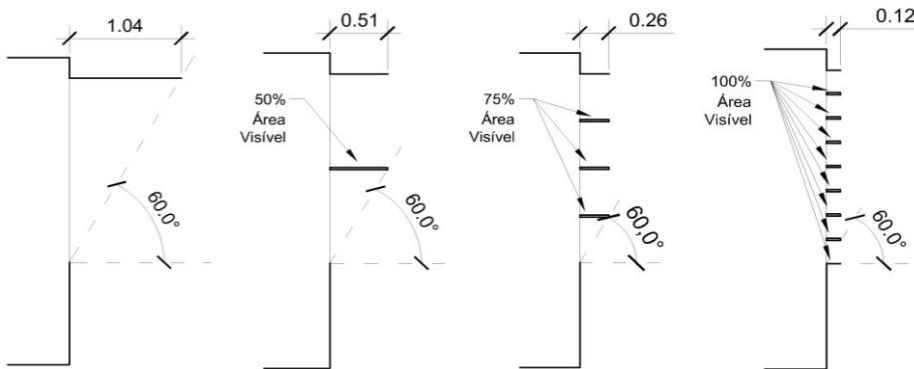


Figura 3 - Modelo com 0% de área visível – Modelo 1P

Figura 4 - Modelo com 50% de área visível – Modelo 2P

Figura 5 - Modelo com 75% de área visível – Modelo 4P

Figura 6 - Modelo com 100% de área visível – Modelo 8P

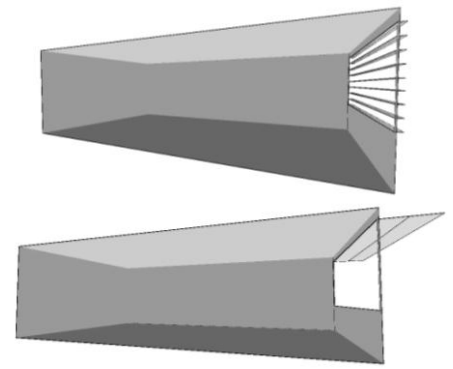


Figura 7 – Exemplos em perspectivas. Modelo 8P (acima) e 1P (abaixo).

A terceira solução de proteção tem 75% de área visível. Agora a abertura foi dividida em 4, obtendo assim 4 protetores com 1/4 da área da primeira solução, resultando em 3/4 ou 75% de área visível, figura 5. A quarta e última solução de proteção solar tem 100% de área visível, figura 6. Neste caso a abertura foi dividida em 8, sendo colocados os protetores com 1/8 da área do primeiro modelo de proteção, e ainda anexado um peitoril com mesmo tamanho destes protetores, para garantir 100% de área visível, compensando o protetor superior (não visível). A figura 7 exemplifica como os protetores foram aplicados ao modelo.

Os protetores propostos para esta análise são de superfície difusora opaca. Porém, para fins de análise quantitativa, há dois momentos de simulação em cada modelo com protetores. Primeiro é simulado o protetor com alto índice de reflexão (refletância 85%), depois uma simulação com reflexão nula (refletância 0%).

Através da diferença dos resultados do modelo simulado com e sem refletância no protetor poderão ser quantificadas, com melhor precisão, as parcelas de reflexão e obstrução do fluxo luminoso admitido no interior do ambiente por este elemento.

3.2 Análises

A proposta de análise fotométrica é a avaliação quanto à distribuição de iluminâncias (E). O programa de simulação permite o uso de um plano de análise, que não participa nem interfere no cálculo, apenas tem o objetivo de apresentar os resultados das condições de iluminação em cada modelo. Foi

utilizado um plano hipotético, situado a 75 centímetros do piso, conforme a recomendação da NBR 5413 (ABNT, 1991).

Os resultados obtidos na simulação foram salvos em documentos de texto, e posteriormente inseridos nos programas de planilhas *Excel* e *WinSurfer*, para montagem dos gráficos. Foram separados apenas os resultados referentes ao plano de análise, formando tabelas com colunas de: Número do vértice; Posição cartesiana, eixos X e Y; Iluminância Total (E_{tot}); Iluminância Direta do Sol (E_{sol}); Iluminância Inicial (E_{ini}); Iluminância Refletida (E_{rfl}).

Para haver coerência na comparação dos modelos foram subtraídos da iluminância total (E_{tot}) e também da iluminância inicial (E_{ini}) os valores correspondentes à iluminância direta do Sol (E_{sol}) (Equação 1 e 2) obtendo assim os valores de iluminância total e inicial (E_{tot} e E_{ini}) utilizados no modelo sem proteção (SP) em cada momento de análise, visando obter melhor relação entre os resultados obtidos, já que este modelo recebe insolação direta em certos momentos de análise.

A parcela de iluminância refletida (E_{rfl}), é resultado da subtração entre a iluminância total (E_{tot}) e a iluminância inicial (E_{ini}) (Equação 3), separando apenas a contribuição das reflexões entre as superfícies dos modelos.

$E_{(tot.)} - E_{sol.} = [E_{(tot.)}]$ analisado	Equação 1
$E_{(ini.)} - E_{sol.} = [E_{(ini.)}]$ analisado	Equação 2
$E_{tot.} - E_{ini.} = E_{rfl.}$	Equação 3

Com estas tabelas são feitos os gráficos para análise, utilizados nas etapas de análises, além das imagens obtidas pelo próprio programa de simulação da máscara de visibilidade da abóboda. A primeira, método gráfico, utilizou gráficos de curvas isolux das diferentes situações, em valores absolutos de iluminância, representando o plano de análise, além das máscaras de visibilidade da abóboda celeste, para comparar as áreas de maior intensidade luminosa no campo visual de cada modelo. A segunda etapa, método analítico, foram utilizados gráficos de profundidade X iluminância absoluta ou por relação percentual com o modelo base (SP), para cada parcela de contribuição, em seu respectivo grupo, com valores obtidos através de um corte longitudinal no meio do plano de análise.

Admitiu-se apenas a luz proveniente do Sol e de uma abóboda desobstruída, como condição do céu, na altura do mar. Utilizou-se a variação da latitude para obtenção das inclinações desejadas de incidência do Sol, fixado a longitude em 0° , assim como dia (21/03) e hora (12hr). Estas condições de simulação, sempre com a orientação Norte, ao meio-dia, longitude 0° e desconsiderada a equação de tempo, foi com intuito de eliminar possíveis alterações quanto à simetria da incidência do fluxo luminoso, por isso estas opções que colocam o Sol com azimute no plano Norte-Sul, perpendicular ao plano da abertura do ambiente.

O dia de análise, 21 de março, possui a menor altura solar no período em que é recomendável o uso de sombreamento nas aberturas para o hemisfério Sul, esta condição solar segundo Robins (1986) é a que provoca a pior iluminação nos ambientes construídos, sendo a inclinação do Sol mais baixa, e, portanto mais difícil de ser controlada. Mesmo com o protetor recebendo diferentes formas de insolação, busca não alterar a distribuição de luminâncias em relação à posição do Sol, ou seja, não mudando a magnitude do brilho da abóboda em relação ao Sol, embora mudem as posições geográficas. Através das fórmulas de Treguenza (1993) foi possível calcular a latitude dos locais desejados, a partir da altitude solar e o dia do ano analisado.

Os grupos de análise, caracterizados pelo ângulo de incidência do Sol na superfície superior do protetor, são constituídos por análises em diferentes momentos de insolação, onde a altitude solar provoca a insolação total (100%), parcial (50%) ou nula (0%), da superfície superior do elemento de proteção que também é visível pelo interior do ambiente.

Portanto, com altitude solar de 60° o protetor estará com 100% de sua superfície superior recebendo radiação direta, formando o Grupo 1 com 100% de área insolada (Figura 8). A latitude que produz este ângulo de Sol no hemisfério Sul é $31^\circ 5'$ Sul, em 21 de março, às 12:00h.

Já o Grupo 2, com 50% de área insolada, metade da superfície superior do protetor com radiação direta (Figura 9), a altitude solar é de $73,90^\circ$, correspondendo à latitude de $16^\circ 10'$ Sul.

Para a superfície do protetor não receber radiação direta, Grupo 3, com 0% de área insolada (Figura 10), no hemisfério Sul a latitude é $0^\circ 10'$ Sul, o Sol foi utilizado com angulação de 90° .

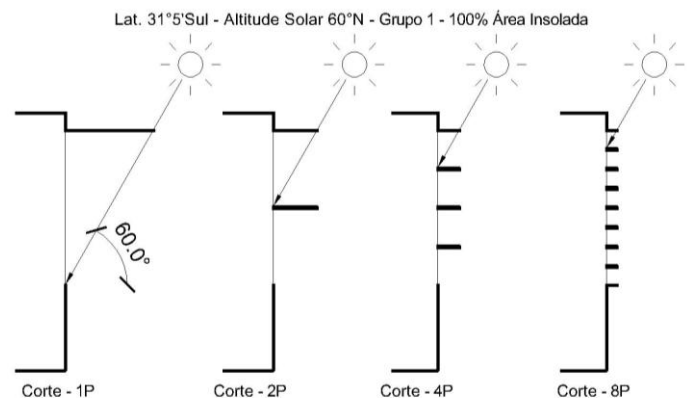


Figura 8 – Insolação incidente no Grupo 1 - 100% insolado.

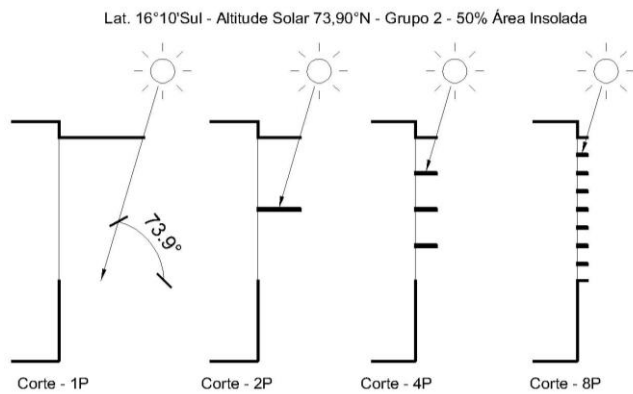


Figura 9 – Insolação incidente no Grupo 2 - 50% insolado.

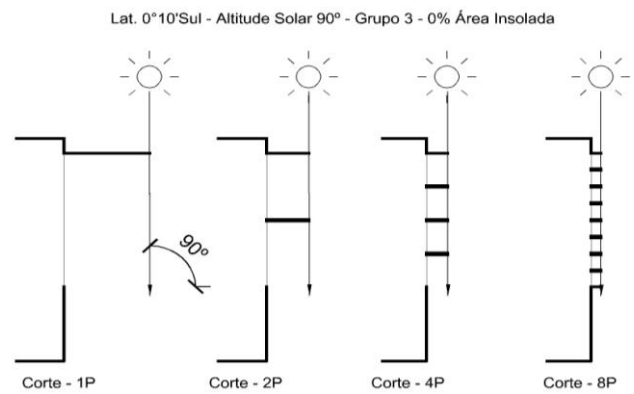


Figura 10 - Insolação incidente no Grupo 3 – 0% insolado.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Pela análise das máscaras de visibilidade da abóboda no grupo 1 (Figuras 11, 12 e 13), observa-se que de uma maneira geral todos os modelos possuem no campo visual áreas de maior brilho, devido a proximidade do Sol, porém foi registrado que quando há maior número de protetores (menor a superfície de proteção), o campo visual se aproxima do modelo SP e portanto registra áreas de maior intensidade luminosa.

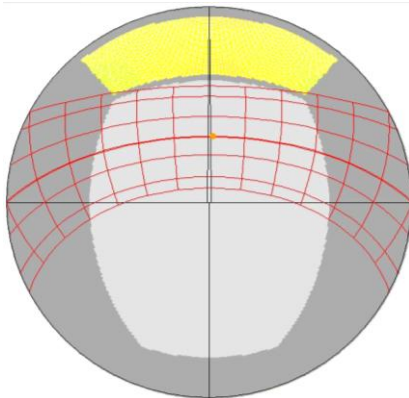


Figura 11 – Máscara de Visibilidade da Abóboda. Modelo SP, grupo 1.

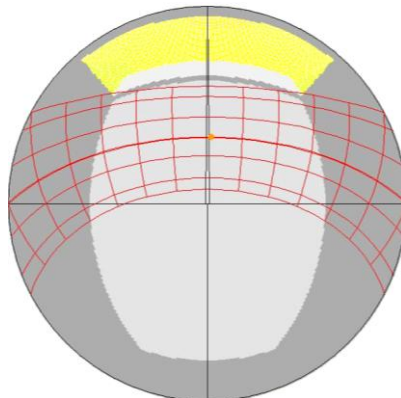


Figura 12 – Máscara de Visibilidade da Abóboda. Modelo 1P, grupo 1.

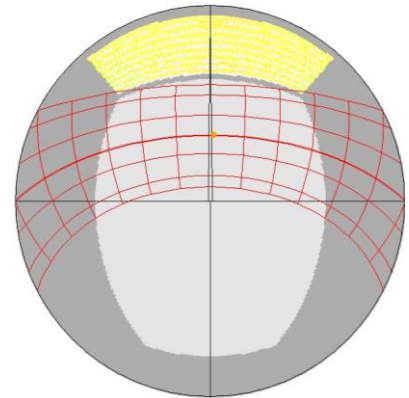


Figura 13 - Máscara de Visibilidade da Abóboda. Modelo 8P, grupo 1.

No grupo 2 (Figuras 14, 15 e 16) observa-se que o campo visual dos modelos apresentam a abóboda com menor luminosidade que no grupo anterior, todavia com o aumento do numero de protetores a visibilidade da abóboda registra aumento de áreas de maior brilho no campo visual sempre se aproximando do modelos SP.

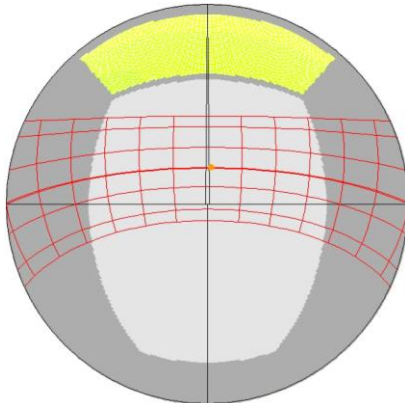


Figura 14 - Máscara de Visibilidade da Abóboda. Modelo SP, grupo 2.

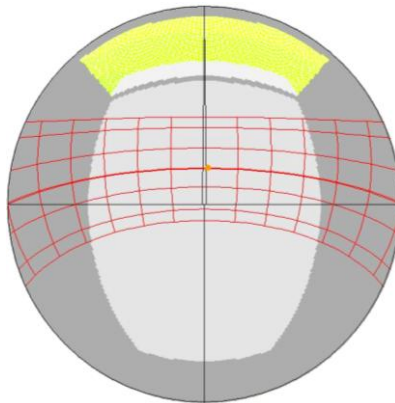


Figura 15 - Máscara de Visibilidade da Abóboda. Modelo 1P, grupo 2.

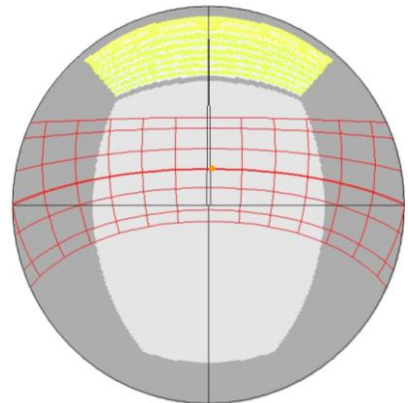


Figura 16 - Máscara de Visibilidade da Abóboda. Modelo 8P, grupo 1.

O grupo 3 (Figuras 17, 18 e 19), observa-se que no campo visual dos modelos são registradas áreas de menor brilho ainda que nos grupos anteriores, todavia o aumento da visibilidade de áreas de maior luminosidade se mostra mais expressivo com a influência de mais protetores.

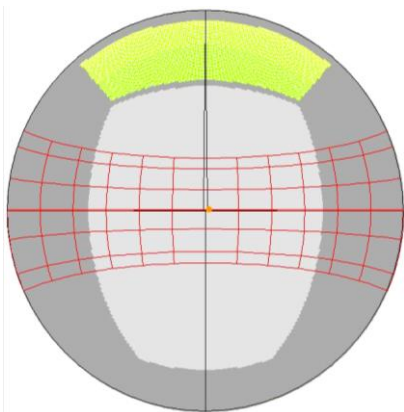


Figura 17 - Máscara de Visibilidade da Abóboda. Modelo SP, grupo 3.

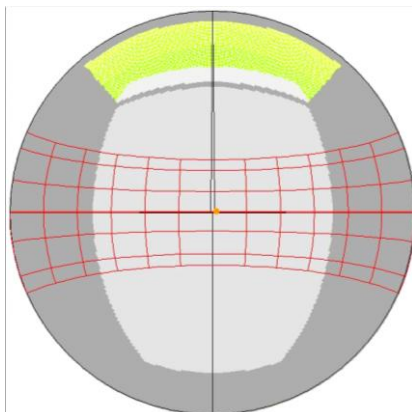


Figura 18 - Máscara de Visibilidade da Abóboda. Modelo 1P, grupo 3.

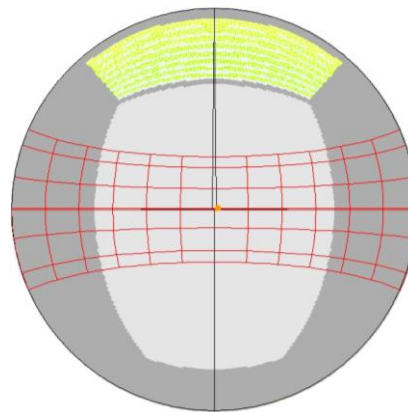


Figura 19 - Máscara de Visibilidade da Abóboda. Modelo 8P, grupo 3.

Na segunda etapa de análise, pelo método analítico, os grupos registraram na iluminância inicial, quase as mesmas relações percentuais que são apresentadas ao lado (Figura 20) no grupo 1. Este comportamento semelhante entre modelos representa que apesar da solução de proteção solar aplica influência de mesma proporção neste primeiro contato com a luz natural no ambiente. Já quanto a semelhança entre grupos, apesar de haver variação na magnitude da iluminação admitida quando avaliada em porcentagem em relação ao modelo sem proteção, registram redução praticamente igual em todos os momentos de insolação.

A iluminância refletida já apresenta variações (Figuras 21, 22 e 23) à medida que é reduzida a insolação dos protetores, as soluções de proteção solar apresentam maiores influências na admissão e distribuição do fluxo. Isso ocorre, pois o modelo sem proteção solar do grupo 3, e também sem insolação direta, já não recebe tanta quantidade de luz, portanto permitindo uma comparação mais equilibrada entre os modelos.

Na comparação entre modelos de cada grupo, foi registrado nos modelos com maiores porcentagens de área visível, maior número de protetores, influência maior na admissão e distribuição de fluxo. Esta relação foi observada já na análise da visibilidade da abóboda celeste, quando foi observado que quanto menor a superfície do protetor, maior o alcance de regiões de maior intensidade luminosa.

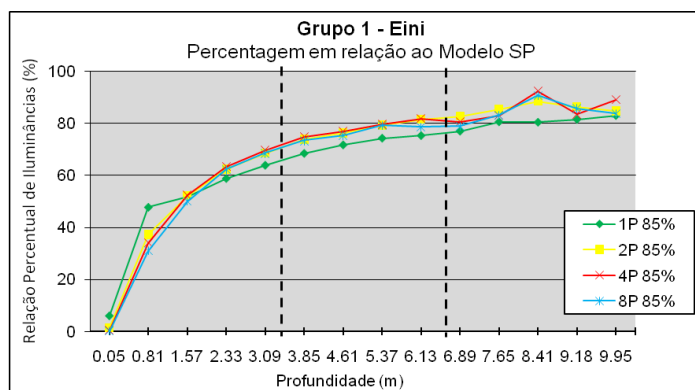


Figura 20 – Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 1 – 1P, 2P, 4P e 8P, todos com 85%, (%Eini).

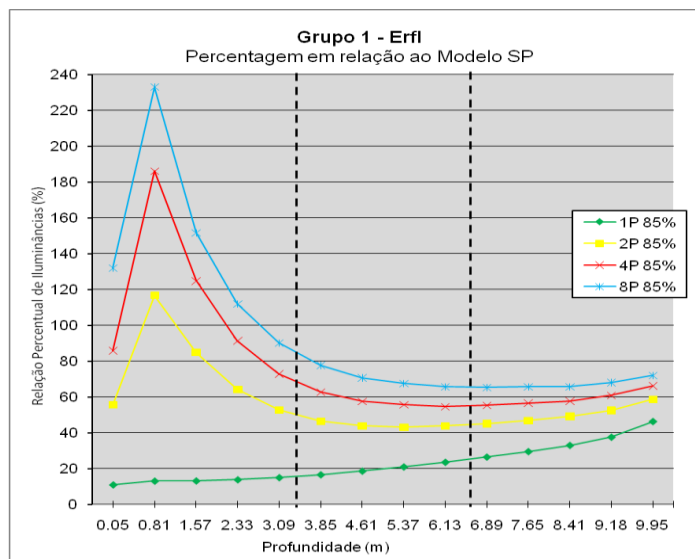


Figura 21 – Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 1 – 1P, 2P, 4P e 8P, todos com 85%, (%ErfI).

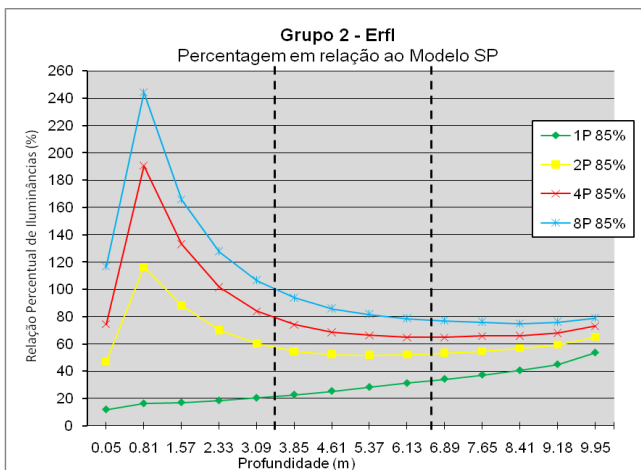


Figura 22 - Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 2 – 1P, 2P, 4P e 8P, todos com 85%, (%Erfi).

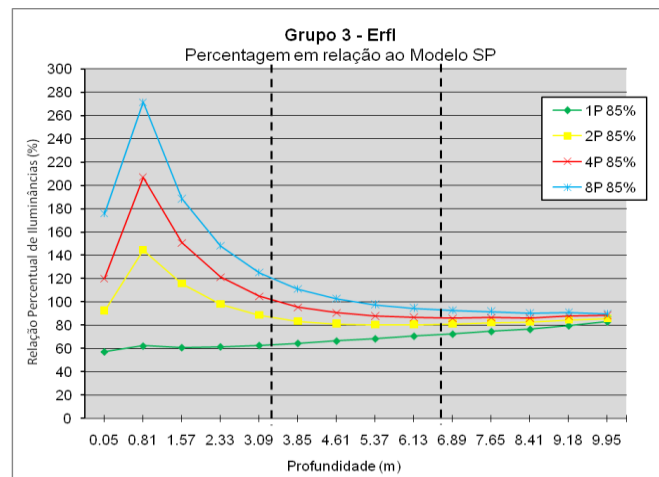


Figura 23 - Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 3 – 1P, 2P, 4P e 8P, todos com 85%, (%Erfi).

A iluminância refletida para os modelos com 0% de refletância no protetor quando comparado apenas os resultados entre modelos de mesmo grupo, o comportamento se mostra praticamente igual. Entre modelos, essa similaridade afirma que as superfícies refletoras dos elementos com maior área visível apresentam enorme influência na distribuição da luz pelo ambiente, caso estejam com as refletâncias adequadas.

Entre grupos, foi observada forte disparidade do grupo 3 (Figura 24) com os demais. Este grupo de análise registrou os maiores percentuais que nos demais momentos de análise, já que como visto quanto à iluminância inicial, este grupo apresentou os menores valores no modelo SP, base da comparação.

Já entre os grupos, nos momentos em que ocorre insolação direta, grupos 1 e 2, os protetores tem menor influência sob a iluminância refletida. Ainda que estejam com refletância nula, em comparação ao modelo desobstruído, que recebe muita luz nestes momentos, têm menos fluxo para ser refletido entre suas superfícies internas. O modelo base do grupo 3, registrou valores bem menores de iluminância refletida, e por isso a relação percentual de seu grupo apresenta percentuais maiores para estas condições de análise.

No resultado final dos modelos, iluminância total, os grupos 1 e 2 (Figuras 25 e 26) apresentam maiores semelhanças, apesar de registrar menores valores no grupo 2, onde também sofre menor insolação. Como pode-se perceber pelos gráficos, o aumento de iluminância no fundo do ambiente ocorre principalmente devido a influência da reflexão da parede posterior.

O grupo 3, sem insolação direta (Figura 27), registra queda muito mais expressiva na região mais próxima a janela e segue aumentando a iluminância admitida. Como neste momento de análise não ocorre incidência do Sol direto nos protetores, a influência da solução ocorre apenas na reflexão da iluminação da abóboda celeste, que tem valores menos expressivos que a radiação solar direta, porém apresenta maior capacidade de direcionar o fluxo para as áreas mais profundas do ambiente.

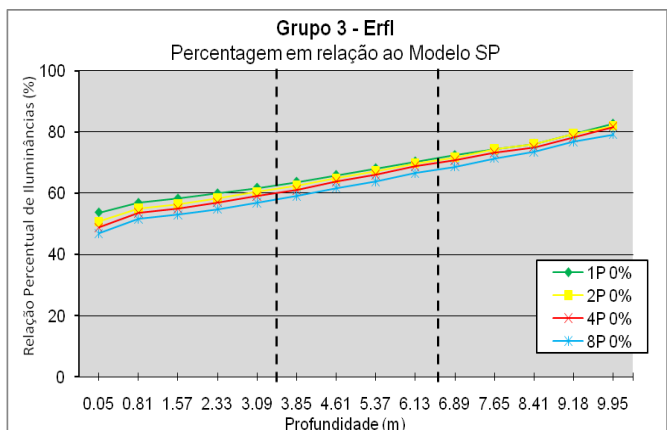


Figura 25 - Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 3 – 1P, 2P, 4P e 8P, todos com 0%, (%Erfi).

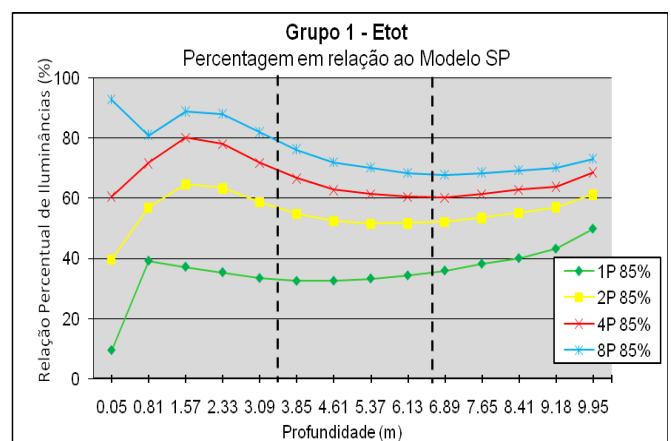


Figura 26 – Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 1 – 1P, 2P, 4P e 8P, todos com 85%, (%Etot).

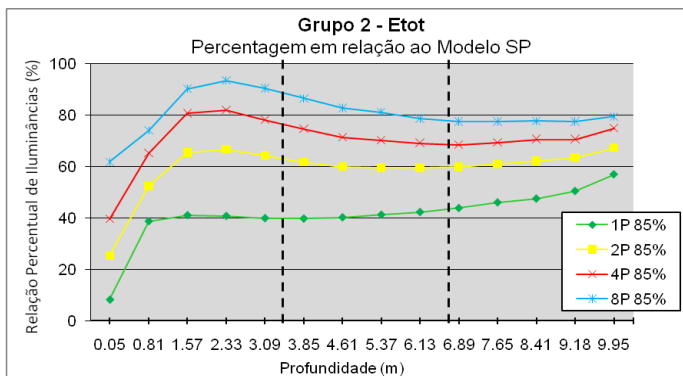


Figura 27 - Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 2 – 1P, 2P, 4P e 8P, todos com 85%, (%Etot).

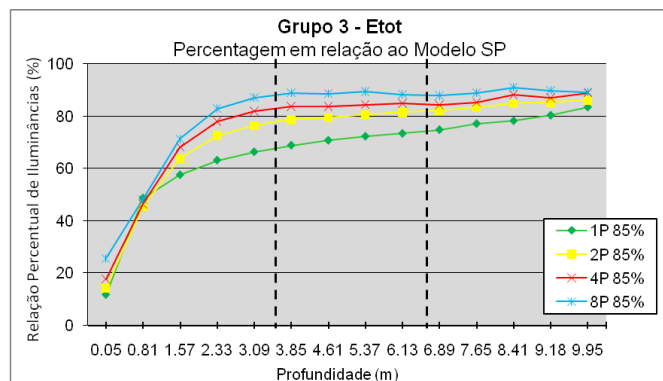


Figura 28 - Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 3 – 1P, 2P, 4P e 8P, todos com 85%, (%Etot).

Assim como apresentado nas outras parcelas de análise, os resultados para as simulações com 0% de refletância nos protetores (Figuras 28 e 29), registraram fortes semelhanças entre os modelos, como também na comparação entre os grupos com insolação direta (1 e 2). O grupo 3 registrou relações percentuais também um pouco maiores em relação aos demais grupos, isso ocorreu pois o modelo desobstruído neste momento de análise apresentou os menores valores entre as simulações do modelo base, como já apresentado nas parcelas de análise anteriores.

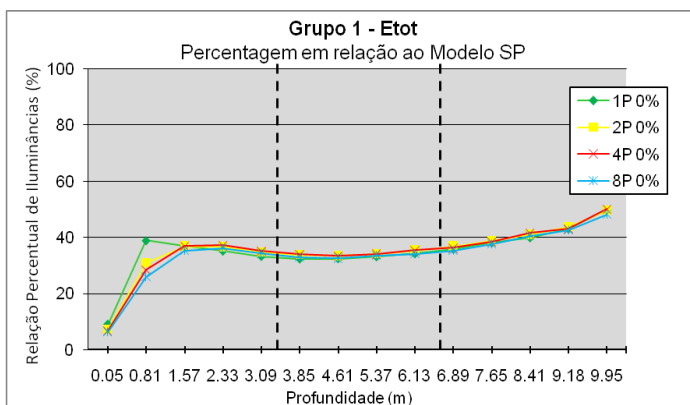


Figura 29 – Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 1 – 1P, 2P, 4P e 8P, todos com 0%, (%Etot).

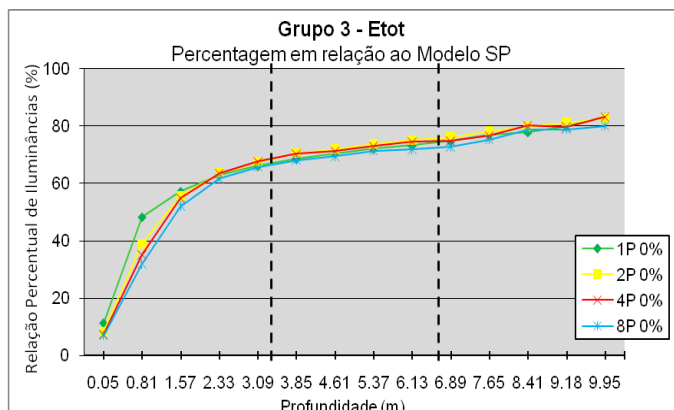


Figura 30 - Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 3 – 1P, 2P, 4P e 8P, todos com 0%, (%Etot).

À medida que se acrescentou protetores, foram obtidos melhores resultados na admissão do fluxo, e também na distribuição pelo ambiente. Porém, ressalta-se que o acréscimo de área visível caracterizou também um grande aumento na quantidade de luz admitida na região mais próxima a janela, isto ocorre devido à faixa de visibilidade da abóboda celeste, que muda conforme a solução arquitetônica escolhida.

Mesmo com a comprovação do redirecionamento do fluxo luminoso, esta ocorrência de acréscimo de iluminação admitida quando comparado o modelo 1P com os demais, é principalmente alterada devido à faixa de visibilidade da abóboda celeste pelo interior do ambiente, figura 30. Quando as superfícies da solução de proteção são reduzidas, ou seja, nas soluções com maior número de elementos foi registrado áreas de maior intensidade luminosa no campo visual do ponto em análise.

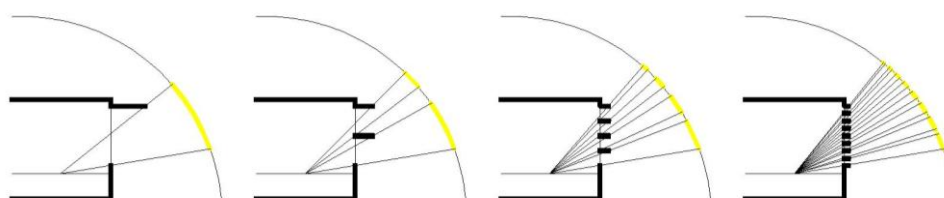


Figura 31 - Esquema de visualização da abóboda pelos modelos.

Nas simulações com 85% de refletância nos protetores observa-se forte relação entre o aumento de área visível da solução de proteção e as condições de iluminação do ambiente. Outra relação registrada ocorreu inversamente proporcional entre o aumento da altitude solar e a queda na admissão de luz, ou seja, o aumento da altitude solar representa queda na admissão de luz pelos modelos. Esta constatação já era esperada, uma vez que com a maior altitude solar, menor a intensidade da luz incidente nas superfícies

visíveis, como também a visibilidade de partes mais brilhosas da abóboda, que fica entorno do Sol, mais afastada do campo visual dos modelos.

5. CONCLUSÕES

Como visto na descrição dos resultados, há sempre alteração nas condições de iluminação do ambiente quando colocado elementos de proteção solar. Em todos os grupos, o modelo desobstruído (SP) obteve valores de iluminância total (E_{tot}) e inicial (E_{ini}) maiores que os modelos com alguma solução de proteção solar, o que caracteriza redução na admissão de luz pelo ambiente quando utilizado elementos de proteção solar na abertura. Os elementos de proteção solar além de bloquearem parte da luz, influenciam no redirecionamento da iluminância oriunda da abóboda celeste, sendo observada esta influencia na análise da iluminância refletida.

Quanto à composição dos elementos de proteção, pode ser notado claramente que a questão da porcentagem de área “visível” da solução de proteção pelo interior do ambiente tem validade: quanto maior área desta foi apresentada na solução, foram obtidos melhores resultados tanto de admissão, como de distribuição do fluxo.

Pode-se afirmar que há uma redução do fluxo admitido pelos modelos, quando for reduzida a insolação direta nos protetores, comparação entre grupos. Mas também é caracterizada certa tendência a reduzir a perda do fluxo admitido pelo modelo desobstruído quando também é reduzida a incidência solar direta.

De uma maneira geral pode-se resumir as considerações desta pesquisa conforme a lista abaixo:

1. A iluminação admitida é reduzida ao aplicar-se qualquer sistema de proteção solar;
2. A iluminância pode ser redirecionada utilizando as superfícies de proteção como elementos de auxílio, compondo a partir do sistema sugerido por porcentagem de área visível, alterando também o alcance da luz em maiores profundidades;
3. A refletância do elemento de proteção tem maior influência nas soluções com maior porcentagem de área visível;
4. A quantidade de luz admitida é reduzida em todos os modelos quando submetido a altitudes solares mais elevadas, ou seja, quando é reduzida a porcentagem de área insolada nos protetores;
5. Os modelos tendem a ter distribuição da luz parecida em todos os momentos de insolação;
6. Confirma-se também a reflexão do fluxo luminoso oriundo apenas da abóboda celeste pelas soluções com porcentagem de área visível;
7. As soluções apresentadas quando submetidas a 0% de insolação, tendem a ter distribuição e admissão mais parecida com o modelo desobstruído.

Afirma-se, portanto que as soluções com maiores porcentagens de área visível apresentam melhores resultados, porém suas superfícies, principalmente quando insoladas podem ser consideradas fontes de ofuscamento, o que deve ser levado em conta na concepção do projeto, observando a disposição dos campos de trabalhos adequadamente pelo ambiente.

6. REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR – 5413: Iluminância de Interiores-terminologia. Rio de Janeiro, mai.1991.
- BITTENCOURT, Leonardo. Uso das Cartas Solares: diretrizes para arquitetos. 4ª ed. Edufal, Maceió, 2004. 109p.
- BOGO, Amílcar Jose. Método para Avaliação da Admissão de Luz Natural Através de Aberturas com Elementos de Controle Solar. 2007. 308 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Curso de Pós - Graduação em Engenharia Civil (PPGEC), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.
- CLARO, Anderson. Modelo Vetorial Esférico para Radiosidade aplicado à Iluminação Natural. Florianópolis, 1998. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, UFSC, 1998.
- CLARO, Anderson; PEREIRA, Fernando R. O.; LEDO, Rafael Z. Apolux - An Innovative Computer Code for Daylight Design and Analysis in Architecture and Urbanism. Building Simulation 2005. Ninth International IBPSA Conferenc. Montreal, 2005.
- CIE Standard General Skies - Spatial distribution of daylight -CIE standard general sky. Commission Internationale de L'Eclairage, Publication CIE. Vienna, 2003.
- KREMER, Adriano. A influência de elementos de obstrução solar no nível e na distribuição interna de iluminação natural: Estudo de caso em protótipo escolar de Florianópolis. Florianópolis, 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC, 2002.
- LITTLEFAIR, Paul. Daylighting and solar control in the building regulations. UK: BRE, 1999.
- LITTLEFAIR, Paul. Daylight, sunlight and solar gain in the urban Environment. Solar Energy Vol. 70, No. 3, pag. 177–185, 2001.
- ROBBINS, Claude L. Daylighting, design and analysis. New York: An Nostrand Reinhold Company, 1986. 325 p.
- TREGENZA P.R. Daylighting Algorithms. School of Architectural Studies- University of Sheffield. U.K.,1993.