



ILUMINAÇÃO NATURAL EM CENTROS DE COMPRAS: ESTRATÉGIAS INOVADORAS PARA ABERTURAS ZENITAIS

Garrocho, Juliana Saiter / Amorim, Cláudia Naves

Programa de Pesquisa e Pós-Graduação - PPG - FAU, Universidade de Brasília - ICC Norte, Campus Universitário Darcy Ribeiro - Asa Norte. Caixa postal -04431 CEP: 70910-900 - Brasília – DF, Brasil.
e-mail: jugarrocho@ibest.com.br / clamorim@unb.br

RESUMO

Este trabalho trata da otimização da iluminação natural em centros de compras, onde prevalecem as aberturas do tipo zenital, através do uso de componentes inovadores empregados nas superfícies iluminantes. Nos últimos anos, vários componentes inovadores surgiram no mercado internacional, com o objetivo de otimizar a entrada de luz natural, evitando o excesso de calor solar direto. No entanto, muitos deles são concebidos para países europeus, e não foram ainda testados para climas tropicais. Alguns componentes inovadores como os painéis prismáticos e painel *Okasolar* foram testados através de simulações com o software *Rayfront*, inseridos em diferentes configurações de aberturas zenitais, para a cidade de Brasília. Foram realizadas 108 diferentes simulações, considerando solstícios e equinócios, às 9:00h, 12:00h e 16:00h verificando os resultados de distribuição de iluminâncias e possível ofuscamento. Os resultados demonstram possíveis desenhos de aberturas zenitais para este clima, e o bom desempenho dos componentes inovadores, sobretudo o painel *Okasolar*, que atua de forma eficaz na distribuição da luz natural e no bloqueio da luz direta excessiva.

1 INTRODUÇÃO

Os componentes inovadores para a luz natural são dispositivos para serem usados nas janelas ou no zenital no auxílio da otimização da quantidade e da distribuição de luz natural no interior de um ambiente (IEA, 2000).

Estes componentes utilizam a luz do zênite e do céu de maneira eficiente, guiando-a com maior profundidade e distribuindo-a uniformemente para o interior do edifício. Além disso, podem reduzir a ocorrência de ofuscamento causado pela luz direta ou pela luz difusa. Dentre os componentes existentes, dois foram estudados como possíveis soluções de projetos em superfícies iluminantes de zenitais para a cidade de Brasília: o *painel prismático* e o *Okasolar*.

Brasília está situada na latitude 15°52' Sul com 1200m de altitude, seu clima pode ser classificado como Tropical de Altitude onde são identificadas duas estações nitidamente distintas: quente-úmida (outubro a abril) e seca (maio a setembro). Dentro do período seco pode ser apontado um terceiro período classificado como quente-seco, que abrange os meses agosto e setembro.

A temperatura do ar média é de 21,6°C. As médias diárias são relativamente baixas, variando entre 14,6°C, no mês de julho, e 21,1°C no mês de outubro, caracterizando dessa forma, um predomínio de temperaturas amenas (MACIEL, 2002).

A umidade relativa do ar média é de 70%. O mês mais seco é agosto, com 56%. A umidade relativa mínima absoluta registrada é de 8%, no mês de setembro. O vento predominante é o vento Leste durante quase todo o ano com velocidade média entre 2 e 3 m/s.

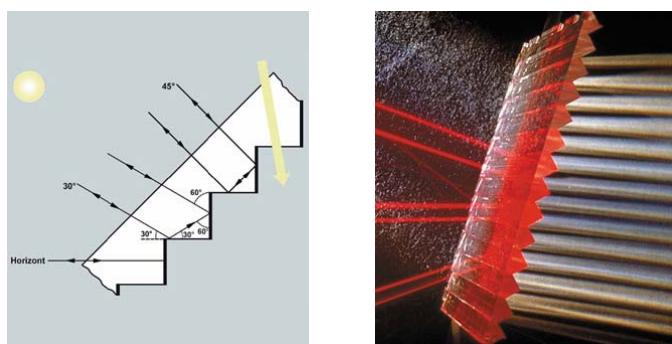
Anualmente a radiação solar é de 2400 horas. Para as quatro estações do ano têm-se valores horários muito próximos e significantemente altos de iluminâncias direta e difusa no plano horizontal para Brasília, por exemplo, às 12h do dia 22 de março (equinócio de outono) têm-se 98.500 lux com céu parcialmente encoberto; em 22 de junho (solstício de inverno) com céu claro - 85.500 lux; no equinócio de primavera, 23 de setembro, com céu parcialmente encoberto o valor de iluminância é igual a 98.000 lux, enquanto para 22 de dezembro (solstício de verão) quando a abóbada celeste

encontra-se obstruída têm-se 21.000 lux (GARROCHO, 2005). Estas condições de iluminância favorecem o uso da iluminação natural como solução de projeto e como diretriz bioclimática, pois para Brasília a situação de desconforto térmico por frio (36%) é superior a de calor (22%) devido às condições noturnas, consequentemente, um certo ganho térmico para ser utilizado nesse período (noturno) seria um aspecto favorável para a edificação.

1.1 Painéis Prismáticos

Os painéis prismáticos são placas finas de acrílico transparente, de um lado lisas e de outro, recortadas em ziguezague. Controlam a luz transmitida por meio da refração. A direção da luz é redirecionada com a passagem pelo prisma ou vidro recortado de forma triangular.

Normalmente, o sistema prismático que redireciona a luz para o teto consiste em duas folhas de prismas com as faces recortadas viradas para dentro, a fim de evitar acúmulo de poeira (ver **fig. 01** e **02**). Quando usadas para o sombreamento refracionam a luz solar direta e transmitem a difusa. Consiste numa seqüência de prismas acrílicos, onde existem dois ângulos que provocam a refração, muitas vezes, são inseridos entre dois vidros para eliminar a manutenção. Podem ser aplicados de diferentes maneiras, fixos ou móveis, nas aberturas laterais ou zenitais. São transparentes, porém distorcem a visão do exterior.



Figuras 01 e 02 - Esquemas com reflexão e refração da luz incidente em um painel prismático.
(Fonte: www.siteco.de)

Como vantagens, os elementos prismáticos são translúcidos, o céu não pode ser visto, mas é perceptível. Assim, não alteram muito a aparência das janelas vistas de dentro. Possibilita a redução do ofuscamento causado pela visão da abóbada celeste; podem reduzir uma luminância de 2000- 6000 cd/m² (céu encoberto visto por uma janela convencional) para 100-300 cd/m², o que resulta em melhoria significativa do conforto visual, especialmente em ambientes de trabalho com uso de computadores (BAKER *et al*, 1993).

Entretanto, requer espaço de 20mm entre os dois vidros para inserir o prisma o que torna seu custo consideravelmente maior do que os sistemas tradicionais (de 200 a 400 € por m²), porém as economias também são importantes (não há necessidade de uso de brises, menor número de luminárias - menos luz artificial durante o dia: menor consumo de energia).

1.2 Okasolar

O sistema *Okasolar* é um sistema fixo que consiste em grelhas igualmente espaçadas, com três faces reflexivas em três dimensões fixadas dentro de uma placa de vidro duplo (ver **fig. 03**). Possibilita a difusão da luz natural uniformemente no interior da edificação e tem efeito de proteção solar variável com as mudanças sazonais, ou seja, admitem uma quantidade de luz direta e energia solar de acordo com a elevação do sol no céu, permitindo que o desempenho do edifício responda conforme a hora e a estação do ano (IEA, 2000).

O componente *Okasolar* pode ser usado sempre que a iluminação natural e o eficaz controle solar forem desejáveis, eliminando assim, a penetração direta dos raios solares e mantendo a visão do exterior. Pode ser instalado tanto em aberturas laterais quanto em zenitais, em sistemas de vidro duplo liso ou em coberturas inclinadas. De acordo com seu fabricante (OKALUX, 2005), as unidades do

Okasolar são neutras na aparência e similares às unidades de vidro isolante convencional quando vistas externamente.

Cada grelha tem superfícies côncavas e convexas que asseguram que toda luz refletida seja difundida, minimizando o efeito “espelho” quando vista externamente. Vista internamente, a aparência das grelhas é mais ou menos pronunciada, dependendo do ângulo e da distância em que se encontra o observador. As unidades do *Okasolar* são compostas por duas folhas de vidro separadas por um caixilho-espacador de alumínio em toda a extensão de seu perímetro que abriga o painel da grelha. A especificação do vidro varia de acordo com as exigências de cada projeto. Entretanto, sendo necessário, no vidro externo pode ser incorporado um revestimento de controle do sol com baixa transmitância solar (como películas, por exemplo).

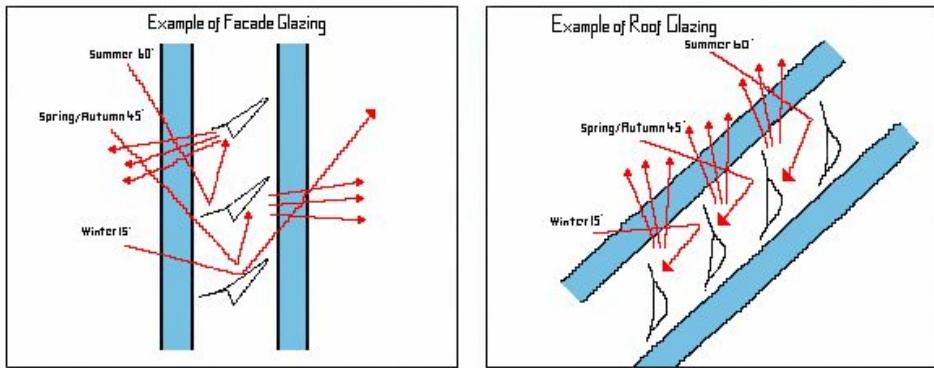


Figura 03 - Exemplo do *Okasolar* fixado em aberturas laterais e zenitais com ângulos de incidência solar a 15°, 45° e 60°. (Fonte: www.okalux.com).

O ângulo e o afastamento da seção transversal original das grelhas permite a penetração e o controle da luz natural de acordo com as exigências do projeto. Reflexões múltiplas entre grelhas adjacentes podem ser ocasionadas por alguma luz que atinja o interior ou pela luz refletida para o exterior. O balanço entre a reflexão interna e a externa irá depender do ângulo incidente e de sua variação durante o dia (IEA, 2000). Contudo, as grelhas do *Okasolar* têm como função: redirecionar a luz direta, permitir a entrada da luz difusa, eliminar o brilho e distribuir a luz mais uniformemente no ambiente.

2 PROCEDIMENTOS DE ESTUDO

Este estudo foi estruturado com o intuito de analisar como acontece o aproveitamento e distribuição da iluminação natural dentro dos espaços adjacentes às aberturas zenitais e questionar a metragem quadrada de área adequada para dimensionamento das superfícies iluminantes de um zenital. A ferramenta de pesquisa escolhida foi a simulação computacional através do software de iluminação natural *RAYFRONT versão 1.04*¹. A ferramenta permite que a leitura e a análise dos resultados seja feita através de valores pontuais e de gradação de cor.

A luz natural é composta por três tipos de fontes, provenientes da abóbada celeste, do sol e da reflexão das superfícies sobre a Terra. Estas componentes são influenciadas diretamente pelas condições do meio ambiente que as está recebendo. Considerando estes aspectos da iluminação natural, a análise foi realizada sob a variação das seguintes características:

2.1 Elaboração do Modelo

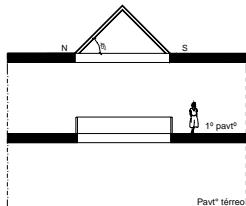
Os modelos foram criados a partir de uma definição das características físicas e ambientais de edifícios comerciais do tipo *centro de compras* de dois pavimentos com vão e cobertura centrais. Possuem um formato retangular com dimensões de 30,00m x 18,00m, área total de 540 m², sendo seu vão central com 10% da área total do piso e abertura zenital acima deste. Esta porcentagem de área baseia-se em recomendações de autores como Vianna e Gonçalves (2001), Mascaró (1975), portanto, o vão possui 54m² de área e a abertura zenital dimensões de 9m x 6m.

¹ Desenvolvido pelo arquiteto alemão Georg Mischler (1998-2000).

2.2 Escolha das configurações dos zenitais

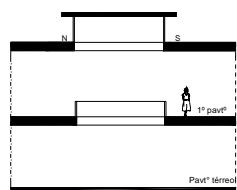
Foram concebidas três tipologias de aberturas zenitais comumente projetadas em edificações do tipo *centro de compras* e de possível modelagem no programa computacional utilizado (isto porque o 3Dsolar é uma versão *teaching*, ou seja, é uma versão que limita a modelagem e exportação para o *Rayfront* de no máximo 40 elementos). São elas:

2.2.1 Teto de dupla inclinação - Zenital 01



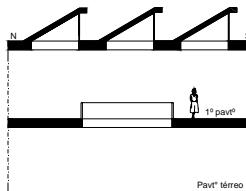
Consiste em uma cobertura com superfícies iluminantes a 45° de inclinação. Área da abertura é igual a 10% da área do piso, ou seja, 54m² (9m x 6m) e altura igual a 3,00m. As “duas águas” do teto de dupla inclinação foram orientadas no sentido norte-sul na simulação computacional, pois a luz incidente vinda do norte é geralmente mais intensa, e a proveniente do sul é um pouco mais “amena” e mais constante.

2.2.2 Lanternin - Zenital 02



Possui quatro lados sendo dois lados opostos e com superfícies iluminantes a 90° no sentido norte/sul, os outros dois no sentido leste/oeste em material opaco; a laje de cobertura foi elaborada com um leve prolongamento sobre as superfícies iluminantes com o intuito de proteger o ambiente interno contra a penetração da radiação solar direta. A abertura no teto possui dimensões de 9m x 6m e as quatro faces perpendiculares à cobertura, 2m de altura (18m² de superfície iluminante em cada lado).

2.2.3 Shed para Sul - Zenital 03



Possui superfície iluminante a 90°, tendo a superfície opaca 30° de inclinação em relação à laje de cobertura. As superfícies iluminantes foram orientadas para sul, pois nesta condição, segundo Vianna e Gonçalves (2001) a abertura fornecerá iluminação unilateral difusa durante a maior parte do ano. Para esta configuração de zenital elaborou-se três superfícies iluminantes com dimensões de 9m x 2m (18m²).

2.3 Critérios de análise da iluminação natural

Estabeleceram-se parâmetros² para análise da iluminação natural nos modelos de aberturas zenitais elaborados a partir dos conceitos relacionados às grandezas fotométricas e termos correlacionados com a luz natural, a fim de avaliar diferentes combinações entre a edificação e o meio ambiente. Os parâmetros utilizados na análise das simulações encontram-se na **Tabela 01** bem como seus respectivos índices.

Tabela 01 - Parâmetros adotados para análise da iluminação natural nos modelos simulados.

PARÂMENTROS	ÍNDICES		
Iluminância³	Mínima (Emín)=750 lux	Média (Eméd)=1000 lux	Máxima (Emáx)=2000 lux
Luminância	Máxima admissível (Lmáx) = 25.000 cd/m ² .		
Uniformidade	$U_0 = \text{Emínima} / \text{Emédia} > 0,8$.		
Contraste	Máximo em qualquer parte do campo de visão – relação: 40:1		
Ofuscamento	Acima de 2500 cd/m ² .		
Fator de Luz Diurna	Moderado / médio = 4%.		

² Os conceitos e parâmetros adotados foram elaborados a partir de consulta dos seguintes autores: Hopkinson *et al* (1975), Butera (1995), Fontoyonont (1998), Baker *et al* (1993), Robbins (1986), Vianna e Gonçalves (2001) e Baker *et al* (2002).

³ Adotou-se como referência para análise dos níveis de iluminância os valores estipulados pela NBR 5413 (ABNT, 1992). Vale salientar que os níveis recomendados pela NBR 5413 são os valores de iluminância média a serem alcançados no ambiente de trabalho em função dos pesos indicados na tabela 2 dessa norma.

2.4 Simulações computacionais

Cada um dos três zenitais elaborados foi modelado primeiramente no programa específico de modelagem - 3DSolar - e, em seguida, exportados para o programa *Rayfront*, onde a análise de resultados é realizada através de valores pontuais (num plano de medição) e de tonalidade de cor (*human sensitivity, greyscale e iso contour ou false color*).

As simulações no programa *Rayfront* foram realizadas aplicando-se nas superfícies iluminantes dos zenitais três materiais distintos - um convencional: o vidro incolor, e dois componentes inovadores: o painel prismático e o *Okasolar*. Para cada tipologia de zenital foram concebidas 36 (trinta e seis) simulações, sendo no total 108 (cento e oito) combinações. As demais superfícies receberam o mesmo tratamento para ambos os modelos:

Paredes – pintura branca com índice de reflexão de 85% (*plastic*) / **Teto** – pintura branca com índice de reflexão de 85% (*plastic*) / **Piso** – granito cinza com índice de reflexão de 40% (*plastic*) /

Guarda-corpo – vidro incolor (6mm) com índice de reflexão de 85% / **Esquadrias** – alumínio natural com índice de reflexão de 70% (*metal*).

Portanto, o índice de reflexão dos materiais de piso, teto, parede, guarda-corpo e esquadrias são invariáveis para todas as simulações. A posição geográfica para simulação dos modelos também é invariável, sendo adotada a latitude de 15°52' Sul da cidade de Brasília, dado que já consta nos arquivos do software *Rayfront*.

2.4.1 Condições de contorno

a) Dias típicos

Optou-se realizar as simulações nos solstícios e equinócios: **22 de março** (equinócio de outono); **22 de junho** (solstício de inverno); **23 de setembro** (equinócio de primavera) e **22 de dezembro** (solstício de verão).

b) Horários

Os horários foram definidos com o objetivo de coincidirem com a duração das atividades e a utilização da iluminação para acontecerem: **9h; 16h** e as **12h**.

c) Tipo de céu

A partir do índice de nebulosidade médio mensal obtido para Brasília através dos dados do INMET - Normais Climatológicas (1960-1990) identificou-se as condições de céu para cada estação do ano, na seguinte escala: de **0 a 3** – céu claro; de **4 a 7** – céu parcialmente encoberto; de **8 a 10** – céu encoberto.

3 ANÁLISE DOS RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

As diversas simulações trouxeram, a cada registro de um grupo de resultados, novas informações a serem analisadas. Dessa forma, no estudo, elaborou-se primeiramente para cada configuração de zenital, tabelas com os dados obtidos em cada simulação de acordo com o dia típico e material simulado nos três horários definidos. No total, foram obtidas seis tabelas⁴ com dados resumidos o que facilitou a descrição e análise dos resultados das simulações computacionais. As análises dos resultados das simulações estão descritas de acordo com as conclusões a cada modelo estudado e material empregado na superfície iluminante.

3.1 Zenital 1 – Teto de dupla inclinação

3.1.1 Vidro incolor

N simulação com o vidro incolor, os níveis máximos de iluminância obtidos foram altíssimos. Às 12h do dia 22 de março, por exemplo, com céu parcialmente encoberto, a iluminância foi de 49.689 lux, correspondente praticamente à metade dos valores da iluminância externa de referência para Brasília:

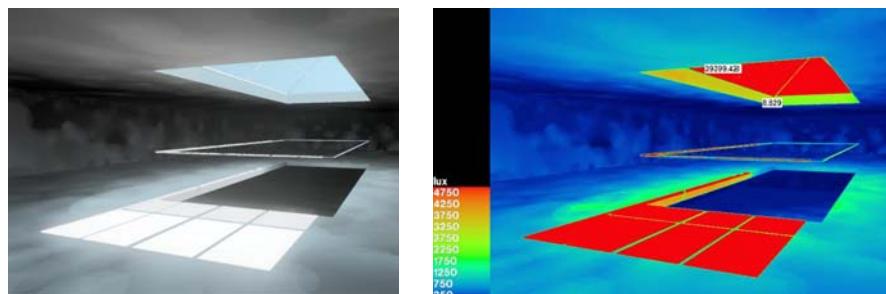
⁴ Ver Garrocho (2005).

85.813,95 lux⁵. O ambiente ficou sujeito à incidência da radiação solar direta, e de ganhos térmicos excessivos, pois o vidro incolor é um material que transmite cerca de 83% da radiação solar incidente (Fator Solar) e possui um dos valores mais altos de coeficiente global de transmissão térmica - 5,8 W/m²K. Portanto, o vidro incolor é um material muito transparente à radiação solar e “bom” condutor de calor para o ambiente interno (ver figs. 04 e 05)

Inevitavelmente, com a luz solar direta ocorre a presença de ofuscamento (luminância maior que 2500 cd/m²) nos ambientes abaixo da abertura zenital e no seu entorno, sendo inexistente a uniformidade na distribuição da iluminação em todos os horários e dias típicos simulados. Entretanto, os valores de Fator de Luz Diurna apresentaram-se dentro ou próximo dos índices de parâmetro adotado, em torno de 4%, considerado este um valor médio ou moderado.

É importante frisar que o índice de Uniformidade de iluminância adotado para avaliação dos resultados das simulações, é um parâmetro retirado da iluminação artificial, e o que será ponderado aqui é a melhoria dele nas diversas alternativas analisadas, e não o valor absoluto.

Portanto, para esta configuração de zenital, teto de dupla inclinação, a área da abertura pode assumir valores menores que os 10% da área de piso, indicado por alguns autores estudados, e não metragens superiores.



Figuras 04 e 05 – Imagem do ambiente modelado e o resultado da simulação em *false color* no dia 22 de junho - 12h (céu claro).

3.1.2 Painel Prismático

Apresentou valores de uniformidade de distribuição da iluminação próximos ao índice adotado como parâmetro em todos os horários e dias simulados. Entretanto, os valores de iluminância média obtidos foram extremamente baixos - menores que 100 lux (em todos as datas e horários simulados), o que pode prejudicar a visualização dos objetos e a execução de determinadas tarefas, como a leitura e a escrita. Isto está diretamente relacionado com a porcentagem de transmissão luminosa do material – 40%, enquanto que o vidro incolor possui 89%. Mas, um fator positivo do painel prismático é com relação ao seu aspecto térmico, apresenta coeficiente global de transmissão térmica (K) igual a 1,6 W/m²K, valor este considerado baixo na condução de calor. Conseqüentemente, a área da superfície iluminante do zenital poderá assumir dimensões acima dos 10% da área de piso, melhorando assim, os níveis de iluminância e possibilitando contrastes adequados no ambiente.



Figura 06 - Simulação com o painel prismático na superfície iluminante: 23/09 às 12h (céu parcialmente encoberto).

⁵ Dados do software *Rayfront*.

3.1.3 Okasolar

Apesar dos níveis de iluminância média encontrarem-se muito abaixo dos 1000 lux estipulados, os valores de iluminância máxima com céu claro e parcialmente encoberto em todos os horários simulados (9h, 12h e 16h) apresentaram índices satisfatórios e próximos ao do parâmetro adotado (2000 lux). Entretanto, não ocorre equilíbrio algum na distribuição da iluminação no ambiente. Em condições de céu encoberto (22 de dezembro), a uniformidade da iluminação é melhor (está acima de 0,89) nos três horários simulados. Apesar disso, esses valores apresentam-se como positivos, pois o *Okasolar* é um sistema que possui coeficiente global de transmissão térmica (K) igual a 1,2 W/m²K e 60% de transmissão luminosa. Admitindo assim, para esta tipologia de zenital, área de abertura superior a 10% da área de piso.

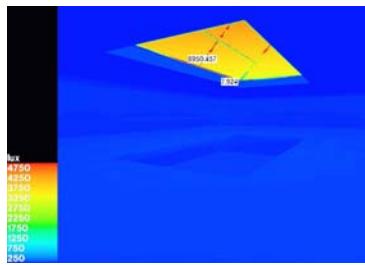


Figura 07 - Zenital 1: 22/12 -12h (céu encoberto).

3.2 Zenital 2 - Lanternin

3.2.1 Vidro incolor

As simulações realizadas nos períodos: solstícios de inverno (22/06- céu claro) e equinócio de primavera (23/09 - céu parcialmente encoberto) no horário das 16h apresentaram alto nível de iluminância máxima o que gera presença de brilho e ofuscamento no ambiente ocasionando contrastes marcantes e desequilíbrio de iluminâncias. No geral, os níveis de iluminância não apresentaram valores significativos para esta configuração de zenital podendo assim, as superfícies iluminantes (voltadas para o sentido norte/sul) possuírem dimensões maiores. Sugere-se, no entanto, em caso de incidência de feixes de luz direta (com altos níveis de iluminância) a inclusão de elementos de controle como estratégia de projeto.

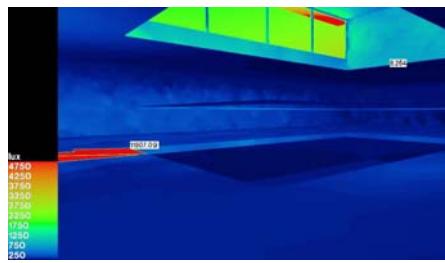


Figura 08 - Zenital 2: 22/06 às 16h (céu claro), incidência de luz solar direta no ambiente.

3.2.2 Painel Prismático

Este componente foi o que apresentou melhores garantias de uniformidade na distribuição da iluminação no ambiente. Entretanto, os níveis de iluminância encontrados nas simulações em todas as datas e horários simulados não são suficientes para que ocorra a percepção visual do ambiente. Para esta configuração de zenital com faces iluminantes voltadas para norte/sul, a dimensão das superfícies que receberam o painel prismático pode ter área iluminante maior bem como menor dimensão no prolongamento da laje de cobertura sobre as mesmas.



Figura 09 - Lanternin - 22 de junho - 9h (céu claro).

3.2.3 Okasolar

Nesta configuração de zenital o componente teve um comportamento semelhante ao do painel prismático apresentando uniformidade na distribuição da iluminação no ambiente em todas as datas e horários simulados. Contudo, o *Okasolar* possui percentual de transmissão luminosa maior – 60% contra 40% dos painéis prismáticos o que permite maior visibilidade do meio externo. Isso é nitidamente visualizado na simulação com o *Rayfront* (ver figs.20, 21, 22 e 23). Sendo assim, a dimensão das superfícies que receberam o componente *Okasolar* pode adquirir maior área iluminante como também, menor dimensão no prolongamento da laje de cobertura sobre as mesmas.



Figura 10 - Simulação com o sistema *Okasolar* nas superfícies iluminantes?: 22 de junho às 9h (céu claro).

3.3 Zenital 3 – Shed para sul

3.3.1 Vidro incolor

Verifica-se nas simulações com este material, valores de iluminância muito baixos, por exemplo, no solstício de inverno, 22 de junho (céu claro) às 9h – $E_{\max} = 282,27$ lux, às 12h – $E_{\max} = 316,70$ lux e às 16h – $E_{\max} = 259,13$ lux. Consequentemente, inexiste uniformidade na distribuição da iluminação, bem como ausência de contrastes marcantes. Desta forma, para a configuração de sheds para sul, a dimensão da superfície iluminante pode admitir dimensões superiores que a utilizada na modelagem e na simulação.

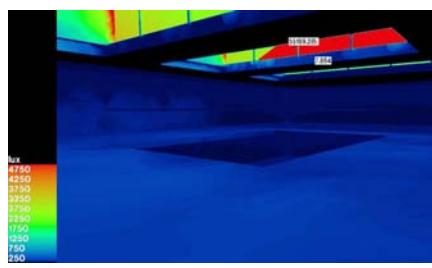


Figura 11 - 22 de junho às 9h (céu claro).

3.3.2 Painel Prismático

Os resultados dos níveis mínimos e médios de iluminância ficaram muito abaixo do parâmetro adotado ($E_{\min} = 750$ lux / $E_{\text{med}} = 1000$ lux), por exemplo - 22/06-12h, céu claro: $E_{\min} = 43,89$ lux; $E_{\text{med}} = 148,82$ lux. Entretanto, os níveis máximos de iluminância apresentaram valores próximos ao do índice de parâmetro (2.000 lux), especialmente quando a abóbada celeste encontrava-se parcialmente encoberta (22/03-12h = 1.556 lux e 23/09-12h = 1.080 lux). Porém, quando se têm simulações com céu encoberto é que se obtém uma melhor uniformidade de iluminação.

3.3.3 Okasolar

Nas simulações com o componente *Okasolar*, os níveis de iluminância encontrados foram muito baixos: 22/12-12h, céu encoberto – $E_{máx} = 57,17$ lux; não possibilitando ofuscamento e nem contrastes marcantes no ambiente, todavia, este componente inovador aplicado nas superfícies iluminantes desta tipologia de zenital permite a uniformidade na distribuição da iluminação, porém um desequilíbrio sensível na luminâncias.

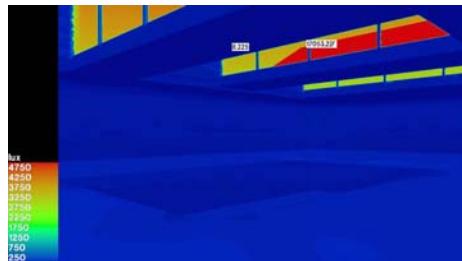


Figura 12- Simulação - 22 /12 às 12h (céu encoberto).

4 CONCLUSÕES SOBRE OS RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

4.1 Material utilizado nas superfícies iluminantes

Dentre os três materiais empregados nas superfícies iluminantes dos zenitais, o que apresentou melhor desempenho luminoso foi o *Okasolar*. Pois, em praticamente todas as simulações realizadas obteve-se o índice de uniformidade na distribuição da iluminação ou valores próximos dele. Além disso, no Zenital 1 - Teto de dupla inclinação, o *Okasolar* demonstrou bom nível de iluminância nas três datas e horários distintos simulados. Diferentemente do componente painel prismático que, apesar de também proporcionar boa distribuição da iluminação não alcançou significativos níveis de iluminância para o ambiente. E, sobretudo, ainda com relação ao desempenho do *Okasolar*, dentre os componentes inovadores simulados é o que apresenta porcentagem de luz visível transmitida (índice de transmissão luminosa) maior: 60% contra os 40% do painel prismático e, especialmente, com relação aos ganhos de calor para o ambiente interno é o componente que possui menor valor de coeficiente global de transmissão térmica, igual $1,2 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

4.2 Configuração das aberturas zenitais

A partir da análise do desempenho luminoso e térmico do material utilizado nas superfícies iluminantes conclui-se que o Zenital 1 - Teto de dupla inclinação apresenta-se como melhor solução de projeto em edifícios do tipo centros de compras na latitude e condições de céu para Brasília. Pois, assegura maiores níveis de iluminância; maior visibilidade do céu (melhor possibilidade de distinção entre dia e noite); valorização da relação entre o espaço interno e o meio externo; maior efeito de monumentalidade espacial; e ainda, uma ambientação agradável e mais humana. Além disso, esta configuração de zenital se apresenta como de fácil e simples execução e pode, sobretudo, juntamente com o componente *Okasolar* privar o ambiente interno de ganhos de calor necessários para seu aquecimento na maior parte das horas do ano em que ocorre o desconforto por frio.

4.3. Utilização do software Rayfront

A utilização da simulação computacional como ferramenta de pesquisa requer do usuário um certo conhecimento em programas computacionais de desenho técnico, além de uma boa máquina que suporte os programas, principalmente um bom processador. Com relação ao *software* de modelagem do *Rayfront* – o 3DSolar mostrou-se de certa forma, de simples aprendizado, sendo possível sua inicialização através de um manual prático elaborado pelo fabricante. Porém, verificaram-se algumas limitações que merecem destaque, como: não permite local de geometria curva ou de paredes não ortogonais, autoriza a inclusão de vistas somente através de janela própria (vistas “prontas”); permite que o objeto seja movido, copiado ou alterado somente através das duas janelas preexistentes e não no objeto em si.

O *Rayfront* tem como aspectos positivos permitir trabalhar com todas as relações de transporte da luz: especulares, inter-reflexões difusas e difração; possibilita modelar as condições de céu de um determinado lugar, além do céu padrão CIE; dispõe de ferramenta para tratamento e conversão de

imagens; permite pré-visualização da imagem e alteração sofisticada das vistas inseridas no 3DSolar; eficiência e confiabilidade. Entretanto, em função da limitação do software, os resultados obtidos na simulação numérica (na forma de leitura de pontos num plano virtual de medição) necessitam da utilização de programas de editoração de texto para serem lidos ou interpretados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ressalta-se que para a correta aplicação dos componentes inovadores para o uso otimizado da luz natural em superfícies iluminantes de um zenital, é de suma importância um maior aprofundamento e conhecimento das tecnologias disponíveis. O conhecimento e a informação são a base de tudo, principalmente no que se refere ao comportamento e propriedades termo-físicas do material a ser utilizado como solução de projeto na busca por uma arquitetura eficiente, em termos luminosos e térmicos, e qualitativamente melhor para o usuário. É importante também, ter conhecimento do clima local, suas peculiaridades e potencialidades, pois este é um fator determinante no correto dimensionamento da abertura zenital como fonte de luz natural no interior da edificação.

Com o auxílio da simulação computacional pode-se concluir que é fundamental um maior estudo e planejamento na etapa inicial do projeto arquitônico do dimensionamento das aberturas zenitais, especialmente, em edifícios de centros de compras. Visto que, muitas vezes, na ânsia de se obter a valorização dos espaços internos e criar aspectos de monumentalidade, a superfície de entrada da iluminação zenital é super dimensionada ou orientada de forma aleatória.

Enfim, somente a partir da disseminação de informações é que a utilização dessas estratégias em larga escala vão tornar-se uma realidade palpável colaborando para uma arquitetura mais sustentável, eficiente do ponto de vista energético e ambiental, onde a luz natural e suas características luminosas e térmicas têm papel preponderante.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) - **NBR 5413: Iluminâncias de interiores.** Rio de Janeiro, 1992.
- BAKER, N.; FANCHIOTTI, A.; STEEMERS, K. **Daylighting in Architecture. A European Reference Book.** James and James Editors, London, 1993.
- BAKER, N. and STEEMERS, K. **Daylighting Design of Buildings.** James and James Editors, London, 2002.
- BUTERA, F. **Architettura e Ambiente. Manuale per il controllo della qualità termica, luminosa e acustica degli edifici.** Etaslibri, Itália, 1995.
- FONTOYNONT, M. (Ed.). **Daylighting Performance in Buildings.** James and James, London, 1998.
- GARROCHO, J. S. "Luz Natural e projeto de Arquitetura: estratégias para iluminação zenital em centros de compras", Dissertação de Mestrado PPG FAU - UnB, Brasília, 2005.
- HOPKINSON, R. G; PETHERBRIDGE, P. & LONGMORE, J. **Iluminação Natural.** Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1975.
- INTERNACIONAL ENERGY AGENCY - IEA. **Daylight in Buildings. A Source Book on Daylighting Systems and Components.** IEA, Washington, USA, 2000.
- MACIEL, A. **Projeto Bioclimático em Brasília: Estudo de caso em edifício de escritórios.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, UFSC, 2002. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br>. Acesso em: Nov. 2003.
- MASCARÓ, L.E. **Iluminação natural nos edifícios.** FAU / USP, São Paulo, 1975.
- OKALUX. **Okasolar: glazing with integral sun control louvers.** Alemanha. Disponível em: www.okalux.com. Acesso em: Agosto de 2005.
- ROBBINS, C. L. **Daylighting, design and analysis.** Van Nostrand Reinhold Co, New York, 1986.
- VIANNA, N. e GONÇALVES, J. **Iluminação e Arquitetura.** UniABC Virtus. São Paulo, 2001.

7 AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio a esta pesquisa pelo Fundo Setorial de Energia (CT-Energ), por intermédio do CNPq (CT-Energ/CNPq).