



ENTAC 2006

A CONSTRUÇÃO DO FUTURO XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído | 23 a 25 de agosto | Florianópolis/SC

ANÁLISE DE DIFERENTES PROCEDIMENTOS DE CÁLCULO DE DISPONIBILIDADE DE LUZ NATURAL CONSIDERANDO ABERTURAS ZENITAIAS

Joaquim C. P. dos Santos (1); Maurício Roriz (2); Márcia S.S. de Andrade (3)

(1) Curso de Engenharia Civil–Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

e-mail: joaquim@smail.ufsm.br

(2) Curso de Engenharia Civil–Universidade Federal de São Carlos, SP, Brasil

(3) Curso de Arquitetura e Urbanismo–Universidade de Cruz Alta, RS, Brasil

RESUMO

Proposta: O cálculo da parcela de luz natural proveniente da abóbada celeste (componente celeste) que incide em um ponto interno de um ambiente, pode ser realizado com diferentes níveis de complexidade, dependendo da consideração de variáveis como a luminância relativa do céu e ângulo de incidência da luz sobre o material transparente. **Método de pesquisa/Abordagens:** Este trabalho apresenta, para aberturas zenitais, o procedimento computacional adotado para o cálculo da componente celeste do Coeficiente de Luz do Dia (CLD), por três diferentes métodos. Este programa computacional considerou em seu desenvolvimento os seguintes passos: Divisão da abóbada celeste em “retalhos”, denominados parcelas do céu; detalhamento da geometria do ambiente considerado, com a localização do ponto dentro do mesmo e a posição da abertura zenithal; cálculo da luminância relativa das parcelas do céu em relação ao zênite e o cálculo da luminância no zênite. **Resultados:** O estudo comparativo dos resultados evidencia a influência da consideração da distribuição de luminâncias do céu de acordo com a posição do sol e com diferentes tipos de céu, e da utilização do valor da Transmissão da Luz Visível para o ângulo de incidência real da luz, avaliando a diferença no cálculo de disponibilidade de luz natural com o uso destes diferentes métodos. **Contribuições/Originalidade:** Este procedimento permite um cálculo mais preciso da disponibilidade de luz natural em pontos de um ambiente, levando-se em consideração o uso de aberturas zenitais.

Palavras-chaves: Coeficiente de Luz do Dia, Disponibilidade de Luz Natural, Aberturas Zenitais.

ABSTRACT

Propose: The calculation of the natural light parcel that coming from celestial vault (celestial component) and arrive on internal point of an environment, can be executed with different complexity levels, depending on the consideration of variable as sky relative luminance and light incidence angle on the transparent material. **Methods:** This work presents, for zenithal openings, the computational procedure adopted for the calculation of the celestial component of the Daylight Coefficient (DLC), by three different methods. This computational program considered in its development the following steps: Division of the celestial vault in pieces, called parcels of the sky; detailing of the considered environment geometry, with the localization of the point and the position of the zenithal opening; calculation of the relative luminance of the sky parcels in relation to the zenith and the calculation of the zenith luminance. **Findings:** This comparative study evidences the influence of the consideration of the sky luminances distribution, according to the position of the sun and different types of sky, and the use of the Visible Light Transmitance value for the real light incidence angle, evaluating the difference in the calculation of natural light availability with the use of these different methods. **Originality/value:** This procedure allows a more precise calculation of the natural light availability in points of an environment, take in consideration the use of zenithal openings.

Keywords: Daylight coefficient, Natural light availability, Zenithal openings

1. INTRODUÇÃO

A possibilidade de previsão, ainda em fase de projeto, dos níveis de iluminação natural em pontos internos de uma edificação coloca sobre o profissional arquiteto uma responsabilidade muito maior em relação às decisões propostas na definição dos espaços. Em contrapartida, é uma ferramenta que permite uma maior qualificação e domínio dos resultados propostos.

O método mais utilizado para cálculo da previsão de iluminação dos pontos internos é o Coeficiente de Luz do Dia, o qual, sob determinadas condições de luz exterior difusa, relaciona a iluminância de um ponto qualquer no interior de um ambiente com a de um ponto externo em um plano horizontal, sem obstáculos. Esse método é baseado na consideração dos vários caminhos através dos quais a luz natural pode alcançar um ponto no interior de uma edificação, que resulta na divisão do fluxo luminoso admitido em três componentes: CC – Componente celeste; CRE – Componente Refletida Externa e CRI – Componente Refletida Interna.

Para o caso de aberturas zenitais, que foram o objetivo desse trabalho, a componente celeste é a maior parcela de luz a ser considerada. Desse modo, é muito importante o cálculo preciso desta componente na previsão de luz. Para um cálculo mais correto dessa componente é necessária a definição na abóbada celeste da área “visualizada” a partir do ponto interno considerado, as iluminâncias das parcelas que a compõem, a posição das mesmas no céu e, consequentemente, o ângulo de incidência da luz proveniente de cada uma das parcelas sobre a superfície transparente.

Esse trabalho analisa três diferentes métodos de cálculo da componente celeste para o caso de aberturas zenitais. Um primeiro método (M1), que considera o céu com distribuição uniforme de luminâncias e o valor da transmitância da luz visível do elemento transparente para o ângulo de incidência de zero graus (incidência normal). O segundo método (M2), que considera o céu com distribuição não uniforme de luminâncias e o valor da transmitância da luz visível para incidência normal. E um terceiro método (M3), que considera o céu com distribuição não uniforme de luminâncias e o valor da transmitância da luz visível do elemento transparente de acordo com o ângulo de incidência da luz sobre o mesmo.

2 OBJETIVOS

Este artigo avalia as diferenças no cálculo de disponibilidade de luz natural que ocorrem com o uso de diferentes métodos de cálculo da componente celeste do CLD, que têm como diferenças básicas a consideração da distribuição relativa das luminâncias das parcelas do céu e o uso do ângulo real de incidência da luz sobre o material transparente no valor da transmitância da luz visível.

3 METODOLOGIA

Para a execução do cálculo por estes três métodos foi utilizado um programa computacional que considerou em seu desenvolvimento os seguintes procedimentos:

- a) Divisão da abóbada celeste em “retalhos”, denominados parcelas do céu, os quais têm como coordenadas no céu os ângulos de altura em relação ao horizonte e de azimute em relação ao Norte, girando no sentido horário. Para essa divisão foi adotada a variação de dois (2) graus, tanto no ângulo da altura como do azimute, considerando-se como pontos de partida, ou seja, ângulo zero, no horizonte para a altura e na direção do norte verdadeiro para o azimute. Essa divisão define um número de 8100 parcelas de céu, resultado da divisão da altura em 45 intervalos entre 1° e 89° , e do azimute em 180 intervalos entre 0° e 358° , ambos de 2 em 2 graus. Um exemplo dessa divisão, observado em uma projeção estereográfica da abóbada, é apresentado na Figura 1, sendo considerada a variação de 10 em 10 graus para melhor visualização.
- b) Definição da geometria do ambiente, considerando a localização do ponto dentro do mesmo e a posição da abertura zenital. A geometria do ambiente para os cálculos realizados nesse trabalho foi definida com uma largura de 4,00 m, comprimento de 6,00 m e pé direito de 3,00 m, sendo considerado a altura da base de trabalho a 0,75m, sendo adotada neste ambiente uma abertura zenital de 1,00m x 2,00m, com posicionamento lateralizado, de acordo com a Figura 2.

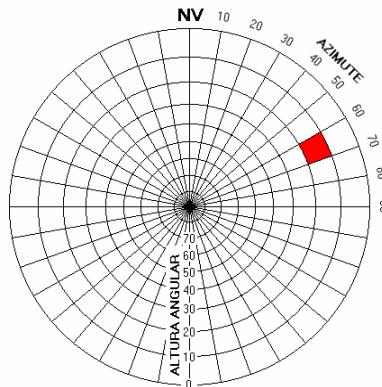


Figura 1: Exemplo de divisão da abóbada celeste em “retalhos” (parcelas) de 10 em 10 graus

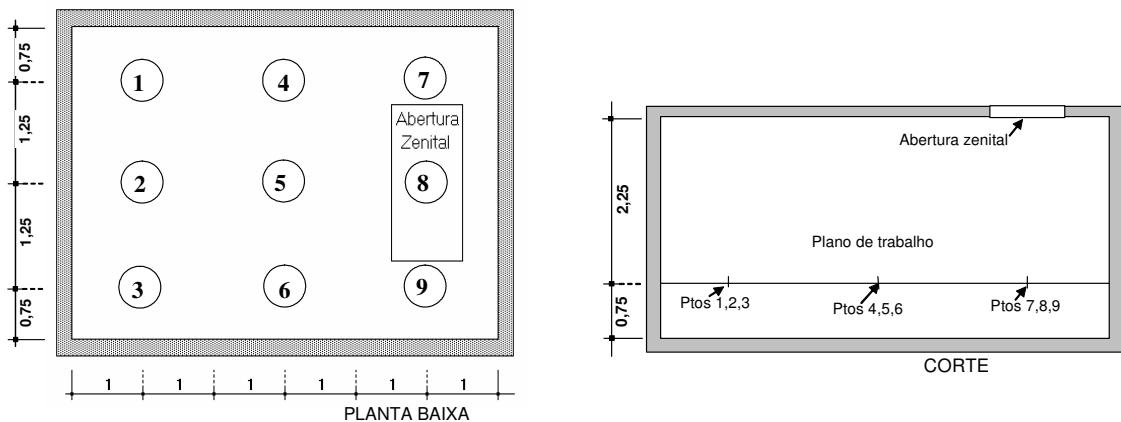


Figura 2: Definição das medidas e geometria do ambiente em estudo - planta baixa e corte

A partir desses dados, utilizando-se cálculos trigonométricos, foi possível a definição da área relativa da abóbada celeste visualizada a partir do ponto, através da abertura zenital. Esta área na abóbada fica então limitada por valores de ângulos de alturas e azimutes, sendo composta de parcelas de céu, tendo as mesmas coordenadas já definidas. A Figura 3 apresenta o contorno das áreas visualizadas na abóbada celeste a partir dos pontos considerados no interior do ambiente estudado (1 a 9), considerando a abertura zenital lateralizada.

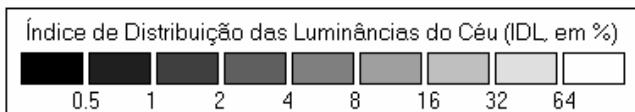
c) Cálculo da luminância relativa das parcelas do céu em relação à luminância no zênite. Assim, temos uma ponderação da luminância de cada parcela do céu, conforme sua posição na abóbada celeste.

Este cálculo foi efetuado conforme Perez e all (1993) apud Munner (1997), sendo adotada a cidade de Cruz Alta no Rio Grande do Sul, latitude 28,65 S e longitude 53,60 W, e considerado três diferentes tipos de céu; céu claro (28/10/2003), parcialmente encoberto (29/11/2003) e encoberto (13/12/2003), e, e o dia 28/10/2003. A Figura 4 apresenta, para este caso, em projeções estereográficas sobre o plano horizontal, um exemplo de distribuição de luminância para diferentes horas do dia, obtida para o céu claro.

Para escala de cores do desenho destas figuras, definiu-se um Índice de Distribuição das Luminâncias do Céu (IDL), conforme a seguinte equação:

$$IDL = 100 * (Lpt-Lmin) / (Lmax-Lmin) \quad (\%)$$

Lpt = Luminância média da parcela do céu ; Lmax = Luminância máxima do céu na hora; Lmin = Luminância mínima



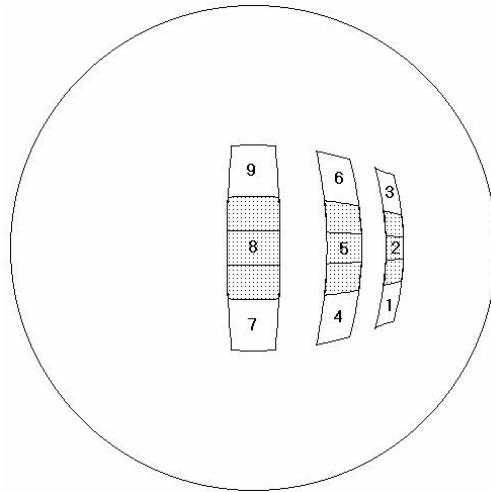


Figura 3: Áreas relativas da abóbada celeste visualizadas a partir dos pontos internos, através da abertura zenital considerada

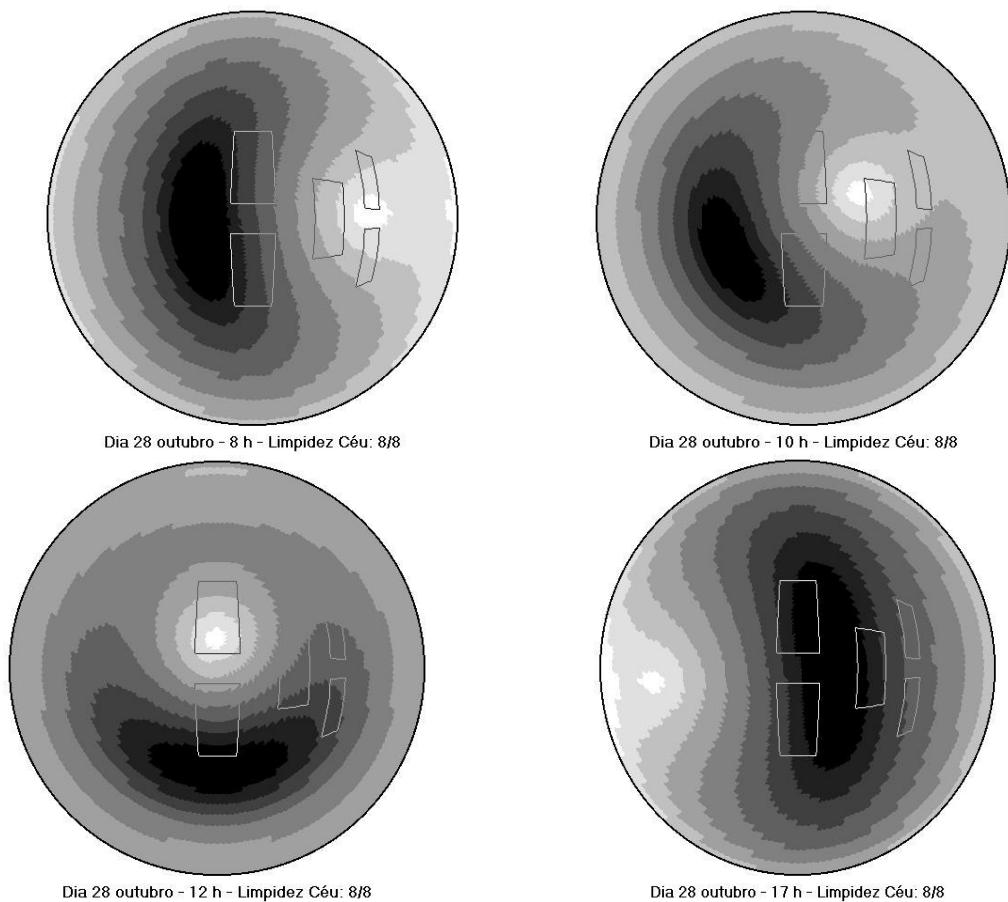


Figura 4: Representação da distribuição de luminâncias do céu para o dia 28/10/2003. Cruz Alta- RS. Céu limpo-limpidez 8/8

d) Cálculo da luminância no zênite, de acordo com Perez e all.(1990) apud Munner (1997). Segundo o autor, esse modelo de cálculo independe do local, estação do ano e tipo de céu, pois possui coeficientes variados de acordo com a intensidade da radiação direta e difusa, com a limpeza do céu e com a posição do sol na abóbada celeste. Este cálculo foi efetuado baseado em dados de radiação solar obtidos para a cidade de Cruz Alta para os diferentes dias e tipos de céu observados no cálculo anterior.

A partir desses procedimentos, fica definido na abóbada celeste a área relativa visualizada a partir do ponto interno considerado, as luminâncias das parcelas que a compõem, a posição da mesma no céu e, consequentemente, o ângulo de incidência da luz proveniente de cada uma das parcelas sobre a superfície transparente.

Com esses dados é possível o cálculo da parcela celeste de contribuição da luz difusa sobre um ponto interno, usando-se qualquer dos métodos estudados nesse trabalho, os quais são apresentados a seguir.

3.1 MÉTODO DO COEFICIENTE DE LUZ DO DIA (CLD) - M1

Esse método considera a luminância uniforme das parcelas do céu e a transmitância da luz visível para o ângulo normal de incidência (T_{vn}). A componente celeste (CC) do CLD é obtida de forma simplificada, sendo feito o cálculo da soma das áreas das parcelas de céu observadas pelo ponto e o cálculo da área relativa total da abóbada celeste, levando-se em consideração o cosseno do ângulo de incidência da luz sobre a superfície horizontal considerada ($\cos(90-\text{Alt})$), por:

$$\begin{aligned} Ap &= \text{Cos}(Alt) \cdot (\pi / 90)^2 \cdot \text{Cos}(90-\text{Alt}) \\ Av &= \sum Ap \text{ visualizadas} \\ At &= \sum Ap \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ap &= \text{Área de cada parcela do céu} \\ Av &= \text{Área da abóbada visualizada a partir do ponto interno} \\ Alt &= \text{Altura angular do centro da parcela} \\ At &= \text{Área total da abóbada celeste} \end{aligned}$$

Em seguida a soma das áreas visualizadas a partir do ponto interno é multiplicada pela transmitância da luz visível do elemento transparente considerado para incidência no ângulo normal (T_{vn}).

A componente celeste do CLD é então calculada fazendo-se uma relação entre a soma das parcelas que são visualizadas pelo ponto através do elemento transparente e a área relativa total da abóbada celeste, que seria a máxima área possível de ser visualizada por um ponto localizado sobre uma superfície horizontal.

$$\text{CLD(CC)} = (Av \cdot T_{vn} / At) \cdot 100 (\%)$$

3.2 MÉTODO DO COEFICIENTE DE LUZ DO DIA RELATIVA (CLDR) - M2

Nesse método, além das áreas relativas das parcelas do céu que são observadas pelo ponto interno, são consideradas as luminâncias de cada parcela. Dessa maneira, o cálculo da componente celeste do CLD é feito pela relação entre a soma das iluminâncias do céu que passam pelo elemento transparente e incidem sobre o ponto e a iluminância total da abóbada celeste.

O cálculo da iluminância de cada parcela (ΔIL) é dado pela multiplicação de sua luminância relativa (L) pela luminância no zênite (L_z) e por sua área (Ap).

O total de iluminância do céu incidindo sobre um ponto em um plano horizontal (IL_t), sem anteparos, é calculado pelo somatório das iluminâncias de todas as parcelas da abóbada celeste, conforme fórmulas abaixo:

$$\Delta IL = L \cdot L_z \cdot Ap$$

$$IL_t = \sum \Delta IL$$

A iluminância total sobre o ponto interno (IL_p) será calculado pelo somatório das iluminâncias das parcelas observadas pelo ponto (ΔIL_{vis}), multiplicado pela T_{vn} do material transparente, ou seja:

$$IL_p = \sum \Delta IL_{vis} \cdot T_{vn}$$

Resultando para o cálculo do Coeficiente de Luz do Dia Relativa (CLDR):

$$\text{CLDR(CC)} = (\text{ILp} / \text{ILT}) \cdot 100 \text{ (%)}$$

3.3 MÉTODO CLDR COM ÂNGULO DE INCIDÊNCIA REAL(CLDRA) – M3

Esse método diferencia-se do anterior por utilizar a transmitância da luz visível do elemento transparente considerando o ângulo de incidência da luz proveniente de cada parcela do céu sobre o elemento transparente. Dessa maneira, o cálculo da iluminância sobre o ponto é calculado pelo somatório da iluminância de cada parcela do céu observada pelo ponto, multiplicada pela Transmitância no Visível (Tv) relacionada ao ângulo de incidência da luz da parcela sobre a superfície transparente (α). Nesse caso:

$$\text{ILp} = \sum (\Delta(\text{IL})_{\text{vis}} \cdot \text{Tv})$$

$$\text{CLDRA(CC)} = (\text{ILp} / \text{ILT}) \cdot 100 \text{ (%)}$$

Para a abertura zenithal considerada na posição horizontal $\alpha = (90 - \text{Alt})$.

O cálculo de Tv é realizado de acordo com o tipo de material e utilizando-se trabalho de Santos e Roriz (2005).

4 RESULTADOS

Os cálculos da componente celeste do CLD pelos diferentes métodos foram efetuados para o ambiente apresentado na figura 2, considerando-se como elemento transparente o vidro incolor 5 mm., sendo feito um relacionamento entre os resultados obtidos pelos diferentes métodos.

A comparação entre os métodos M1 e M2 ressalta a influência da consideração da distribuição de luminância no céu no cálculo do CLD. A análise comparativa entre os métodos M1 e M3 evidencia as diferenças relacionadas tanto à não consideração da distribuição relativa de luminâncias na abóbada celeste como à influência do ângulo de incidência da luz visível no material transparente. As diferenças entre os resultados dos métodos M2 e M3 estão relacionadas apenas à consideração do valor da transmitância da luz visível para o ângulo de incidência verdadeiro.

A tabela 1, a seguir, informa os valores de diferença de iluminância relativa ($\Delta\text{ilum}_{\text{rel}}$) entre os métodos M1 e M2, considerando diferentes horas do dia e tipos de céu.

Os cálculos de $\Delta\text{ilum}_{\text{rel}}$ foram obtidas pelas fórmulas abaixo:

$$\Delta \text{ilum}_{\text{rel}} = (M_1 - M_2) / M_2$$

Tabela 1: Valores de diferença de iluminância relativa ($\Delta\text{ilum}_{\text{rel}}$) entre os métodos M1 e M2, considerando diferentes horas do dia e tipos de céu

Tipo Céu	CÉU CLARO			CÉU PARCIALMENTE ENCOBERTO			CÉU ENCOBERTO		
	PTO 02 $\Delta \text{ilum}_{\text{rel}}$	PTO 05 $\Delta \text{ilum}_{\text{rel}}$	PTO 08 $\Delta \text{ilum}_{\text{rel}}$	PTO 02 $\Delta \text{ilum}_{\text{rel}}$	PTO 05 $\Delta \text{ilum}_{\text{rel}}$	PTO 08 $\Delta \text{ilum}_{\text{rel}}$	PTO 02 $\Delta \text{ilum}_{\text{rel}}$	PTO 05 $\Delta \text{ilum}_{\text{rel}}$	PTO 08 $\Delta \text{ilum}_{\text{rel}}$
9	-0,62	-0,71	0,61	-0,60	-0,68	0,56	0,14	-0,07	-0,11
11	0,14	-0,16	-0,34	0,14	-0,20	-0,36	0,14	-0,05	-0,12
13	1,00	0,89	-0,34	1,33	0,71	-0,43	0,00	-0,02	0,11
15	1,00	1,57	0,64	1,00	1,57	1,02	0,14	-0,05	0,11
17	0,33	0,94	0,90	0,75	1,4	1,79	0,33	-0,05	0,11

A tabela 2, a seguir, informa os valores de diferença de iluminância relativa ($\Delta \text{ilum}_{\text{rel}}$) entre os métodos M1 e M3, considerando diferentes horas do dia e tipos de céu.
Os cálculos de $\Delta \text{ilum}_{\text{rel}}$ foram obtidas pelas fórmulas abaixo:

$$\Delta \text{ ilum}_{\text{rel}} = (M_1 - M_3) / M_3$$

Tabela 2: Valores de diferença de iluminância relativa ($\Delta \text{ilum}_{\text{rel}}$) entre os métodos M1 e M3, considerando diferentes horas do dia e tipos de céu

Tipo Céu	CÉU CLARO			CÉU PARCIALMENTE ENCOBERTO			CÉU ENCOBERTO		
	PTO 02 $\Delta \text{ ilum}_{\text{rel}}$	PTO 05 $\Delta \text{ ilum}_{\text{rel}}$	PTO 08 $\Delta \text{ ilum}_{\text{rel}}$	PTO 02 $\Delta \text{ ilum}_{\text{rel}}$	PTO 05 $\Delta \text{ ilum}_{\text{rel}}$	PTO 08 $\Delta \text{ ilum}_{\text{rel}}$	PTO 02 $\Delta \text{ ilum}_{\text{rel}}$	PTO 05 $\Delta \text{ ilum}_{\text{rel}}$	PTO 08 $\Delta \text{ ilum}_{\text{rel}}$
9	-0,55	-0,70	0,61	-0,53	-0,67	0,56	0,33	-0,05	-0,11
11	0,33	-0,12	-0,34	0,33	-0,18	-0,36	0,33	-0,02	-0,12
13	1,67	1,00	-0,34	1,67	0,80	-0,43	0,00	-0,02	0,11
15	1,67	1,77	0,64	1,00	1,77	1,02	0,33	-0,02	0,11
17	0,60	1,00	0,90	1,00	1,57	1,79	0,60	-0,02	0,11

A tabela 3 apresenta os valores de diferença de iluminância relativa ($\Delta \text{ilum}_{\text{rel}}$) entre os métodos M2 e M3, considerando diferentes horas do dia e tipos de céu.

Nesse caso, os cálculos de $\Delta \text{ilum}_{\text{rel}}$ foram obtidas pelas fórmulas abaixo:

$$\Delta \text{ ilum}_{\text{rel}} = (M_2 - M_3) / M_3$$

Tabela 3: Valores de diferença de iluminância relativa ($\Delta \text{ilum}_{\text{rel}}$) entre os métodos M2 e M3, considerando diferentes horas do dia e tipos de céu

Tipo Céu	CÉU CLARO			CÉU PARCIALMENTE ENCOBERTO			CÉU ENCOBERTO		
	PTO 02 $\Delta \text{ ilum}_{\text{rel}}$	PTO 05 $\Delta \text{ ilum}_{\text{rel}}$	PTO 08 $\Delta \text{ ilum}_{\text{rel}}$	PTO 02 $\Delta \text{ ilum}_{\text{rel}}$	PTO 05 $\Delta \text{ ilum}_{\text{rel}}$	PTO 08 $\Delta \text{ ilum}_{\text{rel}}$	PTO 02 $\Delta \text{ ilum}_{\text{rel}}$	PTO 05 $\Delta \text{ ilum}_{\text{rel}}$	PTO 08 $\Delta \text{ ilum}_{\text{rel}}$
9	0,17	0,04	0,00	0,17	0,04	0,00	0,17	0,02	0,00
11	0,17	0,05	0,00	0,17	0,02	0,00	0,17	0,02	0,00
13	0,33	0,05	0,00	0,33	0,05	0,00	0,12	0,00	0,00
15	0,33	0,07	0,00	0,33	0,07	0,00	0,17	0,02	0,00
17	0,20	0,05	0,00	0,25	0,07	0,00	0,20	0,02	0,00

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

As figuras 5, 6 e 7 apresentam graficamente os resultados de $\Delta \text{ilum}_{\text{rel}}$ entre os métodos M1 e M2, M1 e M3 e entre M2 e M3, respectivamente. Estas figuras permitem a análise para diferentes tipos de céu e horas do dia, variáveis que acarretam diferentes distribuições relativas de luminâncias do céu, e também para diferentes pontos internos, o que influencia no ângulo de incidência da luz sobre o material transparente e nas parcelas da abóbada celeste que projetam luz sobre o ponto.

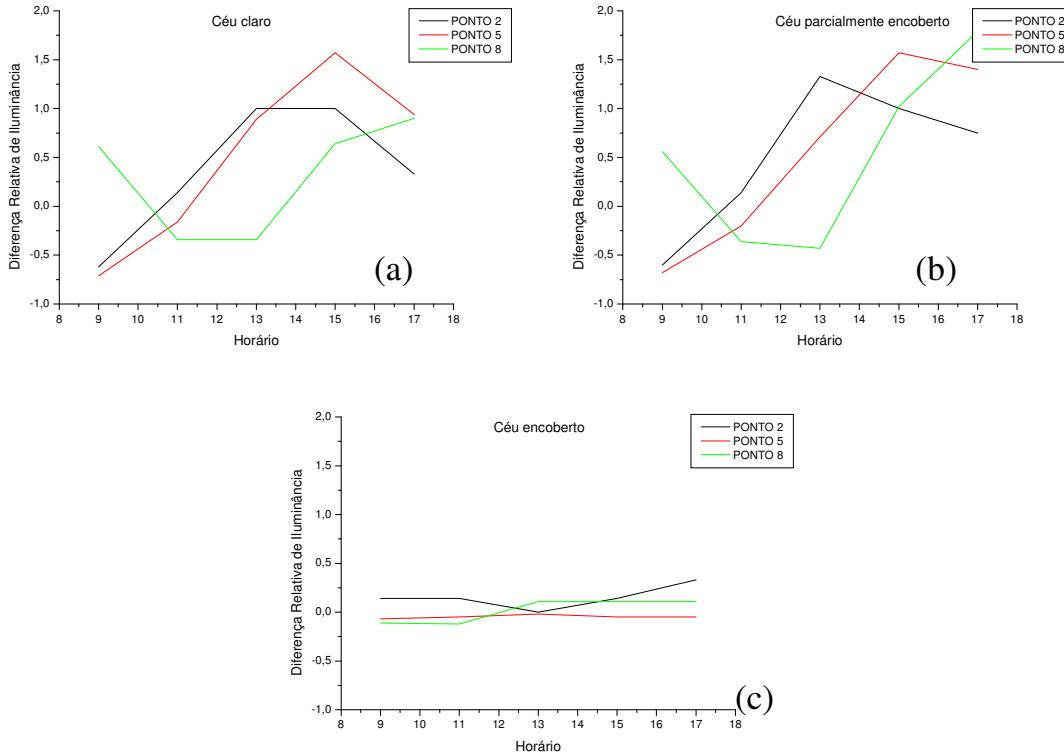


Figura 5: Variação da diferença de iluminância relativa ($\Delta\text{lum}_{\text{rel}}$) entre os métodos M1 e M2, para diferentes horas do dia e tipos de céu

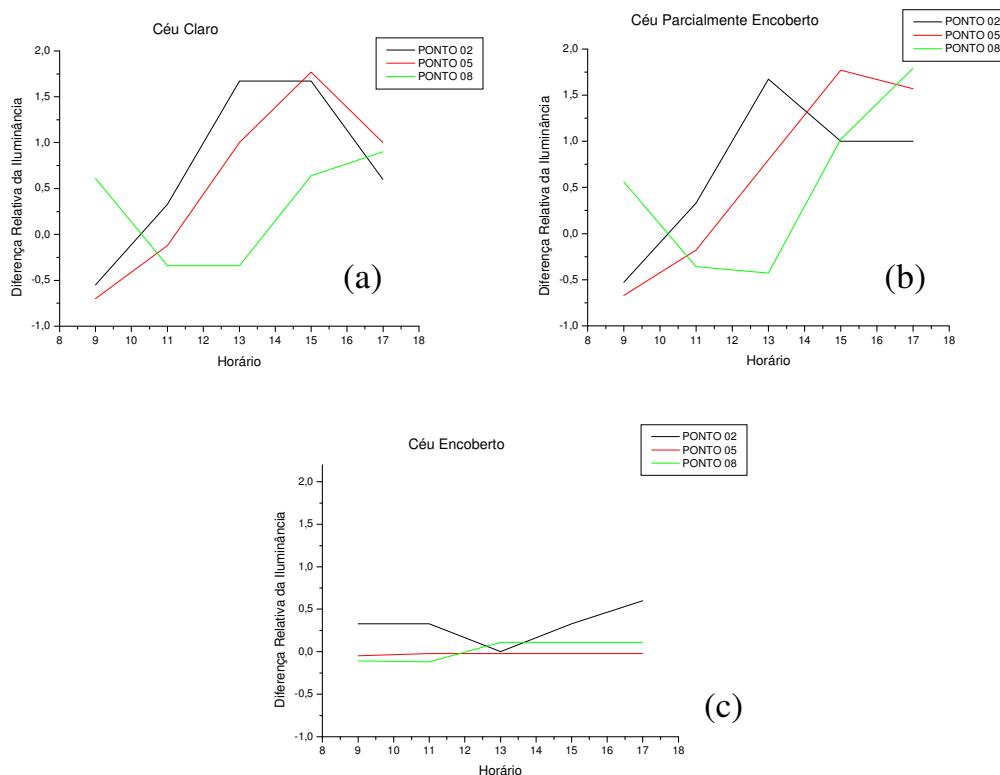


Figura 6: Variação da diferença de iluminância relativa ($\Delta\text{lum}_{\text{rel}}$) entre os métodos M1 e M3, para diferentes horas do dia e tipos de céu

Na análise comparativa entre os valores obtidos pelos métodos M1 e M2 observa-se que o céu claro e o semi-encoberto apresentam as maiores diferenças entre os dois métodos, sendo que os maiores valores de diferenças se alternam entre os três pontos internos analisados, dependendo da hora do dia, evidenciando a grande importância da consideração da distribuição de luminâncias do céu. Para o céu encoberto as diferenças entre estes métodos são muito reduzidas, devido à distribuição de luminâncias quase homogênea deste tipo de céu.

Na comparação entre M1 e M3 ocorre o mesmo que na comparação entre M1 e M2, mas com diferenças mais acentuadas para os pontos 2 e 5, o que demonstra a influência de considerar-se o ângulo de incidência real no valor de T_v . Devido ao maior ângulo de incidência o ponto 2 apresenta maior aumento das diferenças que o ponto 5.

Na análise conjunta das diferenças M1-M2 e M1-M3, para a situação simulada, observa-se uma maior importância da consideração da distribuição de luminâncias, cujo efeito se sobrepõe à influência da consideração do ângulo de incidência, principalmente para o céu claro e parcialmente encoberto.

No céu encoberto observamos pequenas diferenças para os pontos 5 e 8, o que demonstra que nesse tipo de céu a distribuição relativa de luminâncias não tem grande importância, pois gera um céu muito próximo da distribuição homogênea. Para o ponto 2 ocorrem diferenças um pouco maiores entre M1 e M3, que se justificam neste caso pela ocorrência de um maior ângulo de incidência real da luz sobre o material transparente da abertura, resultando em maiores diferenças entre a T_v real considerada em M3 e a T_v para incidência normal usada em M1.

No céu claro e o semi-encoberto observam-se diferenças relativas máximas entre M1 e M2 de 157 % no ponto 5 e 179% no ponto 8, respectivamente, enquanto no céu encoberto as maiores diferenças são de 33%, no ponto 2. Entre M1 e M3 estes valores são de 177 %, no ponto 5, para céu claro, 179% no ponto 8, para céu parcialmente encoberto, enquanto no céu encoberto as maiores diferenças são de 60%, no ponto 2. Valores bastante significativos em cálculo para previsão de iluminação natural.

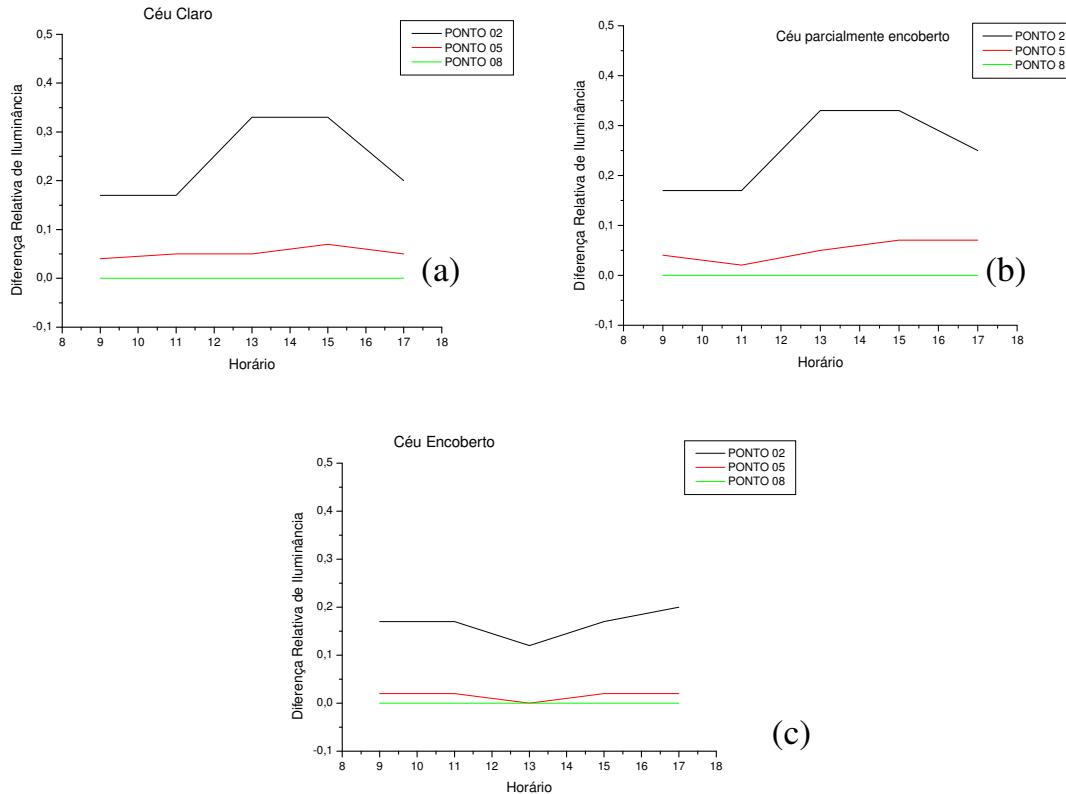


Figura 7: Variação da diferença de iluminância relativa ($\Delta\text{ilum}_{\text{rel}}$) entre os métodos M2 e M3, para diferentes horas do dia e tipos de céu: (a) céu claro (b) semi-encoberto (c)encoberto

As diferenças entre os métodos M_2 e M_3 são proporcionais ao longo do dia, sendo mais acentuadas para o ponto 02, em que o ângulo de incidência é maior, e praticamente inexistente para o ponto 08, em que o ângulo é muito reduzido, pois este ponto está considerado abaixo do centro da abertura zenital.

Podemos observar também que o céu encoberto apresenta as menores diferenças de iluminâncias entre M_2 e M_3 , independente do ponto analisado.

O ponto 2 se mantém com os maiores valores de diferenças, independente do tipo de céu, tendo uma maior diferença no céu claro e menor no céu encoberto. Esse fato evidencia a influência da consideração do ângulo de incidência da luz visível sobre os materiais transparentes na adoção do valor de T_v .

Observa-se também ao longo do dia grande variação das diferenças para o ponto 2, fato ocasionado pela variação horária das luminâncias relativas do céu.

6 CONCLUSÕES

O correto dimensionamento de aberturas zenitais tem como objetivo propiciar ambientes com uma iluminação mais homogênea, favorecer um melhor dimensionamento dos sistemas complementares de iluminação artificial, além de evitar ganhos excessivos de calor solar. Este dimensionamento está associado a uma correta previsão dos níveis de iluminância em pontos internos dos ambientes, a qual pode ser realizada a partir dos métodos de cálculo de previsão de luz natural apresentados neste trabalho.

O processo comparativo entre os resultados obtidos pelos diferentes métodos de cálculo utilizados neste trabalho permitiu uma análise consistente sobre a influência da consideração da distribuição de luminâncias no céu e do ângulo de incidência da luz sobre o material transparente, de acordo com a posição do sol ao longo do dia.

O método do CLD com consideração do céu homogêneo e sem a consideração do ângulo de incidência (M_1), somente apresenta resultados semelhantes aos outros dois métodos quando considerado o céu encoberto e no cálculo para pontos dentro do ambiente que recebam luz da abóboda celeste incidindo sobre o elemento transparente em ângulos reduzidos. No céu encoberto a distribuição de luminâncias praticamente equivale à distribuição de céu homogêneo, o que explica valores menores de diferenças do método M_1 neste caso.

Para o céu claro e semi-encoberto, os desvios do método M_1 são muito elevados em relação aos outros métodos. Isso independente do ponto considerado dentro do ambiente, ou seja, do ângulo de incidência, tendo uma relação mais estreita com a diferença no cálculo devido à consideração da variação de luminância no céu nos métodos M_2 e M_3 , a qual varia de acordo com a posição do sol em cada horário, o que explica a grande variação dos desvios de M_1 com as horas do dia.

As diferenças em valores de iluminância natural a ser considerada em um ponto interno são significativas, principalmente entre os métodos M_1 e os outros dois métodos, indicando que a consideração das luminâncias relativas das parcelas do céu tem uma influência mais acentuada que o ângulo de incidência. Isto ocorre neste trabalho devido ao ângulo de incidência envolvida não ser muito elevado e ao fato da área relativa de céu observada pelo ponto diminuir com o aumento do ângulo, diminuindo a iluminância que incide sobre o material transparente e a influência do ângulo.

O estudo da iluminação zenital, pela sua importância e grande uso nos ambientes construídos, tem neste trabalho uma parcela de contribuição no que tange a fornecer dados que esclareçam e visem a aprimorar os métodos de cálculo existentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MUNNER. T. **Solar Radiation and Daylight Models for the Energy Efficient Design of Buildings**. Oxford, GB. Architectural Press, 1997.

SANTOS, J. C. PIZZUTTI. Avaliação do Desempenho Térmico e Visual de Elementos Transparentes Frente à Radiação Solar. Tese (Doutorado). Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2002.

SANTOS, J. C. PIZZUTTI; RORIZ, M. Consideração do Ângulo de Incidência nos Ganhos de Luz Natural Através de Elementos Transparentes. In: VIII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Maceió. 2005.

VIANNA, N. S. GONÇALVES; J. C. SOARES. **Iluminação e Arquitetura**. São Paulo, SP: Virtus s/c Ltda, 2001.