

## MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE ILUMINAÇÃO NATURAL EM SISTEMAS LATERAIS - ESTUDOS DE CASOS

**Mirna Suely dos Santos Bracarense (1); Patrícia Romeiro da Silva Jota (1); Eleonora Sad de Assis (2)**

(1) Professoras do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFETMG, pesquisadoras do Centro de Pesquisa em Energia Inteligente - CPEI, santosmirna@hotmail.com; prsjota@des.cefetmg.br, Avenida Amazonas, 7675, Nova Gameleira, 30510-000, Belo Horizonte - MG, tel. (55) 31-3319-6763

(2) Professora da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Escola de Arquitetura, Dep. Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo, elsad@arq.ufmg, Rua Paraíba, 697, Funcionários, 30130-140, Belo Horizonte, MG, tel. (55) 31-3269-1851

### RESUMO

A estimativa da luz natural interior pode ser obtida utilizando-se de medições com modelo físico, método gráfico, modelo matemático e simulação computacional. Esse trabalho tem como objetivo analisar a distribuição de iluminação natural interior, através de sistemas laterais em função da Componente Celeste – CC, obtida em medições com modelos físicos, modelo matemático e simulação computacional. Foram analisados três ambientes para cada tipo de metodologia, cada um deles com uma janela dimensionada de acordo com as normas vigentes do Código de Obras de Belo Horizonte. Foram feitas medições dos níveis de luz natural, utilizando um modelo físico sob céu real e simulações do ambiente no programa “Luz do Sol” e em um modelo matemático. As medições com os modelos físicos foram bastante consistentes entre si, apresentando grau de confiança dos dados de 99%, segundo análise estatística ANOVA. Os resultados das simulações computacionais e dos modelos matemáticos superestimaram os valores da CC nos pontos próximos à janela e os subestimaram nos pontos mais afastados, comparando-os com os valores das medições com os modelos físicos. As medições obtidas com os modelos físicos são confiáveis e podem subsidiar informações a serem incorporados na legislação construtiva e nos modelos matemáticos de iluminação natural.

Palavras-chave: iluminação natural, modelo físico, modelo matemático, simulação computacional.

### ABSTRACT

The estimation of daylight inside buildings could be obtained through measurements with physical model, graphic method, mathematical model and computer simulation. The main objective of this study is the analysis of daylight, through side windows only under the influence of the Sky Component, obtained through measurements with physical models, mathematical model and computer simulation. It was analyzed three rooms for each type of methodology, each one of them with a side window dimensioned following the standards contained in the Belo Horizonte city code of Practice. A physical reduced scale model under real sky exposure was used to obtain the daylight measurement data. The physical model measurements were very consistent, The ANOVA statistics analysis showed 99% of confidence. It was done a computer simulation in the software “Luz do Sol” and in a mathematical model. The data outcome analysis showed that the computer simulation and the mathematical model over estimated the sky component near the window and sub estimate in the back of the room comparing to the physical models. The measurements obtained from the physical models are reliable and could be use to improve the code of practice and the mathematical models.

Keywords: daylight, physical model, mathematical model, computer simulation.

## 1. INTRODUÇÃO

Alguns dos países que dispõem de normas específicas para a iluminação natural são a Alemanha (DIN 503 – 1985), a Inglaterra (BSI DD 73 – 1982) e a Argentina (IRAM – AADL J 20 – 02 1969). Quase toda documentação técnica ou normativa na área de iluminação natural considera a orientação formulada pela CIE (*Comission International d’Eclairage*). Um estudo dessas normas pode contribuir para os dados e métodos que podem ser adotados no Brasil. Uma dificuldade encontrada é a falta de dados de luminâncias típicos para o céu brasileiro e de radiação solar (ALUCCI, 1992). O cálculo de iluminação natural pode ser feito através de expressões matemáticas que traduzem o fenômeno correspondente. Baseado nisso, foram desenvolvidos alguns *softwares* que permitem obter os dados numéricos. O maior número de pesquisas e de métodos de cálculo foram desenvolvidos na Europa e Estados Unidos, o que muitas vezes não é adequado ao contexto climático dos países tropicais. Lam (1986) defende o uso de modelos físicos, considerando que grande parte dos dados de iluminação natural dos modelos matemáticos deriva desses estudos.

O desempenho da iluminação natural deve considerar os níveis mínimos estabelecidos nas normas (NBR 5413-ABNT, 1982), a não incidência de luz solar direta e uniformidade máxima entre dois pontos quaisquer do local. O objetivo geral de uma boa iluminação é conseguir uma aparência satisfatória do interior, fornecer luz adequada para permitir uma execução fácil e sem esforço de trabalhos de caráter visual, assim como evitar o desconforto motivado pelo ofuscamento e a fadiga visual. Os padrões de iluminação são estabelecidos com o intuito de auxiliar os projetistas a conseguirem uma boa iluminação integrada em todo o interior do edifício, devendo ser expressos da forma mais simples possível quando destinados a uma utilização prática.

No Brasil para assegurar a qualidade dos ambientes, os projetos são submetidos à aprovação e autorização de construção por órgãos municipais que utilizam normalmente um Código de Obras e Edificações. Os códigos contêm relações que determinam a produção formal dos projetos de arquitetura. Os parâmetros para o cálculo de iluminação natural interior mais utilizados nos códigos são: relação entre a área da janela e a área do piso e a limitação da profundidade de penetração da luz natural com base na altura do ambiente - pé-direito (SMAU, 1940). Essas relações são baseadas em suposições simplificadas, desconsideram-se as condições de conforto ambiental e de conservação de energia. Além disso, não expressam as componentes básicas de luz natural que atingem o ambiente e nem a relação do edifício com o seu entorno. O modelo físico para estudos de iluminação natural tem sido muito utilizado por ser uma ferramenta simples, que pode flexibilizar o estudo dos fatores em análise e ajudar na tomada de decisão na fase de projeto (MAGALHÃES, 1995; SOUZA, 1997; JOTA, BRACARENSE, 2001; 2003).

## 2. OBJETIVO

O objetivo principal desse trabalho é analisar a distribuição de iluminação natural interior, através de sistemas laterais em função da Componente Celeste – CC, obtida em medições com modelos físicos, modelo matemático e simulação computacional. Foram analisados três ambientes para cada tipo de metodologia em estudo, cada um deles com uma abertura unilateral dimensionada de acordo com as normas vigentes do Código de Obras de Belo Horizonte. O procedimento adotado nas medições com o modelo físico permitiu a comparação com os resultados obtidos na simulação com o programa Luz do Sol e no modelo matemático, tomando-se as devidas medidas para medir apenas a contribuição relativa à Componente Celeste.

## 3. MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE ILUMINAÇÃO NATURAL INTERIOR

De acordo com a NBR 15215 (2004) “a luz natural interior admitida no interior das edificações consiste em luz proveniente diretamente do sol; difundida na atmosfera (abóbada celeste) e luz refletida do entorno”. A luz percorre três caminhos básicos antes de alcançar o ponto interior do ambiente: a luz direta do céu (Componente de Céu –CC), a luz refletida de superfícies exteriores (Componente Refletida Exterior – CRE), luz refletida interiormente (Componente Refletida Interior - CRI). A iluminação lateral é adequada para iluminar regiões próximas às janelas, onde é possível a obtenção de valores recomendados dos níveis de iluminação para a tarefa visual a ser realizada, porém os níveis diminuem rapidamente à medida que se afasta da janela. Devido a este comportamento, um nível médio de iluminação pode não representar satisfatoriamente a iluminância do espaço.

A análise completa da iluminância do ambiente é verificada pela variação e distribuição de iluminância através das curvas isolux, da iluminância sobre a superfície total de trabalho, da sua

uniformidade sobre as superfícies de trabalho e do seu entorno próximo. Com o traçado das curvas isolux podem ser indicadas as partes do ambiente que necessitam o uso de iluminação artificial suplementar para suprir as necessidades mínimas durante o dia. Os gráficos devem mostrar os níveis de iluminação em diferentes locais, indicando iluminação versus distância. A curva de iluminação mostra as mudanças na distribuição de luz em uma dimensão do ambiente.

Uma análise detalhada do comportamento da luz natural interior deve incluir simulações matemáticas e experimento com modelo físico para estabelecer o desempenho da luz. Segundo Pereira (1994 - B), a distribuição da iluminação natural interna pode ser obtida através de três metodologias distintas: métodos gráficos simplificados, experimentos com modelos físicos e modelagem matemática através de simulações de computador. Os diagramas e processos gráficos são métodos de mais fácil compreensão para os profissionais de projeto. Destacam-se os métodos desenvolvidos por Waldram, Pleijel, Dogniaux, *Building Research Establishment* (B.R.E.), Souza (1997), dentre outros.

Os dados de luz natural interior nos ambientes analisados nesse trabalho foram obtidos utilizando-se de medições com modelos físicos em escala reduzida sob céu real, modelo matemático e simulação computacional, conforme pode ser visto nos tópicos a seguir.

### **3.1. Experimentos de luz natural com modelos físicos**

O uso dos modelos físicos na arquitetura tem sido muito utilizado, pois, facilita a percepção do espaço tridimensional. Podem ser utilizados para avaliação de vários aspectos de projeto do edifício e para o estudo da iluminação natural nos espaços internos. A utilização dos modelos físicos no experimento de iluminação natural é adequada, pois o fenômeno físico não sofre distorções em função da escala. O comprimento de onda da luz visível é extremamente reduzido em relação ao tamanho dos modelos. O ideal é a utilização dos modelos físicos para avaliar condições de iluminação dos ambientes em fase de projeto, permitindo uma escolha mais adequada dos sistemas de aberturas e dos componentes construtivos.

Nas medições utilizando-se modelos físicos a NBR 15215 (2004) recomenda: garantir que todas as superfícies estejam presentes; construir modelos com cuidado evitando vazamentos de luz em suas junções; modelar adequadamente os detalhes das aberturas; medir a iluminância externa horizontal na condição mais desobstruída possível, protegendo o sensor da incidência dos raios diretos do sol; garantir que as refletividades das superfícies reais sejam representadas corretamente no modelo.

Um modelo arquitetônico que represente com fidelidade um espaço real e exposto às mesmas condições de céu, mantendo-se a mesma geometria e as mesmas características das superfícies, apresenta um padrão de distribuição da iluminação interna idêntica. Um modelo arquitetônico pode reproduzir geometricamente a edificação com materiais similares e condições iguais às do edifício real. A perfeita similaridade raramente é atingida, sendo necessário introduzir algumas aproximações. As observações físicas utilizando modelos reduzidos podem ser quantitativas e qualitativas (MAGALHÃES, 1995).

#### *3.1.1. Medições com o modelo físico em escala reduzida*

Foi utilizado um modelo físico na escala de 1/20, reproduzindo um ambiente com as dimensões reais de 700 cm x 700 cm x 280 cm (pé-direito). O modelo possui uma abertura unilateral localizada no centro de uma única parede contando com três possibilidades de áreas de janelas, dimensionadas nas relações de 1/5, 1/6 e 1/8 da área do piso e sem beiral (SMAU, 1940). A altura do peitoril é de 100 cm para as três janelas e 150 cm a altura de cada uma.

Utilizou-se uma sala revestida de camurça preta (CRI mínima) e as superfícies externas foram revestidas com uma lona preta (CRE mínima), de modo a permitir a medição de luz interior decorrente da Componente Celeste – CC. Segundo Souza (1997), a eliminação completa da CRI e CRE no experimento com modelo físico é muito difícil de ser alcançada. As medições foram realizadas sob condições de céu real e desenvolvidas segundo experiências relatadas por vários autores (HOPINKSON, 1963, 1984; LAM, 1986; MOORE, 1991).

Foram definidos quatro pontos alinhados no centro do ambiente e perpendicular ao eixo da janela, para as medições dos níveis de iluminação natural no plano de trabalho (75 cm de altura) à medida que se afasta da janela. As distâncias dos pontos de medição 1, 2, 3 e 4 à abertura de iluminação são respectivamente: 87,5 cm, 262,5 cm, 437,5 cm e 612,5 cm, conforme pode ser visto na Figura 1. Essa análise pontual deve-se ao fato de que a luz natural decresce rapidamente com o afastamento da janela e uma média não seria um valor representativo da situação. A altura do peitoril, altura das janelas e do plano de trabalho é igual para as três aberturas.

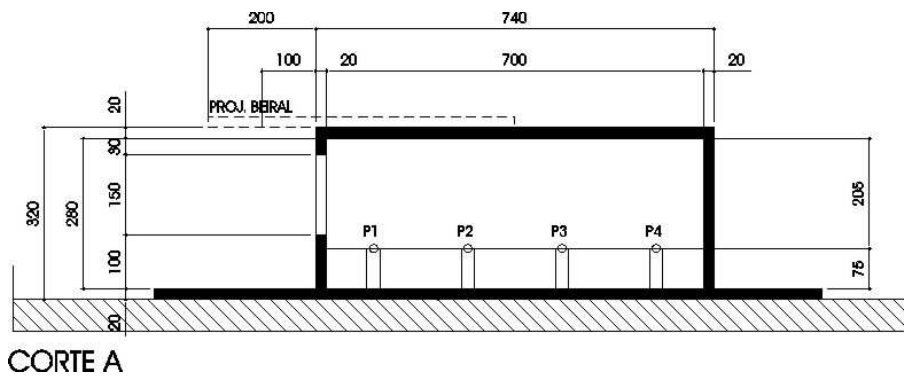


Figura 1– Corte do ambiente com as medidas do peitoril e altura da janela, vêem-se os pontos de medições no interior.

As medições das iluminâncias com o modelo físico sob condições de céu real foram realizadas na latitude de 20° Sul relativa à localidade de Belo Horizonte, em um local de alta topografia e vista desobstruída. As medições internas privilegiaram a luz difusa, através da orientação sul que foi adotada para as aberturas. Foi utilizado um aparato de medição composto por fotosensores, dispositivo para a armazenagem dos dados medidos e um computador portátil. As medições das iluminâncias foram realizadas pelo equipamento *datalogger* 10 canais tipo LI-COR - L1 1400. As medidas foram feitas simultaneamente no interior e no exterior do modelo para se obter a Contribuição de Iluminação Natural (CIN) no ambiente. A CIN (%) determina um percentual da iluminância horizontal externa devido à componente difusa de luz.

Foram realizados dois dias de medições para os três casos analisados, nas mesmas condições de céu do tipo encoberto e no final do horário matutino. Cada medição teve a duração de 60 segundos, resultando em 60 leituras com médias armazenadas a cada 15 segundos, gerando 4 valores médios armazenados para cada ponto de medição. Depois da validação dos valores obtidos através da análise de variância (ANOVA), obteve-se o intervalo de confiança com erro máximo entre as medidas de 1%. O modelo tipo do ambiente com as três aberturas de iluminação e o modelo no local das medições pode ser visto nas Figuras 2 e 3. Todos os cuidados experimentais foram tomados para que as medições estejam dentro do rigor relatado pelos estudiosos da área e permitir a comparação com métodos de estimativa de luz natural interior.

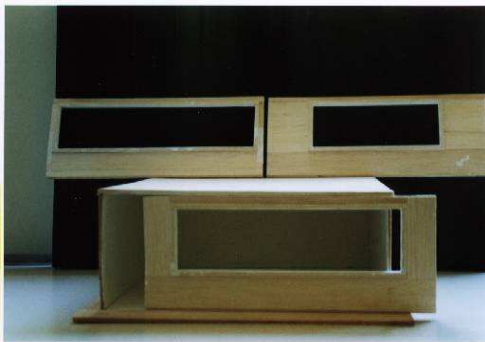


Figura 2 – O modelo físico com as três janelas.



Figura 3 – Vista do modelo físico.

### 3.2. Modelo matemático

Foi utilizado o modelo matemático mostrado na Equação 01 para a determinação da Componente Celeste – CC num ponto do plano de perfil que passa pelo meio de uma janela centrada na fachada que não tenha obstrução, utilizando-se dos dados geométricos dos ambientes em análise. Por hipótese, o céu apresenta distribuição de luminância tipo encoberto (ALUCCI, 1992).

$$FC = 0,5 \times (\cos \Omega - \cos \vartheta) \times 0,438(1 + 2 \times \sin \vartheta) \times 2 \times IC \times 100(\%)$$

[Equação 1]

Considerando-se que  $\vartheta$ ,  $\Omega$  e  $\delta$  (em corte) e  $\beta$  (em planta) são ângulos do ambiente. O valor de IC é determinado utilizando os ângulos  $\vartheta$  e  $\beta$  diretamente no gráfico do ábaco para identificação do índice de correção IC a ser aplicado na Equação 01. O ângulo  $\delta$  é definido pela linha do plano de trabalho e pela linha que passa no centro do vão da janela. As figuras 4 e 5 mostram as variáveis mencionadas e calculadas para cada ambiente em análise.

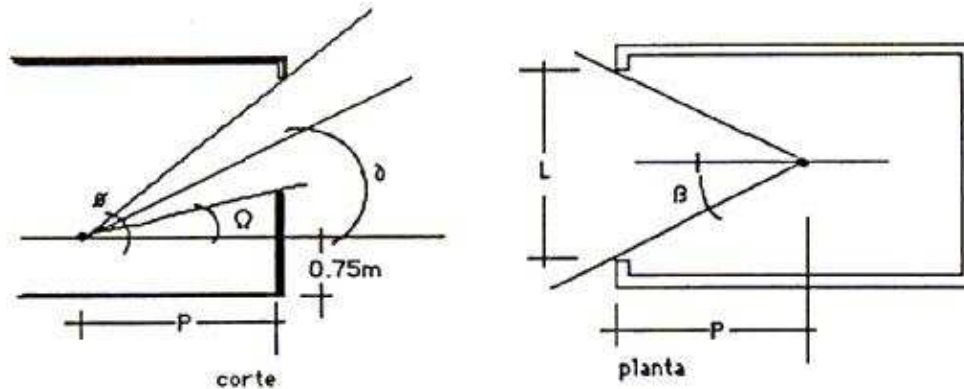


Figura 4 – Ângulos definidos em função das dimensões da janela para o cálculo de CC.  
 FONTE: ALUCCI, 1992, p. 178.

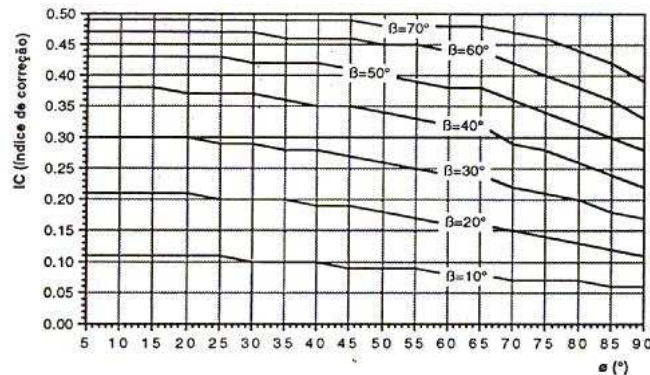


Figura 5 – Ábaco para identificação do índice de correção IC.  
 FONTE: ALUCCI, 1992, p. 179.

### 3.3. O programa computacional Luz do Sol

O programa possibilita o cálculo apenas da Componente Celeste do CLD (o mesmo que DF ou CIN), ou seja, trata-se de cálculo geométrico da porção de luz visível do céu, a partir de determinado ponto no interior do modelo. Os resultados referem-se a uma porcentagem da Componente Celeste (CC), não sofrendo qualquer influência do tipo de céu, cores das superfícies, etc.

O programa Luz do Sol foi desenvolvido para plataforma *Microsoft Windows*, versão 3.1, com a linguagem de programação *Microsoft Visual basic*, versão 2.0. Podem-se traçar gráficos de linhas ou textura da Componente Celeste do Coeficiente de Luz Diurna (CLD), para o cálculo de iluminação lateral. Em relação a um ponto de referência interior do ambiente, pode-se considerar o CLD correspondendo à mesma definição de Fator de Luz Diurna (FLD – DF). A Componente Celeste - CC indica a parcela do CLD devida apenas à luz emitida pelo céu.

Nas medições da Componente Celeste (CC) do Coeficiente de Luz Diurna (CLD), há necessidade de evitar as interferências de outras variáveis, tais como: luz refletida por superfícies externas, luz refletida por superfícies internas, transparência do vidro, caixilhos e medições das iluminâncias proporcionadas pelo céu inteiro, sem qualquer obstáculo, geralmente na cobertura de um edifício. Essa iluminância é que será a referência para o cálculo do Coeficiente de Luz Diurna (RORIZ, 1994).

#### 4. RESULTADOS

Os gráficos das Figuras 6, 7 e 8 apresentam os resultados obtidos nas simulações no programa Luz do Sol para as três aberturas. Optou-se pelo traçado do gráfico de linhas para facilitar a leitura dos valores obtidos nas simulações no programa. Os gráficos foram colocados em ordem crescente de tamanho das aberturas para facilitar a análise.

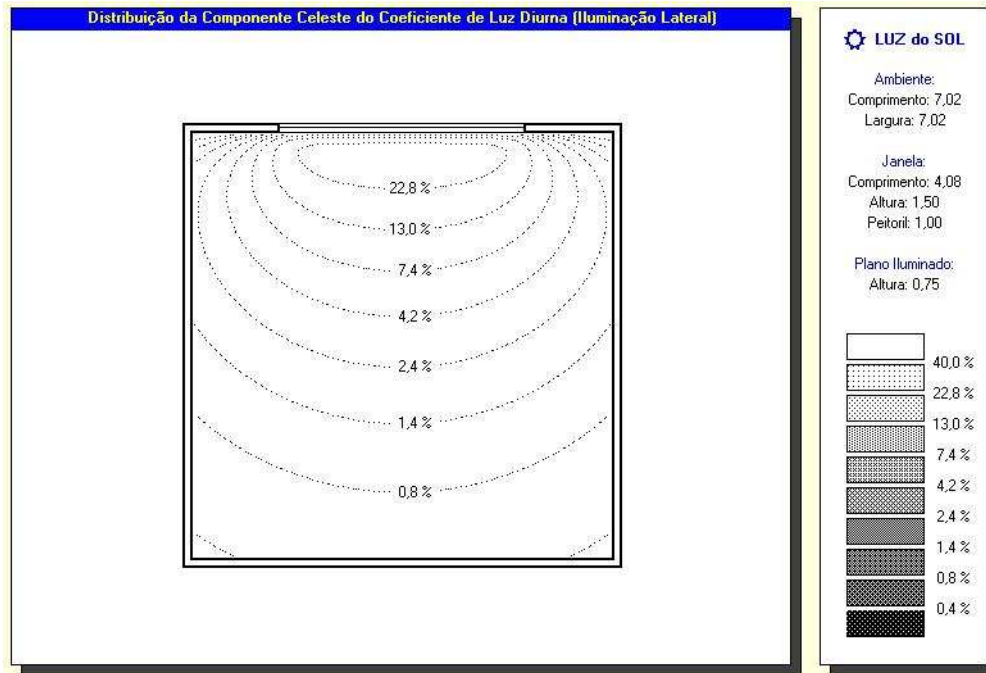


Figura 6 – Curvas isolux da CC: simulação computacional – janela 1/8.

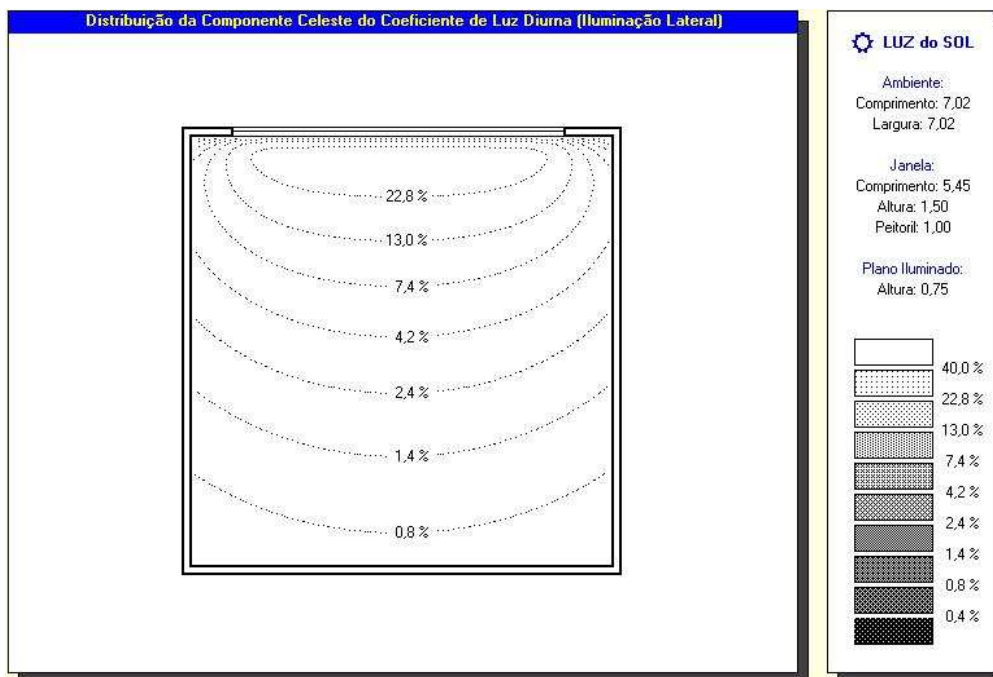


Figura 7 – Curvas isolux da CC: simulação computacional – janela 1/6.



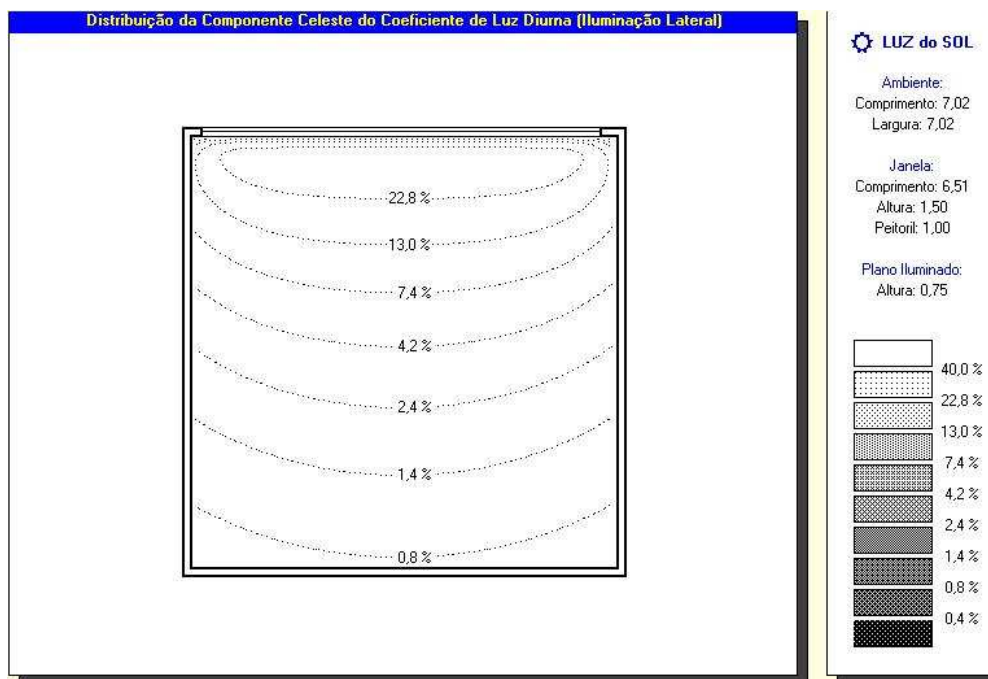


Figura 8 – Curvas isolux da CC: simulação computacional – janela 1/5.

A janela maior (1/5) apresenta os maiores valores nos pontos mais afastados da abertura e a janela menor (1/8) apresenta os menores. Quanto à distribuição das curvas isolux para a Componente Celeste, pode-se observar que o aumento da largura da janela proporciona maior uniformidade dos valores no ambiente, sendo que o melhor resultado foi alcançado com a maior janela (1/5). Nota-se uma maior tendência ao paralelismo entre as linhas quanto maior for a janela.

O modelo matemático utilizou a Equação 01 para a determinação da CC no ponto médio dos ambientes em análise, determinando-se os ângulos  $\varnothing$ ,  $\Omega$  e  $\vartheta$  (em corte) e  $\beta$  (em planta). O valor de IC foi determinado utilizando os ângulos  $\varnothing$  e  $\beta$  diretamente no ábaco para identificação do índice de correção IC (Figura 5) para ser aplicado na Equação 01.

A Tabela 1 apresenta os valores dos ângulos obtidos para os casos analisados. A janela aumenta somente no sentido horizontal, porém, o ângulo  $\beta$  é diferente para cada uma delas. Os ângulos em corte são os mesmos para as três janelas. Foi também calculado o valor de CIN relativo ao ponto de medição intermediário 1,5 de forma a aumentar a precisão do traçado da curva na proximidade com a abertura de iluminação (Tabela 2).

Tabela 1 - Ângulos em planta e em corte das aberturas de iluminação.

P. Medição	1/8	1/6	1/5	1/8	1/6	1/5
Ângulos	$\beta$			$\varnothing$	$\vartheta$	$\Omega$
1	64°	68°	71°	59°	43°	16°
1,5	46°	55°	59°	43°	29°	9°
2	37°	45°	49°	32°	19°	5°
3	24°	31°	35°	21°	12°	3,5°
4	18°	23°	27°	16°	9°	2,5°

Tabela 2 - Valores da CC (%): modelo matemático.

Componente Celeste – CC (%)			
Pontos de medição	Janela 1/8	Janela 1/6	Janela 1/5
1	22,17	22,41	23,10
1,5	9,06	9,95	10,17
2	3,86	4,40	4,51
3	1,04	1,24	1,36
4	0,43	0,54	0,60

Os gráficos contidos nas Figuras 9, 10 e 11 apresentam os resultados obtidos nas simulações no programa Luz do Sol, no modelo matemático e das medições com o modelo físico reduzido para as três aberturas. Nas medições de luz com os modelos físicos são mostrados os resultados de dois dias de medições efetuadas no final do período matutino e com céu tipo encoberto (30/09/2002 e 02/10/2002).

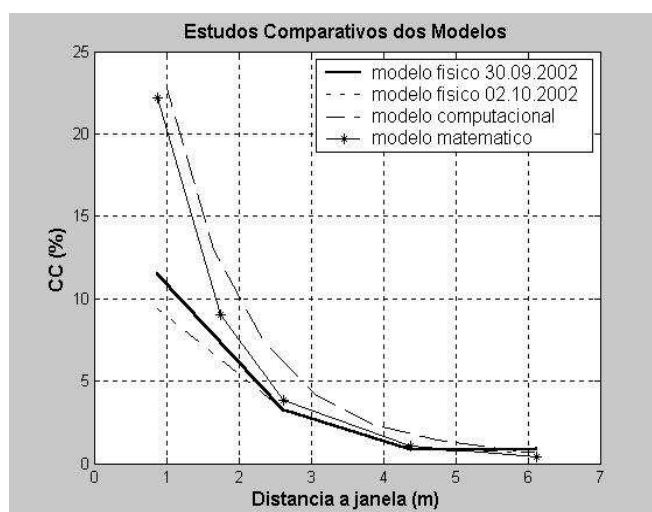


Figura 9 – Curva de CC no ambiente: abertura 1/8.

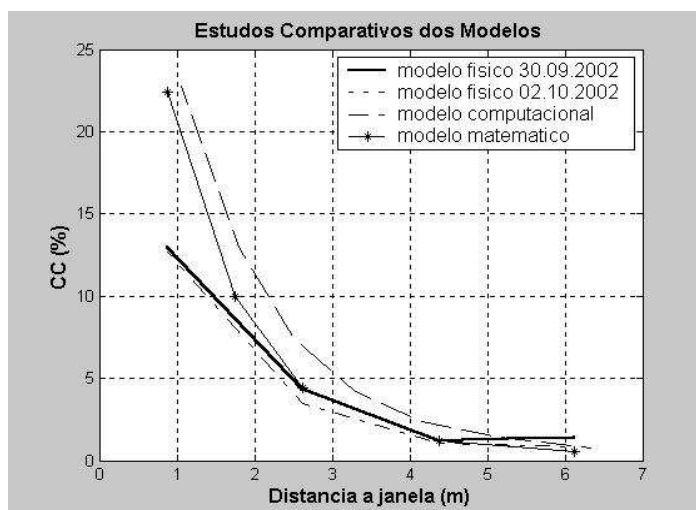


Figura 10 – Curva de CC no ambiente: abertura 1/6.



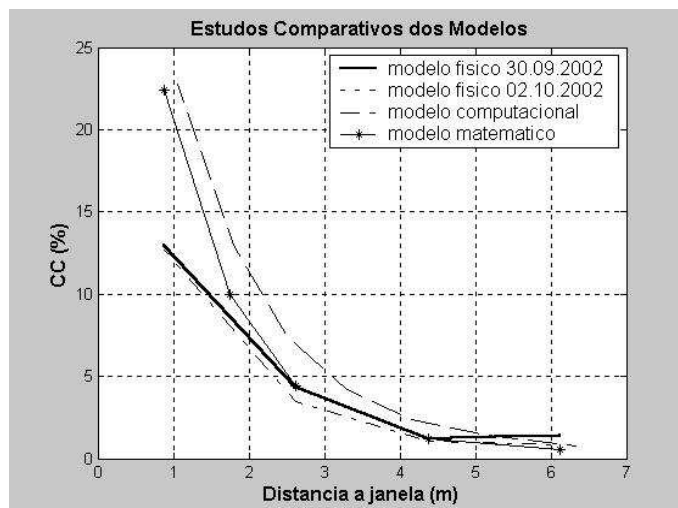


Figura 11 – Curva de CC no ambiente: abertura 1/5.

## 5. CONCLUSÕES

O programa Luz do Sol foi o método que apresentou os maiores valores de estimativa de luz natural decorrentes da CC, apresentando os maiores resultados nos três casos analisados. Os resultados obtidos nos pontos mais próximos da janela dos três ambientes estão mais parecidos com os do modelo matemático. Pode-se observar nos formatos das curvas relativas às medições com os modelos físicos, contidos nas figuras 9, 10 e 11, um pequeno aumento dos valores de iluminação no fundo dos ambientes. Uma parcela de Componente Refletida Interior – CRI pode caracterizar esse pequeno aumento dos valores obtidos, sendo mais sentido no fundo do ambiente.

O estudo comparativo entre os métodos demonstrou que o modelo matemático e o computacional superestimam os valores da CC nos pontos mais pertos da abertura de iluminação, comparando-os com as medições com o modelo físico nos dois dias de medições. Os valores intermediários da CC do modelo matemático se ajustam melhor aos das medições com o modelo físico principalmente com o aumento da janela, exceto nos pontos próximos a abertura de iluminação. O modelo matemático utilizado considera o céu do tipo encoberto, condições muito próximas das apresentadas nas medições, sendo que na simulação computacional é considerada a geometria do céu, não dependendo do tipo de céu, o que pode justificar algumas discrepâncias apresentadas entre os modelos.

O aumento da largura da janela proporciona maior uniformidade dos valores de CIN, o que contribui para melhorar o conforto luminoso do ambiente. As medições com os modelos físicos nos dois dias analisados foram bastante consistentes entre si, apresentando um grau de confiança de 99% de certeza, utilizando-se a metodologia estatística ANOVA. Os resultados com os modelos físicos podem servir como base de desenvolvimento de modelo de dimensionamento a ser incorporado no Código de Obras de Edificações e também contribuir para o aperfeiçoamento dos modelos matemáticos.

## 6. REFERÊNCIAS

ALUCCI, Márcia P. **Conforto térmico, conforto luminoso e conservação de energia elétrica – Procedimentos para desenvolvimento e avaliação de projeto de edificações**. 224 f. Tese de pós-graduação em Arquitetura – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, USP, São Paulo, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR-5413. Iluminância de interiores. Rio de Janeiro, 1982, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR-15215. Iluminação natural – Parte 1: Conceitos básicos e definições. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. Parte 2: Procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural, Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. Parte 3: Procedimento de cálculo para a determinação de iluminação natural em ambientes internos, Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações: Método de medição, Rio de Janeiro, 2004.

BRACARENSE, M. S. S. Projeto experimental de iluminação natural em sistemas laterais: Estudos comparativos de fatores arquiteturais. 239 f. Dissertação de pós-graduação em Tecnologia – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFETMG, Belo Horizonte, 2003.

HOPKINSON, R. G. **Architectural Physics – Lighting**, Department of Scientific and Industrial Research – Building Research Station . London, 360 p. 1963.

HOPINKSON, R. G.; PETHERBRIDGE, P; LONGMORE, J. **Iluminação natural**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian. 788 p. 1984,

JOTA, P. R. S.; BRACARENSE, Mirna S. S. Análise de fatores arquitetônicos utilizando métodos estatísticos, In: Encontro Latino-Americano e VI Encontro Nacional Sobre Conforto no Ambiente Construído, 2001, **Anais**. São Paulo, ENCAC-ELAC 2005. CD-ROM.

LAM, W. M. C. **Sunlighting as formgiver for architecture**, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 464 p. 1986.

MAGALHÃES, Maria Amália A. Projeto de iluminação natural: Estudos comparativos de medição e de simulação. 514 f., Tese de pós-graduação em Iluminação Natural - FAUUSP, São Paulo, 1995.

MOORE, F. **Concepts and practice of architectural daylighting**, Van Nostrand Reinhold Company, New York, USA, 1991.

RORIZ, Maurício. **Luz do Sol** - Calor e iluminação natural nas edificações, Encontro Nacional de Modelos de Simulação de Ambientes, p. 367 – 373, São Paulo, 1995.

SECRETARIA MUNICIPAL DE ARQUITETURA E URBANISMO – SMAU Prefeitura Municipal, Código de Obras, Belo Horizonte, 1940.

SOUZA, Roberta V.G. Iluminação natural em edificações: Cálculo de iluminâncias internas – Desenvolvimento de ferramenta simplificada. 130 f. Dissertação de pós-graduação em Engenharia Civil – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

## **7. AGRADECIMENTOS**

Agradecimentos a CEMIG –Companhia Energética de Minas Gerais que financiou o projeto de pesquisa das instituições Cemig/CEFET-MG/PUC/UFMG através do convênio MS/AS 402000011 – registro Cemig/ANEEL P&d 016 –2001/2004 denominado Abordagem Integrada da Eficiência Energética e Energias Renováveis, coordenado pela Dra. Antônia Sônia A. Cardoso Diniz e Eng. Eduardo Carvalhaes Nobre.