



6 a 8 de outubro de 2010 - Canela RS

ENTAC 2010

XIII Encontro Nacional de Tecnologia
do Ambiente Construído

PROTOCOLO DO RELATÓRIO TÉCNICO CIE 171:2006 APLICADO PARA AVALIAR A CONSERVAÇÃO DO FLUXO LUMINOSO NO PROGRAMA APOLUX

Carolina R. Carvalho (1); Anderson Claro (2); Marcelo Galafassi (3)

(1) Programa de Pós-Graduação de Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil – Laboratório de Conforto Ambiental – e-mail: arqcarolcarvalho@gmail.com

(2) Departamento de Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil – Laboratório de Conforto Ambiental – e-mail: ander@arq.ufsc.br

(3) Programa de Pós-Graduação de Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil – Laboratório de Conforto Ambiental – e-mail: marcelo@galafassi.com.br

RESUMO

Dentre as ferramentas existentes, a simulação computacional apresenta-se com grande potencial para a análise da iluminação natural facilitando a visualização do fenômeno nos ambientes. Atualmente, existem dezenas de softwares disponíveis no mercado com diferentes propostas, porém existem dúvidas referentes à confiabilidade dos resultados das simulações. Desta forma, têm-se a necessidade de testar os programas computacionais para avaliar a veracidade quantitativa dos resultados. Em 2006, a *Commission Internationale de L'Eclairage* (CIE) publicou um relatório técnico com uma sequência de protocolos com referências analíticas e estudos de caso parametrizados como validadores para a avaliação dos softwares de simulação de iluminação, tanto natural quanto artificial. O objetivo desta pesquisa é avaliar o programa APOLUX, desenvolvido pelo Laboratório de Conforto Ambiental (UFSC), segundo protocolo de conservação do fluxo luminoso selecionado do relatório técnico CIE 171:2006, utilizando modelos de céu teórico. A metodologia foi definida em quatro etapas: (i) definição dos modelos de análise recomendados pelo relatório técnico CIE (171:2006); (ii) simulação dos modelos no programa APOLUX; (iii) análise dos fluxos luminosos (incidente e final), e (iv) avaliação e apresentação dos resultados. A análise descrita neste artigo trata de um ambiente de geometria simples que apresenta sete variações de abertura sem vidro, sendo quatro zenitais e três laterais, onde os modelos foram simulados sob condições de céu claro e nublado. Com os resultados obtidos através das análises das simulações foi possível mapear os erros sistemáticos gerados pelo algoritmo utilizado pelo software, assim como apresentar recomendações de uso do programa. Independente dos parâmetros adotados, analisando-se a conservação do fluxo luminoso, 77% dos resultados apresentaram-se confiáveis, comprovando o potencial do programa APOLUX através de um método considerado como validador pelo relatório técnico da CIE (171:2007).

Palavras-chave: arquitetura, simulação computacional, iluminação natural.

1 INTRODUÇÃO

A iluminação natural é um item a ser contemplado no projeto arquitetônico e são várias as razões que a tornam importante, como a qualidade da luz, a comunicação visual com o exterior, a conservação de recursos naturais, a redução do consumo de energia elétrica e os benefícios psicológicos e fisiológicos.

Porem existe grandes dificuldades em se prever como o ambiente futuro será iluminado. A simulação computacional é uma poderosa ferramenta para que se consiga compreender o fenômeno da luz e solucionar o problema em questão. As imagens sintetizadas por meio de simulações possibilitam avaliação da iluminação natural. De forma a facilitar a compreensão e a análise de uma proposta arquitetônica, apresentando ao arquiteto a oportunidade de avaliar de forma qualitativa e quantitativa o desempenho de uma edificação depois de construída.

A utilização de softwares de simulação pode auxiliar o profissional na tomada de decisões. Os programas de simulação da luz natural são importantes para facilitar o entendimento do comportamento da luz e dos materiais através de cálculos avançados. (INANICI, 2001)

Atualmente, existem dezenas de softwares de simulação disponíveis no mercado, e cada vez mais os especialistas fazem uso dessas ferramentas, pois compete a elas agilizar o processo de tomada de decisões nas diferentes etapas do projeto, fornecendo informações precisas sobre o impacto ambiental das diferentes opções de estratégias de projeto. (PEREIRA et. al., 2007)

A busca por modelos fisicamente fundamentados para apoio ao projeto arquitetônico, no entanto, encontra dificuldades nos métodos atuais dado que não se trata apenas de uma questão de representação de imagens, mas de verificação de condições reais de utilização. (CLARO, 1998)

Devido à grande quantidade de programas de simulação e seus diferentes algoritmos de cálculo aplicados (Radiosity, Ray Tracing e suas derivações), existe uma lacuna em relação ao quanto esses programas são fiéis (ou com poucos desvios) do modelo físico real. Existe ainda uma imprecisão nos cálculos dos softwares decorrentes da falta de referências de avaliação dos mesmos.

Segundo a CIE (1996), com o aumento do número dos softwares disponíveis no mercado houve a necessidade de se criar um comitê para mapear os problemas referentes às simulações. Em 2006, a *Commission International de l'Éclairage* (CIE) elaborou um relatório técnico (CIE 171:2006) com protocolos a serem testados em softwares de simulação de iluminação a fim de avaliar a confiabilidade dos dados gerados pelos programas. Este relatório apresenta um conjunto de estudos de caso de referência, onde avaliam a iluminação natural e a artificial, para serem utilizados por usuários para avaliar a precisão dos programas de simulação.

O objetivo do Relatório Técnico CIE 171:2006 foi desenvolver protocolos para a validação de softwares de iluminação baseados em cálculos analíticos e dados experimentais. Os estudos de caso focam diferentes aspectos da propagação da luz, e também permitem comparações objetivas entre diferentes softwares em relação a diferentes áreas da simulação da iluminação.

1.1 Programa APOLUX

Desenvolvido no Laboratório de Conforto Ambiental (Labcon) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), pelo professor doutor Anderson Claro, o programa APOLUX simula a iluminação natural através do algoritmo da radiossidade tendo como referência o Modelo Vetorial Esférico (CLARO, 1998). Este programa vem sendo utilizado em demais pesquisas e estudos a fim de avaliar e comprovar a confiabilidade dos seus resultados frente aos efeitos físicos da luz, assim como sendo atualizado e testado.

O programa APOLUX possui a capacidade de simular e permitir a análise de ambientes sob diferentes condições de cálculos (com maior ou menor precisão), podendo simular materiais distintos, como: materiais opacos difusos, opacos especulares, transmissores difusos e transmissores especulares (CLARO, 2005).

Embora a versão atual do APOLUX já considere os padrões de 15 céus recomendados pela CIE, a versão do software utilizada na construção desta pesquisa faz o cálculo de distribuição da abóbada celeste segundo as fórmulas padronizadas pela CIE em 1996, onde disponibiliza apenas três condições

de céu: claro, parcialmente encoberto e encoberto (CARVALHO, 2009).

Além do aspecto quantitativo, o programa processa imagens, gerando diversas formas de visualizações do espaço (gráficos de iluminância e luminância). Outra característica do software é a rapidez do processo de simulação aliado à capacidade de lidar com modelagem complexa (CLARO, 2005).

É importante destacar que o relatório técnico CIE 171 é considerado recente, datado de 2006, mostrando-se importante no meio científico, por ser fruto de diversas outras pesquisas. Desta forma se faz importante e necessária a utilização destes protocolos na avaliação do programa APOLUX.

Este software utiliza o algoritmo da radiosidade baseado no Modelo Vetorial Esférico, de elementos finitos, e desta forma possui erros sistemáticos do algoritmo, que são descritos como erro de resolução de visibilidade, erro de resolução de geometria e erro periférico.

1.1.1 Erro de Resolução de Visibilidade

O erro sistemático referente a resolução de visibilidade pode ser descrito através do ângulo sólido de “visão” da abóbada. Para a simulação no programa APOLUX, deve-se definir a resolução de visibilidade, que é a divisão da abóbada em ângulos sólidos. Quando um dado modelo é submetido a uma simulação com baixa resolução de visibilidade, quer dizer que grandes ângulos vão interferir na simulação do modelo, podendo superestimar ou subestimar resultados.

1.1.2 Erro de Geometria

Para o cálculo do fator de forma o software APOLUX divide os planos do modelo em áreas máximas de triângulos e numa estrutura de vértices com áreas de influência a serem confrontadas entre si, e esta relação apresenta um erro sistemático do processo de cálculo.

Dependendo da área da abertura e ângulo de incidência da luz, a abóbada terá “visão” de alguns vértices dos triângulos, que no processo de simulação serão computados ou não no cálculo da iluminância de determinada área do plano, o que pode subestimar ou superestimar a iluminância.

1.1.3 Erro Periférico

O erro periférico pode ser descrito através da proporção entre a área do plano e a sua linha periférica, onde, avaliando os demais erros descritos anteriormente, quanto maior for a razão entre o perímetro do limite e a área do plano, maior é a probabilidade de erro.

Esta relação é verdadeira porque, embora o APOLUX divida todos os planos numa estrutura de triângulos e defina a área de influência dos vértices a partir destes, diferentes possibilidades de formatos de triângulos geram diferentes possibilidades de formatos de áreas de influência. A visibilidade total de um plano é definida pela soma da visibilidade das áreas de influência dos vértices, de tal forma que, internamente ao plano os erros de cada vértice se compensam (a parcela excluída de um é incluída em outro), caracterizando-se o erro da visibilidade do plano pelo erro ocorrido na periferia.

Os erros sistemáticos do algoritmo utilizado no software APOLUX acontecem de forma simultânea e acabam por gerar erros em forma de pico, onde tendem a aumentar até determinado ponto e cair a quase zero, e voltar a aumentar em seguida. Vale ressaltar que os erros não acontecem de forma aleatória, mas de forma sistemática, pois seguem um cálculo analítico.

2 OBJETIVO

O objetivo desta pesquisa é avaliar o programa APOLUX, desenvolvido pelo Laboratório de Conforto Ambiental (UFSC), segundo o protocolo de conservação do fluxo luminoso (Protocolo 5.4) selecionado do Relatório Técnico CIE 171:2006, utilizando modelos de céu teórico, nas condições de céu limpo e nublado.

3 METODOLOGIA

A metodologia aplicada foi definida em 4 etapas:

1. Definição do modelo de análise recomendado pelo Relatório Técnico CIE 171:2006;
2. Simulação dos modelos no programa APOLUX;
3. Análise dos fluxos luminosos (incidente e final);
4. Avaliação e apresentação dos resultados.

3.1 Descrição do Protocolo 5.4 do Relatório Técnico CIE 171:2006

O protocolo 5.4 apresenta como modelo para a simulação da conservação do fluxo luminoso um ambiente de geometria simplificada que visa analisar a conservação do fluxo luminoso entre a fonte de luz e as superfícies internas de um espaço.

O objetivo desta avaliação é mensurar a divergência nas simulações, se a energia que incide em um determinado espaço é a mesma que permanece em seu interior. Um erro nesta conservação é equivalente a fonte de erro na iluminância calculada em um dado cenário.

Em simulações que consideram apenas a luz natural, a conservação do fluxo deve ser verificada entre o fluxo luminoso incidente de uma superfície aberta e o fluxo luminoso direto total que atinge diferentes superfícies internas, conforme equação 1, 2 e 3:

$$\Phi_i = \Phi_o \quad (\text{eq.1})$$

$$\Phi_o = E_o \cdot S_o \quad (\text{eq.2})$$

$$\Phi_i = \Sigma \Phi_n = \Sigma (E_n \cdot S_n) \quad (\text{eq.3})$$

Φ_o – fluxo incidente (lumen);

E_o – Iluminância média na superfície da abertura (lux);

S_o – Área da superfície da abertura (m^2);

Φ_i – Fluxo luminoso total transmitido pela abertura;

Φ_n – Fluxo luminoso que alcança as superfícies internas n (lumen);

E_n – Iluminância média na superfície n (lux);

S_n – área da superfície n (m^2).

O fluxo luminoso que atinge uma superfície depende do modelo de céu utilizado pelo software e pode variar de um programa para outro. Entretanto, a conservação do fluxo definida pela Equação 1 é considerada válida.

Foi definida uma seqüência de geometrias a ser utilizada para verificar se esta conservação atinge o interior do modelo através de aberturas zenitais e por aberturas laterais, e se o modelo é afetado pelo tamanho das aberturas.

Para o cálculo dos erros foi utilizada a equação 4:

$$E = \left[\left(\Phi_i / \Phi_o \right) - 1 \right] \cdot 100 \quad (\text{eq.4})$$

E – Erro calculado;

Φ_i – Fluxo luminoso total transmitido pela abertura;

Φ_o – fluxo incidente (lumen).

3.1.1 Geometria

Para a avaliação da conservação do fluxo luminoso foram adotados um modelo de geometria simplificada, com as dimensões de 4,00m x 4,00 m x 3,00 m variando o tamanho e posição da abertura. Foram adotados 4 modelos com abertura zenital e 3 modelos com abertura lateral

O modelo foi avaliado com quatro tamanhos distintos de aberturas zenitais: 1m x 1m, 2m x 2m, 3m x 3m ou 4m x 4m (teto inteiro), com a abertura disposta no centro do teto, conforme Figura 1(a), (b), (c)

e (d):

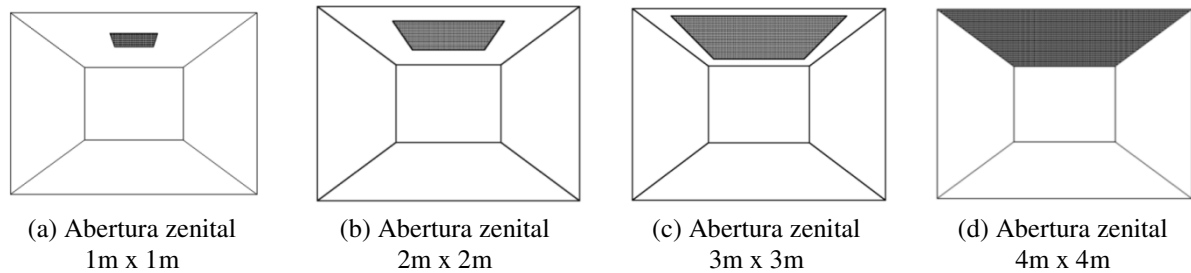


Figura 1: Modelos com abertura zenital

O modelo foi avaliado com três tamanhos distintos de aberturas laterais: 2m x 1m, 3m x 2m ou 4m x 3m (parede inteira), com a abertura disposta no centro da parede, conforme Figura 2(a), (b) e (c):

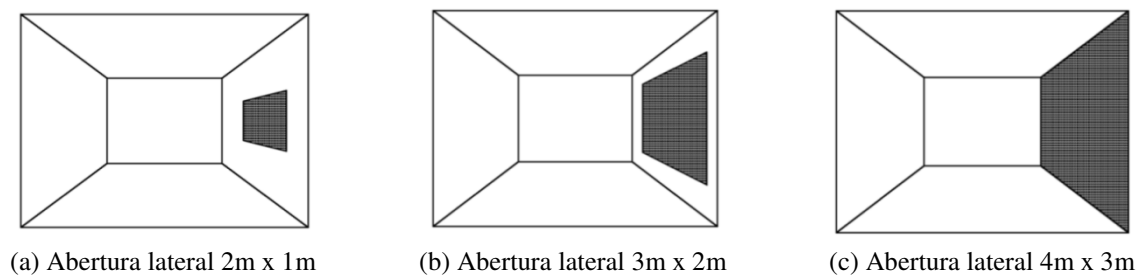


Figura 2: Modelos com abertura lateral

Para a simulação no programa APOLUX primeiramente adotou-se que as aberturas possuam um plano de análise, sem qualquer efeito nos cálculos, apenas para mensurar o fluxo incidente. O programa APOLUX apresenta como resultado da simulação valores por unidade de área, com isso, calcula-se o fluxo pela ponderação da iluminância por área.

Para esta avaliação, todas as superfícies internas receberam material com refletância 0% a fim de garantir que não influenciem na iluminação interna. Os sete modelos foram simulados sob condições de céu limpo e nublado a fim de mensurar a influência da condição do céu na conservação do fluxo luminoso.

3.2. Simulação Computacional no Programa APOLUX

O programa APOLUX trabalha com diferentes graus de resolução de geometria, e para cada uma das sete geometrias foi aplicado um fracionamento dos planos do modelo de forma a serem divididos em áreas máximas triangulares de $0,5\text{m}^2$, $0,05\text{m}^2$, $0,005\text{m}^2$ (CARVALHO, 2009).

Outra configuração do APOLUX são os diferentes graus de resolução de visibilidade (número de ângulos sólidos calculados). Para a avaliação da conservação do fluxo luminoso, os modelos foram simulados sob três diferentes resoluções de visibilidade (globo 60, 90 e 120), sob condições de céu limpo e nublado, considerando a iluminação do Sol e da abóbada celeste. (CARVALHO, 2009).

Para a cada modelo foram utilizados três graus de resolução da visibilidade: (i) 23.450 direções, chamado de globo 60; (ii) 52.670 direções, chamado de globo 90; e (iii) 93.598 direções, chamado de globo 120. Desta forma, consegue-se avaliar o quanto a resolução de globo influenciará no resultado final. (CARVALHO, 2009).

Os parâmetros foram delimitados e combinados de forma a gerar 72 simulações e análises para os modelos com abertura zenital e 54 para modelos com abertura lateral.

Calcula-se o fluxo incidente pela média ponderada das áreas do plano de análise, e da mesma forma calcula-se (através da média ponderada de iluminância por área) o fluxo admitido no interior da geometria. Os valores do fluxo incidente serão comparados com o fluxo admitido no interior do modelo e o grau de convergência entre os resultados será apresentado na análise dos resultados.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Para cada modelo foram geradas 18 simulações, diferenciadas pela combinação dos diferentes fracionamentos de geometria ($0,5\text{m}^2$, $0,05\text{m}^2$ e $0,005\text{m}^2$), pela resolução da visibilidade (globo 60, 90 e 120) e pela condição de céu (limpo ou nublado).

As simulações foram realizadas seguindo os parâmetros descritos na metodologia. O fluxo incidente foi calculado através da ponderação de iluminância por área de abrangência, da mesma forma que foi calculado o fluxo que atinge o interior da geometria.

O fluxo incidente de cada modelo foi comparado com o seu fluxo final de forma a mensurar a confiabilidade dos resultados. O erro foi determinado pelo percentual do valor do fluxo incidente em relação ao valor do fluxo luminoso final.

As tabelas abaixo apresentam as porcentagens para cada modelo dos erros obtidos através das análises da conservação do fluxo luminoso.

Para efeito de análise os erros aceitáveis foram limitados entre os valores de 5% e -5%, faixa de valores menores que os apresentados nas validações de outros softwares. Os valores grifados em vermelho ocorrem quando o fluxo luminoso inicial apresentou-se maior do que o fluxo final, e em azul, quando o primeiro apresenta-se menor que o final.

4.1 Conservação do Fluxo Luminoso através de Aberturas Zenitais

Pode-se observar através da Tabela 1, Tabela 2, Tabela 3 e da Tabela 4 que a margem de erro apresenta valores similares quando se mantêm o fracionamento da geometria e varia-se apenas a resolução de visibilidade (globo). Outro fator importante é a ocorrência de erros, que se apresentam em forma de pulso. Forma de erro que é apresentado na introdução, em erros decorrentes do fracionamento da geometria, que é um tipo de erro sistemático do algoritmo do software APOLUX.

Outro aspecto a ser destacado é com a luz solar direta incidindo sobre uma abertura pequena (apresentando maior erro periférico), onde poucas áreas fracionadas recebem muita iluminação, gerando altos índices de discrepâncias.

As avaliações de conservação do fluxo luminoso com a configuração de Céu nublado apresentaram todos os resultados dentro da faixa limítrofe aceitável ou muito próximo a ela, conforme análise das tabelas abaixo:

Tabela 1 – Erro calculado para a conservação do fluxo luminoso – Abertura Zenital 1m x 1m

| | CÉU LIMPO | | | CÉU NUBLADO | | |
|---------|-----------|----------|-----------|-------------|----------|-----------|
| | Globo 60 | Globo 90 | Globo 120 | Globo 60 | Globo 90 | Globo 120 |
| 0,5 m | -0,2753 | -0,2684 | -0,2540 | -3,6903 | -3,4381 | -3,3584 |
| 0,05 m | 49,0612 | 49,0612 | 49,0887 | -0,6218 | -0,5218 | -0,2273 |
| 0,005 m | -4,5895 | -4,5977 | -4,5947 | 0,1187 | 0,0798 | -0,0431 |

Tabela 2 – Erro calculado para a conservação do fluxo luminoso – Abertura Zenital 2m x 2m

| | CÉU LIMPO | | | CÉU NUBLADO | | |
|---------|-----------|----------|-----------|-------------|----------|-----------|
| | Globo 60 | Globo 90 | Globo 120 | Globo 60 | Globo 90 | Globo 120 |
| 0,5 m | 118,9709 | 118,9364 | 118,9418 | -2,5396 | -3,1143 | -3,2773 |
| 0,05 m | -14,1385 | -14,1393 | -14,1441 | -0,3565 | -0,3020 | -0,4558 |
| 0,005 m | -4,5944 | -4,6019 | -4,5916 | 0,0311 | -0,0315 | -0,0040 |

Tabela 3 – Erro calculado para a conservação do fluxo luminoso – Abertura Zenital 3m x 3m

| | CÉU LIMPO | | | CÉU NUBLADO | | |
|-------|-----------|----------|-----------|-------------|----------|-----------|
| | Globo 60 | Globo 90 | Globo 120 | Globo 60 | Globo 90 | Globo 120 |
| 0,5 m | -0,4456 | -0,4404 | -0,4336 | -5,5561 | -5,4237 | -5,4219 |

| | | | | | | |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 0,05 m | 4,8876 | 4,8985 | 4,8969 | -0,5919 | -0,4572 | -0,5672 |
| 0,005 m | -4,6034 | -4,6010 | -4,5978 | -0,0059 | 0,0072 | -0,0221 |

Tabela 4 – Erro calculado para a conservação do fluxo luminoso – Abertura Zenital 4m x 4m

| | CÉU LIMPO | | | CÉU NUBLADO | | |
|---------|-----------|----------|-----------|-------------|----------|-----------|
| | Globo 60 | Globo 90 | Globo 120 | Globo 60 | Globo 90 | Globo 120 |
| 0,5 m | -0,0471 | -0,0533 | -0,0456 | -1,9425 | -2,0156 | -2,0204 |
| 0,05 m | -0,0052 | -0,0090 | 0,0021 | -0,2462 | -0,2853 | -0,2358 |
| 0,005 m | -0,0010 | -0,0012 | 0,0023 | -0,0011 | 0,0173 | -0,0150 |

4.2 Conservação do Fluxo Luminoso através de Aberturas Laterais

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresentam as porcentagens de valores de erros calculados. Delimitando os erros, foram destacados em azul os valores que apresentaram o fluxo final maior do que o inicial e em vermelho quando fluxo final apresenta-se menor do que o fluxo inicial.

Para as análises com céu limpo, observa-se a ocorrência de valores em picos, confirmando ocorrência do erro em forma de pulso, resultando, principalmente do erro gerado através do fracionamento da geometria. Para avaliação sob condições de céu nublado, em função de a simulação ser realizada com iluminação difusa, a variação do pulso do erro apresenta-se menor, mas mantém a mesma forma.

No caso das simulações com o céu nublado, os erros calculados apresentam menor proporção, mas apresentam-se presentes, principalmente quando o fracionamento da geometria é menor.

Tabela 5 – Erro calculado para a conservação do fluxo luminoso – Abertura Lateral 2m x 1m

| | CÉU LIMPO | | | CÉU NUBLADO | | |
|---------|-----------|----------|-----------|-------------|----------|-----------|
| | Globo 60 | Globo 90 | Globo 120 | Globo 60 | Globo 90 | Globo 120 |
| 0,5 m | 151,3085 | 150,4374 | 142,9961 | -8,7302 | -9,6626 | -9,8744 |
| 0,05 m | -0,6423 | -0,9357 | -3,8013 | -0,9747 | -0,9260 | -0,8500 |
| 0,005 m | 9,5220 | 9,1949 | 6,0114 | 0,0309 | 0,0792 | 0,0248 |

Tabela 6 – Erro calculado para a conservação do fluxo luminoso – Abertura Lateral 3m x 2m

| | CÉU LIMPO | | | CÉU NUBLADO | | |
|---------|-----------|----------|-----------|-------------|----------|-----------|
| | Globo 60 | Globo 90 | Globo 120 | Globo 60 | Globo 90 | Globo 120 |
| 0,5 m | -12,4298 | -12,6690 | -15,1926 | -16,2535 | -16,0874 | -16,0457 |
| 0,05 m | 9,6485 | 9,3233 | 6,1339 | -1,5924 | -1,5589 | -1,5642 |
| 0,005 m | 7,8818 | 7,5618 | 4,4263 | -0,1430 | -0,0595 | 0,0887 |

Tabela 7 – Erro calculado para a conservação do fluxo luminoso – Abertura Lateral 4m x 3m

| | CÉU LIMPO | | | CÉU NUBLADO | | |
|---------|-----------|----------|-----------|-------------|----------|-----------|
| | Globo 60 | Globo 90 | Globo 120 | Globo 60 | Globo 90 | Globo 120 |
| 0,5 m | -11,7336 | -11,9986 | -14,5493 | 1,3582 | 1,4270 | 1,4028 |
| 0,05 m | -1,2419 | -1,5391 | -4,4042 | 0,1927 | 0,2389 | 0,1811 |
| 0,005 m | 1,9016 | 1,5909 | -1,3612 | 0,0271 | -0,0051 | 0,0074 |

Para o caso de abertura lateral, a luz incide na diagonal (aumentando a abrangência em área da iluminação) através de uma pequena abertura (maior erro em função do perímetro), no caso do menor fracionamento da geometria para céu limpo, resultou em erros de aproximadamente 150%.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta uma avaliação do programa APOLUX segundo o protocolo 5.4 do relatório técnico CIE 171:2006, que avalia a conservação do fluxo luminoso no processo de simulação. Na simulação, calculou-se o fluxo luminoso incidente e este foi comparado com o fluxo luminoso que atinge o interior do modelo a fim de avaliar a convergência entre fluxos.

A metodologia foi aplicada a sete modelos de mesma geometria, mas de aberturas de tamanhos e posições distintas. Para cada modelo proposto foram geradas 18 simulações a fim de avaliar os modelos e as características do programa ao simular geometrias sob diferentes condições de resolução de geometria, de visibilidade e de céu (limpo ou nublado).

Para cada uma das simulações foram realizados os cálculos quanto o fluxo luminoso inicial e final e a porcentagem de erros calculados.

A análise da conservação do fluxo luminoso, quando submetido a condições de céu limpo, apresentou as maiores discrepâncias, onde **59%** apresentam valores de erro dentro da faixa limite, entre -5% e 5%. Em condições de céu nublado as discrepâncias diminuem, onde **86%** apresentam valores de erro aceitável. Mas avaliando de forma geral, 72% das avaliações da conservação do fluxo luminoso apresentaram-se com erros calculados dentro da faixa aceitável.

Para esta avaliação a resolução de visibilidade não interferiu de forma significativa os resultados, mas o fracionamento da geometria interferiu. O erro apresentado nesta avaliação se dá em forma de pulso sendo diretamente afetado pelos erros sistemáticos do algoritmo da radiosidade. Aparentemente, quanto maior a dimensão da abertura, menor é o erro calculado; assim como o fracionamento da geometria também influencia no resultado, ou seja, maior o fracionamento maior será a precisão dos resultados. A conservação do fluxo luminoso sob condições de céu nublado apresenta-se mais precisa que sob condições de céu limpo.

6 REFERÊNCIAS

CARVALHO, Carolina R. **“Avaliação do Programa APOLUX Segundo Protocolos do Relatório Técnico CIE 171:2006 Referentes à Iluminação Natural”**. Florianópolis, 2009. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

CIE – COMMISSION INTERNATIONALE DE L’ECLAIRAGE (2006). CIE 171:2006 **“Test Cases to Assess the Accuracy of Lighting Computer Programs”**. France, 2006.

CLARO, Anderson. **“Modelo Vetorial Esférico para Radiosidade Aplicado à Iluminação Natural.”** Florianópolis, 1998. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, 1998.

CLARO, Anderson; PEREIRA, Fernando O. R.; LEDO, Rafael Z. **“APOLUX – An Innovative Computer Code for Daylight Design and Analysis in Architecture and Urbanism.”** In: Building Simulation, Aug. 2005, Montréal. Ninth International IBPSA Conference. Montréal: Canada, p. 199-206, 2005.

INANICI, Mehlika N. **“Application of the State-of-the-Art Computer Simulation and Visualization in Architectural Lighting Research”** In: Building Simulation – Seventh International IBPSA Conference, Rio de Janeiro, Brazil, ago 2001.

PEREIRA, Roberto C.; PEREIRA, Fernando O. R.; CLARO, Anderson; SOUZA, Luiz P. F. de; **“Metodologia Para Avaliação De Ferramentas De Simulação Da Iluminação Natural Através De Mapeamento Digital De Luminâncias.”** In: Encontro Nacional e Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2007, Anais ENCAC. Ouro Preto, 2007.