

AVALIAÇÃO DO PROGRAMA APOLUX SEGUNDO UM DOS PROTOCOLOS DO RELATÓRIO TÉCNICO CIE 171:2006 PARA VALIDAÇÃO DE SOFTWARES DE ILUMINAÇÃO

Carolina R. Carvalho (1); Anderson Claro (2)

(1) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-Graduação de Arquitetura e Urbanismo,

arqcarolcarvalho@gmail.com

(2) Dr, Professor do Departamento de Arquitetura e Urbanismo: ander@arq.ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Arquitetura e Urbanismo,
Laboratório de Conforto Ambiental, Florianópolis-SC, 88040-900, Tel.: (48) 3331 7080

RESUMO

São diversas as razões que despertam no arquiteto a necessidade de utilizar a luz natural em seu projeto. Dentre elas 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. Devido a esta gama de vantagens do uso da iluminação natural os arquitetos procuram aproveitá-la e a simulação computacional mostrou-se bastante adequada como ferramenta de análise facilitando a visualização do fenômeno nos ambientes. Atualmente, existem dezenas de programas disponíveis no mercado com diferentes propostas, mas existe ainda a dúvida do quando esses softwares se aproximam do comportamento da luz natural. Devido a isso, existe a necessidade de testar os programas computacionais para avaliar a veracidade quantitativa dos resultados. A Commission Internationale de L'Eclairage (CIE) publicou em 2006 um relatório técnico com uma seqüência de protocolos com referências analíticas e estudos de caso definidos como validadores para a avaliação dos softwares de iluminação em geral, inclusive da natural. O objetivo deste trabalho é avaliar os algoritmos dos materiais opaco difuso e transmissor difuso do software APOLUX, segundo protocolo de validação (aplicável a este programa) selecionado do relatório técnico CIE 171:2006, utilizando modelos de céu teórico para verificar o grau de convergência entre os resultados simulados e calculados analiticamente. A metodologia foi definida em quatro etapas: (i) definição e proposta do modelo de análise recomendado pelo relatório técnico CIE (171:2006); (ii) cálculo matemático analítico deste modelo; (iii) simulação do modelo no programa APOLUX, e (iv) avaliação e apresentação dos resultados simulados e calculados. A análise descrita neste artigo trata de um ambiente de geometria simples que apresenta características adequadas para a avaliação da simulação dos materiais opaco difuso e transmissor difuso. Os resultados obtidos mostram o potencial do software de simulação através de um método considerado como validador pelo relatório técnico da CIE (171:2007). Constata-se o alto grau de convergência entre os resultados simulados e calculados, principalmente nas resoluções mais elevadas de visibilidade.

Palavras-chave: simulação computacional, iluminação natural, avaliação de software.

ABSTRACT

Different reasons, such as light quality, visual communication with the outside, natural resources conservation, reduction of electric energy use, and, physiological and psychological benefices; call architects' attention to the necessity of utilizing daylight in their projects. Architects try to make use of the daylight due to this variety of advantages in its use. The computational simulation showed to be an adequate analysis tool, facilitating the visualization of the environments. Nowadays, there are programs with different proposals available in the market. However, there are still doubts about how close these programs are from

the light behavior. Due to this lack of information, there is the necessity to study the computational programs to evaluate the quantitative truth of the results. The Commission Internationale de L'Eclairage (CIE) published in 2006 a technical report which contains a sequence of protocols with analytical references and case studies defined as validators to evaluate general illumination software, including daylight. The objective of the present study is to evaluate the algorithm of the opaque diffuse and diffuse transmitter materials of the APOLUX software according to the validation protocol (applicable to this program) selected from the technical report CIE 171:2006, taking into consideration the theoretical sky model to verify the convergence degree between the simulated and the analytically calculated results. The methodology had four different stages: (i) definition and adaptation of the model recommended by the CIE (171:2006) technical report; (ii) mathematical-analytical calculation of this model; (iii) model simulation in the program APOLUX, and, (iv) evaluation and presentation of the calculated and simulated results. The analysis described in this article is related to a simple geometry environment, which presents the adequate characteristics to evaluate the opaque diffuse and diffuse transmitter materials. The results show the potential of the simulation software through a method considered valid by the CIE technical report. This is possible to notice the high convergence degree between the simulated and the calculated results, especially in the high visible resolutions.

Keywords: computer simulation, daylighting, software assessment.

1. INTRODUÇÃO

Sempre foi anseio do arquiteto poder visualizar o espaço interno antes mesmo de ser construído. A visualização computacional através de imagens sintetizadas é uma ferramenta poderosa que pode contribuir de diversas formas ao trabalho de projeção do arquiteto. A simulação computacional possibilita avaliação do conforto visual facilitando a compreensão e a análise de uma proposta arquitetônica. Dessa forma o arquiteto consegue avaliar qualitativa e quantitativamente como a edificação vai se comportar depois de pronta, e assim contribuir na melhoria do conforto ambiental e eficiência energética do edifício.

A utilização de softwares de simulação pode simplificar a tarefa de tomada de decisões nas diversas fases do projeto. Os programas de simulação da luz natural são importantes de maneira a facilitar o entendimento da luz e do comportamento dos materiais através de cálculos avançados. (INANICI, 2001)

Atualmente, existem dezenas de programas disponíveis no mercado que simulam a iluminação natural e cada vez mais os especialistas fazem uso dessas ferramentas, pois compete a elas agilizar o processo 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 existentes e em desenvolvimento e suas diferentes formas físicas de cálculos da iluminação natural (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. Com isso ocorre uma imprecisão nos cálculos dos softwares que se agrava pela necessidade de referências de avaliação dos mesmos.

Foi desenvolvido no Laboratório de Conforto Ambiental (Labcon) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), pelo professor doutor Anderson Claro, um software, de nome APOLUX, que simula a iluminação natural, através do algoritmo da radiossidade. Este programa vem sendo utilizado em outras 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 APOLUX foi desenvolvido tendo como referência o Modelo Vetorial Esférico (CLARO, 1998). O software calcula e analisa a luz natural em espaços arquitetônicos (abertos e fechados) usando arquivos tridimensionais gerados em editores gráficos em formato DXF e é especialmente desenvolvido para esta tarefa. (CLARO 2005)

O programa APOLUX permite analisar ambientes sob diferentes condições de cálculos, podendo simular materiais distintos sob circunstâncias variadas, como: materiais opacos difusos, opacos especulares, transmissores difusos e transmissores especulares. Além do aspecto quantitativo, o programa processa

imagens, gerando diversas formas de visualizações do espaço, possibilitando gerar vários tipos de dados. Outra característica do software é a rapidez do processo de simulação aliado à capacidade de lidar com modelagem complexa.

Recentemente foi apresentado pela *Commission International de l'Éclairage* (CIE) um relatório técnico com estudos de caso a serem testados em softwares de simulação de iluminação a fim de avaliar a confiabilidade dos programas, o CIE 171:2006. Este relatório lista dezenas de estudos de caso, tanto referente a iluminação natural, quanto a artificial, assim como apresenta vários enfoques que tem como objetivo localizar o erro no cálculo dos programas.

O programa APOLUX já foi testado e avaliado por Pereira (2009) sob outras circunstâncias, mas ainda não foi submetido à avaliação seguindo os protocolos recomendados pelo relatório técnico da CIE 171:2006. Deve-se ressaltar que este relatório técnico é considerado recente, datado de 2006, mostrando-se importante no meio científico, por ser fruto de diversas outras pesquisas, além da precisão dos seus valores numéricos. Desta forma se faz importante e necessária a utilização destes protocolos na avaliação do programa APOLUX.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é avaliar os algoritmos dos materiais opaco difuso e transmissor difuso do software APOLUX segundo um dos protocolos (5.3 item 5.3.1) de validação e aplicável a este programa selecionado do Relatório Técnico CIE 171:2006, utilizando modelos de céu teórico, para verificar a convergência entre os resultados simulados e descritos no relatório.

3. MÉTODO

O método foi definido em 4 etapas:

1. Definição do modelo de análise recomendado pelo Relatório Técnico CIE 171:2006.
2. Cálculo analítico segundo protocolo CIE.
3. A simulação computacional do modelo proposto.
4. Avaliação dos resultados simulados e calculados.

3.1. Descrição do Protocolo 5.3 do Relatório Técnico CIE 171:2006

O protocolo 5.3 apresenta um estudo de caso de geometria simplificada a fim de observar o comportamento de fontes de luz planas. A luz admitida pelo ambiente é refletida apenas pelo plano de luz, assim podemos observar o comportamento dos materiais aplicados na fonte, assim como o quanto a distância influencia no resultado final.

O objetivo deste protocolo é avaliar a capacidade de um programa de iluminação calcular a luz direta sob uma fonte de luz plana. A importância deste teste relaciona-se a simular uma luminária com grandes dimensões, como uma abertura, comparada com a distância entre pontos medidos e a fonte de luz.

Para evitar o erro nos pontos próximos à fonte de luz é proposto um cenário teórico de uma área de fonte de luz com fotometria analítica homogênea distribuída sobre a superfície da fonte.

O modelo descrito a seguir foi criado equivalendo à situação descrita no Protocolo 5.3 do relatório Técnico CIE 171:2006. Os cálculos e equações foram mantidos, apenas modificando a geometria do modelo. O processo de avaliação deste protocolo envolve uma verificação analítica e uma descrição de estudo de caso. Deste protocolo testou-se apenas a parte dos referenciais analíticos correspondendo ao item 5.3.1.

3.1.1. Referência Analítica – Fotometria Difusa – Recomendação CIE item 5.3.1

O conteúdo deste subitem sintetiza a descrição do item 5.3.1 do Relatório Técnico CIE 171:2006.

Considerando a Fotometria Difusa, podemos calcular a Referência Analítica para uma área de fonte de luz (S_2), onde a iluminância direta que é dada no ponto P_1 pode ser calculada analiticamente através da

equação do fator de forma seguindo a equação:

$$E_1 = M_2 \cdot F_2$$

Equação 1

Onde:

E_1 = Iluminância direta do ponto P_1 recebida da fonte S_2 (lux);

M_2 = Excitância da área de fonte de luz (lm/m^2);

F_2 = Fator de forma entre a área que recebe dS_1 (representando a medição no ponto P_1) e a área de fonte de luz S_2 .

No caso do plano fonte de luz ser paralelo à superfície que recebe a luz, o fator de forma F_{12} entre a superfície que recebe luz dS_1 e a área de fonte de luz S_2 é dada pela seguinte equação:

$$F_{12} = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{X}{\sqrt{1+X^2}} \cdot \arctan \frac{Y}{\sqrt{1+X^2}} + \frac{Y}{\sqrt{1+Y^2}} \cdot \arctan \frac{X}{\sqrt{1+Y^2}} \right]$$

Equação 2

Onde:

$$X = \frac{a}{h}$$

$$Y = \frac{b}{h}$$

E a e b são mostrados na figura:

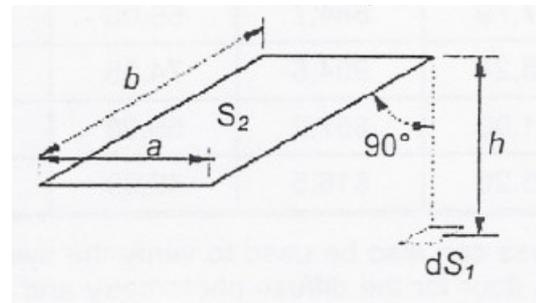


Figura 1: Cálculo do fator de forma no caso de superfícies paralelas (CIE 171:2006)

No caso de a área de fonte de luz for perpendicular à superfície que recebe a luz, o fator de forma F_{12} entre a superfície que recebe luz dS_1 e a área de fonte de luz S_2 é dada pela seguinte equação:

$$F_{12} = \frac{1}{2\pi} \left[\arctan Y - \frac{1}{\sqrt{1+X^2}} \cdot \arctan \frac{Y}{\sqrt{1+X^2}} \right]$$

Equação 3

Onde:

$$X = \frac{a}{h}$$

$$Y = \frac{b}{h}$$

E a e b são mostrados na figura ao lado:

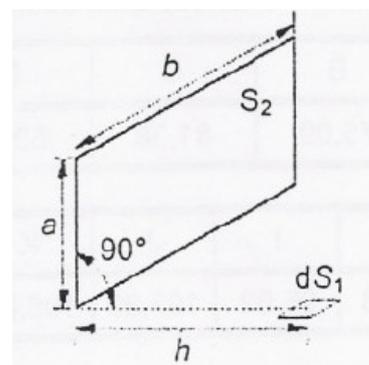


Figura 2: Cálculo do fator de forma no caso de superfícies perpendiculares (CIE 171:2006)

3.1.2. Adaptação do Modelo - Geometria

O protocolo 5.3 apresenta a essência das relações entre os planos e então avalia a fotometria difusa,

assim as propostas foram analisadas e adaptadas a fim de serem aplicadas no programa APOLUX, para avaliar o comportamento dos materiais opaco difuso e transmissor difuso.

Para avaliar apenas a relação entre a fonte de luz e os planos de análise, desenvolveu-se um modelo de geometria simplificada. Este novo modelo foi adotado a fim de avaliar separadamente cada relação, paralela ou perpendicular, entre os planos. Outro fator que este modelo apresentou foi à facilidade de testar os materiais opaco difuso e transmissor difuso na fonte de luz plana. Para este modelo utilizamos as equações apresentadas no relatório CIE, desta forma pode-se calcular as soluções e analisar o erro baseando-se na relação entre os cálculos analíticos e simulados.

O modelo adotado possui 2,20m x 9,00 m x 1,20 com uma abertura em uma lateral de 1m x 2m. Distante da abertura foi colocada uma superfície de 1m x 2m, do mesmo tamanho da abertura, que funcionará como a fonte de luz superficial.

Foram utilizados quatro planos de análise, distantes 1m, 2m, 4m e 8m da fonte. Desta forma podemos avaliar o quanto a distância influencia no cálculo da iluminação refletida por uma fonte de luz superficial.

A fonte de luz plana quando simulada com material opaco difuso deve estar afastada da abertura do modelo, de forma a refletir a luz solar (Figura 3). Quando avaliarmos com material transmissor difuso o plano deve estar colocado rente à abertura, de forma a não entrar luz por nenhuma fresta, e a luz solar apenas ser transmitida através do plano (Figura 4).



Figura 3: Modelo de fonte de luz plana de material opaco difuso com planos de análise dispostos paralelamente à fonte.

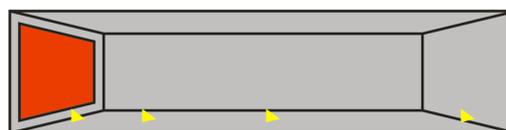


Figura 4: Modelo de fonte de luz plana de material transmissor difuso com planos de análise dispostos paralelamente à fonte.

Em ambos os casos atentamos ao fato de que a fonte de luz superficial receba iluminação de forma homogênea. Para isso, utilizaremos apenas a luz proveniente do Sol, sem considerar a iluminância da abóbada celeste, para garantir a homogeneidade da fonte.

Todas as superfícies internas, as paredes, receberam material com refletância 0% a fim de garantir que não influenciem na iluminação interna refletida. A fonte de luz superficial com material opaco difuso recebeu uma refletância de 60%, e a fonte com material transmissor difuso recebeu a transmitância de 60%.

3.2. Simulação e Cálculo Analítico

O programa APOLUX trabalha com diferentes graus de resolução da geometria (número de vértices no modelo) assim como diferentes graus de resolução da visibilidade (número de ângulos sólidos calculados – que serão chamadas de direções).

Para a cada modelo utilizamos três resoluções diferentes quanto a divisão da geometria do ambiente. A fonte foi dividida em 2, 8 e 32 vértices para analisar a influência deste parâmetro na simulação.

Além deste critério, foram simulados com 5 graus de resolução da visibilidade:

1. 5.902 direções, chamado de globo 30;
2. 23.450 direções, chamado de globo 60;
3. 52.670 direções, chamado de globo 90;
4. 93.598 direções, chamado de globo 120;
5. 146.198 direções, chamado de globo 150

A resolução de globo 60 e 150 são apresentadas nas figuras 5 e 6, respectivamente:

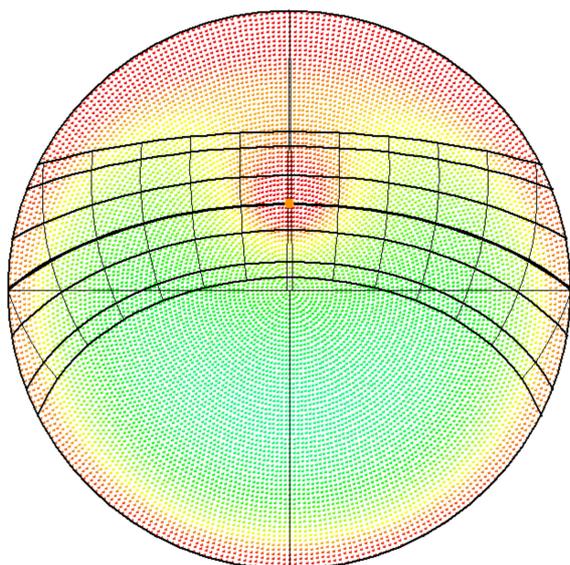


Figura 5: Resolução da Visibilidade – 23.450 direções

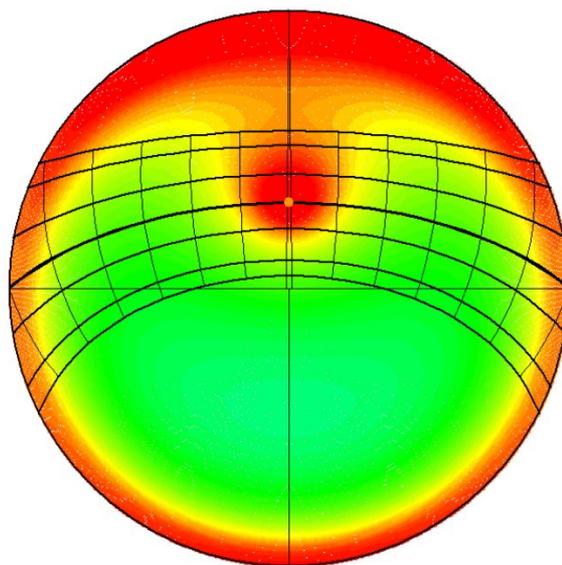


Figura 6: Resolução da Visibilidade – 146.198 direções

Com isto conseguiremos avaliar o quanto a resolução de globo influenciará no resultado final. Desta forma são realizadas 15 simulações para cada modelo.

As figuras abaixo apresentam os modelos fracionados. Os planos em magenta representam a fonte de luz plana e suas divisões, em amarelo os planos de análise e em vermelho as paredes do modelo.

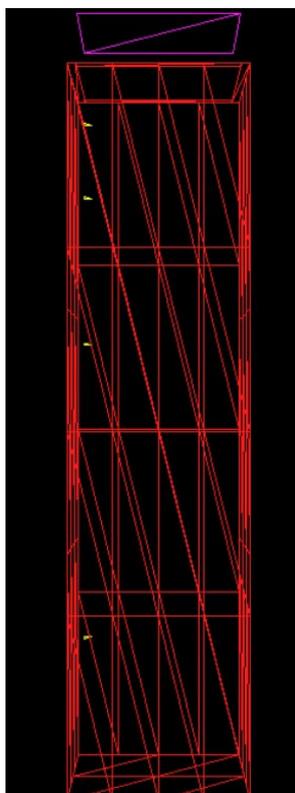


Figura 7: Modelo com a fonte de luz plana dividida em 2 planos

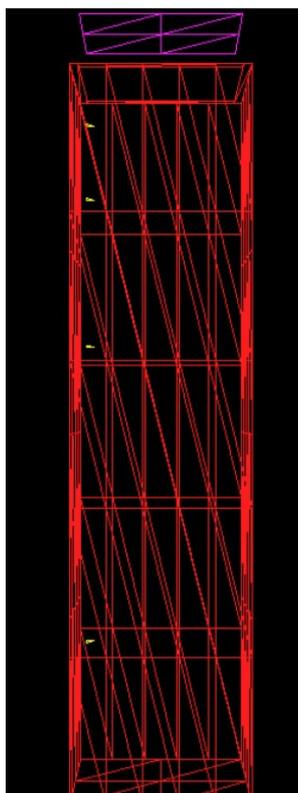


Figura 8: Modelo com a fonte de luz plana dividida em 8 planos

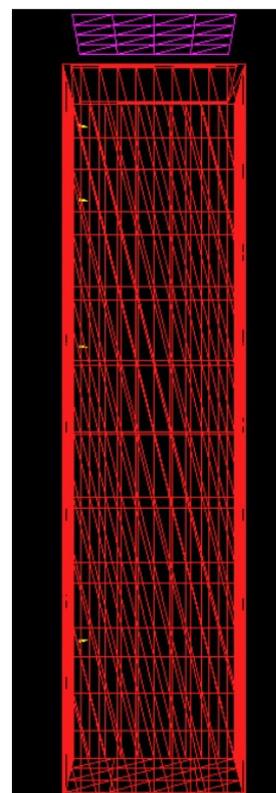


Figura 9: Modelo com a fonte de luz plana dividida em 32 planos

Foram utilizados quatro modelos para a análise:

1. Relação entre planos paralelos com a fonte em material opaco difuso;
2. Relação entre planos paralelos com a fonte em material transmissor difuso;
3. Relação entre planos perpendiculares com a fonte em material opaco difuso;
4. Relação entre planos perpendiculares com a fonte em material transmissor difuso;

Os resultados obtidos na simulação serão comparados aos resultados dos cálculos analíticos e o grau de convergência dos modelos será apresentado na análise dos resultados.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Para cada modelo foram geradas 15 simulações, diferenciadas pela combinação dos diferentes fracionamentos de geometria e pela resolução da visibilidade.

Para calcular os dados da simulação utilizou-se a fórmula descrita na equação 1, onde o valor de iluminância do plano de análise é dividida pela iluminância da fonte de luz plana multiplicada pela refletância/transmitância do material adotado na fonte de luz. Desta forma é calculado o fator de forma da simulação computacional da iluminação natural pelo programa APOLUX.

Os cálculos analíticos foram computados seguindo as equações 2 e 3. A equação 2 foi utilizada para o cálculo do fator de forma para a relação paralela entre os planos e a equação 3 para a relação perpendicular entre os planos.

Realizados os cálculos e simulações constatou-se que as simulações repetiram-se quando, mantendo a geometria, modificava-se o material da fonte de luz, ou seja, os valores dos planos de análise paralelos com a fonte de luz com material opaco difuso apresentaram os mesmos valores do ambiente com a fonte de luz com material transmissor difuso.

As análises dos planos paralelos ou perpendiculares com materiais opaco difuso e transmissor difuso apresentaram-se similares, visto que os valores obtidos pelos cálculos e simulações apresentaram-se semelhantes. Devido a isso, será apresentada apenas uma planilha de resultado para cada relação entre os planos.

Constatou-se também que os valores de simulações se repetiram independente do fracionamento da fonte, variando apenas quando se modificava a resolução da visibilidade. Devido a esse fato as simulações para análise foram limitadas a apenas diferentes resoluções de visibilidade.

Os resultados dos cálculos do fator de forma proveniente dos cálculos analíticos e das simulações e foram comparados entre si e os produtos gerados são tabelas com as porcentagens de erro de acordo com cada resolução de visibilidade. O erro foi determinado pelo percentual do valor simulado em relação ao valor calculado analiticamente.

A seguir serão apresentadas as porcentagens de erro obtidas pela análise entre os resultados dos cálculos analíticos e das simulações computacionais referentes a cada modelo. Para efeito de análise limitamos como erros aceitáveis valores entre 5% e -5%, faixa de valores menores que os apresentados nas validações de outros softwares. Os valores grifados em vermelho ocorrem quando o valor simulado apresenta-se menor que o cálculo analítico, e em azul, quando este se apresenta maior, que é a maioria dos casos.

Tabela 1: Tabela de erros para Planos Paralelos – Fonte Opaco Difuso e Transmissor Difuso

	Globo 30	Globo 60	Globo 90	Globo 120	Globo 150
	ERRO %	ERRO %	ERRO %	ERRO %	ERRO %
ANALISE 1 m	2,6426	1,2508	0,8926	0,7113	0,5408
ANALISE 2 m	2,7823	1,5390	0,9493	0,7283	0,4739
ANALISE 4 m	8,4649	1,2552	1,7890	1,4306	0,5288
ANALISE 8 m	-14,4567	7,0532	0,0875	0,5453	2,9390

Para análise de modelos com planos paralelos pode-se perceber que nos planos de análise próximos à fonte o erro é baixo, independente da resolução de visibilidade escolhida. Os piores resultados aparecem em

planos longe da fonte e com pouca resolução de visibilidade. À medida que aumentamos a precisão da resolução os valores se tornam mais precisos, mas os erros voltam a crescer com a maior resolução.

Tabela 2: Tabela de erros para Planos Perpendiculares – Fonte Opaco Difuso e Transmissor Difuso

	Globo 30	Globo 60	Globo 90	Globo 120	Globo 150
	ERRO %	ERRO %	ERRO %	ERRO %	ERRO %
ANALISE 1 m	2,3966	1,0910	0,8777	0,7070	0,5256
ANALISE 2 m	3,2456	2,0030	1,1601	0,7658	0,3177
ANALISE 4 m	10,5057	-0,3309	2,1542	1,6604	-0,1257
ANALISE 8 m	-28,3531	12,9407	-1,2046	0,1345	4,8245

Nesta segunda tabela nota-se a mesma relação de valores que a análise anterior, só que neste modelo os valores apresentam-se mais significativos, visto que a relação perpendicular entre os planos faz com que o plano de análise recebe menos luz que o modelo anterior.

Os piores resultados aparecem em planos longe da fonte e com resolução de visibilidade baixa. Na medida em que se aumenta a resolução os valores se tornam mais precisos, apresentando uma maior discrepância quando se utiliza a resolução de visibilidade máxima, permitida pelo software.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta uma avaliação do programa APOLUX segundo protocolo do relatório técnico CIE 171:2006, que utiliza referências analíticas e estudos de caso para as simulações. Os resultados obtidos são comparados a fim de avaliar a convergência entre os métodos.

A metodologia foi aplicada a quatro modelos distintos. De cada modelo proposto foram geradas 15 simulações a fim de avaliar os modelos e as características do programa ao simular geometrias sob diferentes condições de resolução de geometria e de visibilidade.

Para cada uma das simulações foram realizados os cálculos analíticos e seus resultados comparados a fim de obter o grau de convergência entre os valores obtidos através das simulações com material opaco difuso e transmissor difuso e os valores de referência.

A partir dos resultados obtidos é possível perceber que a resolução da geometria do ambiente não afetou os resultados finais, ou seja, não importa em quantos vértices a geometria é fracionada pois o cálculo do fator de forma não modifica. Em contrapartida, modificando a resolução de visibilidade pode-se perceber a alteração na precisão dos cálculos.

Os valores obtidos pelos cálculos e simulações entre os planos apresentaram-se semelhantes. Desta forma, conclui-se que os materiais comportam-se de maneira semelhante.

Avaliando de forma geral podemos concluir que quanto maior a resolução de visibilidade (faixas de globo), mais precisa são os resultados das simulações. As discrepâncias apresentadas pela maior resolução de visibilidade são justificadas pela margem de erro apresentada pelo algoritmo da radiosidade. Para a avaliação deste elemento de teste pode-se afirmar que o grau de convergência entre as formas de avaliação propostos pelo relatório técnico CIE é alto.

Os resultados da relação perpendicular entre os planos seguem a mesma linha que a análise anterior, com a diferença que as porcentagens de erro apresentaram-se maiores. Para a avaliação deste elemento de teste podemos afirmar que o grau de convergência entre as formas de avaliação torna-se mais preciso a partir da resolução mediana realizada nesta pesquisa e disponível no software (globo 90).

O programa APOLUX tem sido testado e avaliado em outras pesquisas, com métodos diferentes. PEREIRA et al. (2007) apresentou uma análise comparativa entre valores simulados e medidos in loco, onde o programa apresentou-se confiável. Nesta pesquisa, onde se utilizou a simulação com fonte de luz homogênea em geometria simples sem obstrução e sem a relação de inter-reflexões, podemos concluir que, testando a relação entre os planos, o programa apresenta resultados consistentes, com baixas porcentagens de erro. Os resultados obtidos nesta pesquisa ainda não permitem afirmar que o software é confiável, mas que indica consistência nos dados que são aplicados aos fundamentos do cálculo de iluminação.

6. REFERÊNCIAS

- CHRISTAKOU, Evangelos D. **“A Simulação Computacional da Luz Natural Aplicada ao Projeto de Arquitetura”**. Brasília, 2004. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, 2004.
- 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.
- PEREIRA, Roberto C. **“Metodologia Para Avaliação De Ferramentas De Simulação Da Iluminação Natural Através De Mapeamento Digital De Luminâncias.”** Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis, abr 2009.