

AVALIAÇÃO DO PROGRAMA APOLUX SEGUNDO OS PROTOCOLOS 5.8, 5.9 E 5.11 DO RELATÓRIO TÉCNICO CIE 171:2006

Agostinho de Vasconcelos Leite da Cunha⁽¹⁾; Anderson Claro⁽²⁾

(1) Ifes Campus Colatina, agostinhoc@ifes.edu.br

(2) UFSC, ander@arq.ufsc.br

Resumo

A simulação computacional vem se destacando como uma ferramenta de grande potencial para a análise da iluminação natural, mas com a profusão de vários softwares de iluminação fica a dúvida sobre quais são confiáveis nos resultados. Para preencher esta lacuna, a Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) publicou o Relatório Técnico CIE 171:2006 com protocolos de análise por estudos de caso, com cenários simples que destacam determinados aspectos da propagação da luz, parametrizados como validadores quantitativos de softwares de iluminação. Este artigo mostra os resultados da avaliação do software APOLUX segundo os protocolos de validação 5.8, 5.9 e 5.11, selecionados do Relatório Técnico CIE 171:2006, que trata da utilização dos modelos de céu da norma CIE-ISO 15469:2004. A metodologia, para cada protocolo, constituiu-se da construção em 3D e o tratamento da geometria do modelo proposto seguido da simulação com obtenção dos resultados, calculados analiticamente quando necessário, e comparação com as referências analíticas. Para avaliação dos resultados definiu-se como limite aceitável, para o erro simulado e calculado, uma faixa entre $\pm 5\%$. Constatou-se, então, o alto grau de convergência entre os resultados simulados e calculados, para as avaliações da Componente Refletida Externa (CRE) e a Componente Celeste (CC). Nos resultados da Componente Refletida Interna (CRI) observou-se que maiores quantidades de ciclos de iterações para maiores refletâncias produziam resultados mais precisos. O APOLUX mostra-se, então, como um programa que é capaz de produzir resultados precisos e confiáveis na simulação da iluminação natural utilizando os mais atuais modelos de céu padronizado, podendo contribuir com pesquisas científicas para melhor compreensão do comportamento da iluminação natural e também auxiliar os profissionais na adoção de decisões mais seguras de projeto.

Palavras-chave: *Arquitetura, Simulação computacional, Iluminação natural, Avaliação de software.*

Abstract

The computer simulation has brought a great help as a tool of large potential for the analysis of daylighting, but due to the profusion of many varieties of lighting software, it remains a doubt about which ones are reliable in the results. To fill this gap, the Commission Internationale de l'Eclairage published the Technical Report CIE 171:2006 with analysis protocols through case studies, with simple sceneries that highlight certain aspects of light propagation, acknowledged as quantitative parameters of software lighting. This paper shows the evaluation results of the software APOLUX according to the validation protocols 5.8, 5.9 and 5.11, selected from the CIE 171:2006 Technical Report, which deals with the use of the sky models standard CIE-ISO 15469:2004. The methodology for each protocol consisted of the construction and processing of 3D geometry of the model proposed, followed by the simulation with obtaining of the results, calculated analytically when necessary, and of the comparison with analytical references. To evaluate the results, a deviation range of $\pm 5\%$ was defined as the limit acceptable for the simulated and calculated error. It was found

then the a high degree of convergence between the simulated and calculated results for the evaluation of visibility of External Reflected Component (ERC) and Sky Component (SC). In the results of the Internal Reflected Component (IRC) it was observed that larger amounts of cycles for higher reflectances iterations produced more accurate results. The APOLUX shows up, thus, as a program that is capable of producing accurate and reliable results in the simulation of daylighting using the most current standardized sky models, and can contribute to scientific research providing better understanding of natural light behavior, and also help professionals in the adoption of safer decisions in the project.

Keywords: *Architecture, Computer simulation, Daylighting, Software assessment.*

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho é parte da dissertação de Cunha (2011). Conforme Kittler e Darula (2002), a luz natural sempre desempenhou um papel dominante na vida humana, oferecendo diversos benefícios para o ser humano. A possibilidade de visualizar o espaço antes de ser construído e conseguir avaliar quantitativa e qualitativamente a iluminação natural no ambiente contribui na seleção de estratégias adequadas para o conforto ambiental e a eficiência energética. Entretanto, conforme Pereira (2009), a quantidade de variáveis a serem consideradas é muito grande, tais como: localização geográfica, horário, nebulosidade, tamanho e altura das edificações vizinhas, orientação das fachadas, características dos materiais, geometria dos ambientes, etc.

Devido a isso a simulação da iluminação natural, conforme o contexto energético e ambiental atual, ganha cada vez mais importância como sendo uma das principais ferramentas de concepção de projetos de iluminação. Face às necessidades crescentes, é cada vez maior o número de softwares que estão sendo desenvolvidos em todo o mundo e sem informação suficiente sobre as potencialidades, limites e exatidão. Esta falta de informação afeta consideravelmente a confiança de potenciais usuários nas simulações de iluminação em geral. Percebeu-se, então, a necessidade de avaliar a precisão das simulações realizadas pelos softwares.

O CIE, através do Relatório Técnico CIE 171:2006, propôs uma metodologia de validação de software baseada no conceito de testar separadamente os diferentes aspectos da propagação da luz através de um conjunto de estudos de caso abrangendo todos os aspectos da propagação e da simulação da iluminação, onde cada um deles envolve um número muito limitado de parâmetros, minimizando as fontes de erro, avaliando a capacidade dos softwares de simulação em respeitar as leis físicas relacionadas a esses parâmetros, comparando os resultados de simulação para referências analíticas ou experimentais.

Parte das atividades recentes no CIE foi destinada a definir modelos numéricos das distribuições de luminâncias típicas que podem representar o céu como uma grande fonte primária de luz.

1.1. Modelos numéricos

Conforme Pereira (2009, p. 16-17), a evolução dos estudos de modelos de céu tem início com a esfera com luminância uniforme unitária de Lambert, um modelo de céu simplificado que permitiu o desenvolvimento dos primeiros cálculos de iluminação natural baseados nos conceitos de projeção do ângulo sólido de aberturas. Moon e Spencer, em 1942, caracterizam a distribuição de luminâncias para céu encoberto; Kittler, em 1967, para céu claro; Littlefair, em 1981, para céu intermediário; Perraudeau, em 1988, dispôs cinco categorias de céu; Perez, Kittler e Darula, em 1997, classificaram quinze categorias de céu e em 2002 o CIE adota esta

classificação resultando na norma ISO 15.469:2004 *Spatial distribution of daylight* - CIE *standard general sky*, sendo: (i) 4 tipos de encobertos; (ii) luminância uniforme; (iii) 5 tipos de parcialmente nublado; (iv) 3 tipos de claros e; (v) 2 tipos de céu turvos.

1.2. O software APOLUX

O software APOLUX foi desenvolvido a partir da tese de Claro (1998), apresentando uma solução para o algoritmo da radiosidade baseado no Modelo Vetorial Esférico, sendo utilizado para simulação da iluminação natural e artificial, em espaços arquitetônicos e urbanos com o objetivo de auxiliar os profissionais nas tomadas de decisões em projeto.

O software calcula e representa a luz natural e artificial em espaços arquitetônicos e urbanos, usando arquivos em 3D gerados por editores gráficos. É constituído de dois módulos: **(i) Fractal**: importação do DXF e tratamento da geometria com a definição do fator de fracionamento - divisão de todas as superfícies do modelo em triângulos cuja área máxima não será maior que este fator e que, quanto menor o fator maior é a quantidade de triângulos e, conseqüentemente, maior número de vértices a serem analisados; **(ii) Fóton**: configuração das características dos materiais, resolução de visibilidade (esta resolução é um referencial de cálculo que pode ser descrito como uma esfera dividida em faixas homogêneas de coroas esféricas de um mesmo ângulo sólido em relação ao centro da esfera. Todas as faixas são divididas em parcelas de tamanhos semelhantes. O globo tem orientação fixa para todos os vértices do projeto. Cada parcela define, a partir do centro, um ângulo sólido pré-calculado), condições da abóbada, tipos de céu e realização das simulações (CLARO, 1998 e 2005).

1.3. Validação de softwares

Segundo Delbin (2006) a validação de softwares consiste na combinação de validação empírica, analítica e técnicas comparativas de análise, conforme descritas a seguir: **(i) validação empírica** (ou experimental) é feita pelo confrontamento dos resultados de cálculos gerados pelo programa com dados reais coletados em uma célula teste, edifício real, ou experimento laboratorial, e que, conforme Pereira (2009), considera as incertezas inerentes ao processo de medição; **(ii) validação analítica** é baseada em referências analíticas, comparando os valores obtidos com a simulação com os valores calculados por método analítico conhecido. Segundo Pereira (2009) este tipo de validação cobre domínios limitados da propagação da luz e são aplicados, em geral, em casos simplificados para avaliar uma suposição teórica ou para testar um determinado parâmetro; **(iii) validação comparativa** é feita a partir de comparações entre resultados de simulação de diferentes programas de simulação.

1.4. O Relatório Técnico CIE 171:2006

O CIE desenvolveu um conjunto de estudos de casos para referência com a qual os usuários podem avaliar a precisão de um programa de iluminação. Estes estudos de casos, compilados no Relatório Técnico CIE 171:2006, abordam diferentes aspectos da propagação da luz e permitem, também, comparações objetivas entre diferentes programas em relação aos diferentes domínios da simulação da iluminação. Foram projetados de forma a destacar a influência de um determinado aspecto da propagação da luz com o intuito de identificar fraquezas e consistências do software com mais facilidade. Estes parâmetros são assim identificados: **(i)** Descrição da fonte luminosa e os cálculos da propagação da luz; **(ii)** Transferência da iluminação por aberturas e seus componentes (ou obstruções) e **(iii)** inter-reflexões entre os diferentes tipos de materiais com diferentes propriedades fotométricas.

Objetivando a obtenção de dados confiáveis na simulação, o Relatório Técnico ainda direciona a escolha e descrição de cenários, para precauções de protocolo experimental, para estimar fontes de erro e para apresentar dados de referência, que são: **(i)** Cenários simples destacando determinado aspecto da propagação da luz; **(ii)** Protocolos robustos para minimizar as potenciais fontes de erro e **(iii)** identificação das fontes de erros para apresentação de objetivos.

2. METODOLOGIA

Para este trabalho foram selecionados os protocolos que verificam o comportamento dos modelos de céu, tipificados pela norma CIE-ISO 15469:2004, avaliando os cálculos da componente refletida interna e das componentes celeste e refletida externa por aberturas zenital e na fachada, todas sem vidro. Os protocolos selecionados, com seus objetivos, importância e descrição do modelo são:

- Protocolo 5.8: O objetivo é avaliar a precisão das inter-reflexões difusas dentro de um cômodo. A geometria utilizada é um cômodo quadrado de dimensões 4,00m x 4,00m x 4,00m (área total $St = 96,00m^2$), com todas as superfícies sendo uniformemente difusoras e espectralmente neutras, com uma fonte pontual de luz isotrópica posicionada no centro do cômodo com um fluxo de saída de 10.000 lm. A refletância é a mesma para toda a superfície interior e varia de 0% a 95% (0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 e 95).
- Protocolo 5.9: Visa testar a capacidade do programa de iluminação para o cálculo da componente celeste sob diferentes condições de céu padronizados pelo CIE. A importância deste ensaio está relacionada com o cálculo do Fator de Luz do Dia (daylight factor). A geometria simplificada utilizada é um cômodo quadrado de dimensões 4,00m x 4,00m x 3,00m, com uma abertura no centro do teto com dimensões 1,00m x 1,00m ou 4,00m x 4,00m. A espessura do teto não é levada em consideração e as superfícies internas são refletoras difusas ideais com 0% de refletância.
- Protocolo 5.11: O objetivo é verificar a capacidade do programa para calcular corretamente a contribuição do piso externo e da distribuição de luminâncias do céu na iluminância interna de um cômodo com abertura na fachada. A geometria simplificada utilizada é um cômodo quadrado de dimensões 4,00m x 4,00m x 3,00m, com uma abertura na fachada Sul com dimensões 2,00m x 1,00m ou 4,00m x 3,00m. A espessura da parede não é levada em consideração e as superfícies internas são refletoras difusas ideais com 0% de refletância. Considera-se o piso externo como sendo de luminância uniforme com refletância de 30%, calculada a partir da iluminância horizontal externa.

2.1. Procedimentos metodológicos

Foram adotados os seguintes procedimentos: **(i)** Construção em 3D dos modelos propostos em CAD e gravados no formato DXF; **(ii)** Tratamento no módulo Fractal do arquivo DXF estabelecendo o fracionamento e as propriedades dos materiais; **(iii)** Simulação dos modelos na resolução de visibilidade de 146.198 parcelas (globo 150) e tipos de céu (quando o protocolo exigia) no módulo Fóton; **(iv)** Comparação entre os resultados simulados e do protocolo; **(v)** Cálculo analítico dos modelos e suas relações quando a verificação assim o exigiu; **(vi)** Comparação entre os resultados simulados e calculados, quando exigido e **(vii)** análise das comparações dos resultados da simulação do protocolo.

2.1.1. Procedimentos característicos do protocolo 5.8

Para o cálculo da radiosidade variou-se a quantidade de ciclos (iterações sucessivas da energia

luminosa em função da inter-reflexão e transmissão da luz nos ambientes) conforme se segue: fixou-se o fracionamento em $0,005\text{m}^2$ (superfície dividida em triângulos com área máxima de $0,005\text{m}^2$) para, então, variar de 5 a 100 ciclos para todas as refletâncias, até 200 ciclos para as refletâncias de 90% e 95% e até 300 ciclos para a refletância de 95% (foram usados os seguintes ciclos de iterações da radiosidade: 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 200, 250 e 300). Foram feitas 228 simulações para este protocolo, 12 para cada ciclo.

2.1.2. Procedimentos característicos dos protocolos 5.9 e 5.11

Os modelos foram fracionados, no módulo Fractal, com valor 1, pois o fracionamento não interfere no cálculo porque todas as refletâncias internas são definidas com o valor de 0%. Os ambientes foram modelados de forma que não houvesse coincidência entre os pontos de análise e os pontos das superfícies fracionadas (a distribuição dos pontos de análise é mostrada nas Figuras 1a e 1b). Como o APOLUX calcula iluminâncias em pontos de planos, foram criados no ambiente pequenos planos quadrangulares (Figura 1c), dos quais foram considerados para análise apenas os vértices que coincidiam com os pontos especificados nos protocolos.

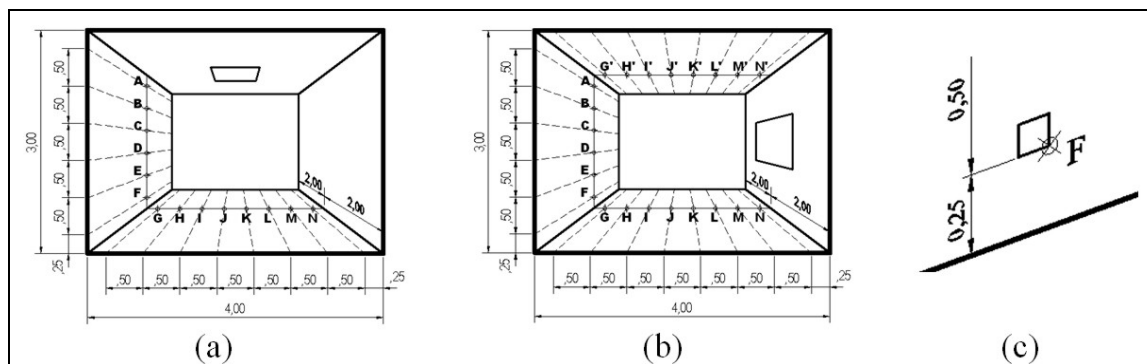


Figura 1: Descrição da geometria e localização dos pontos de medição dos protocolos: (a) 5.9 e (b) 5.11 (Fonte: CIE 171:2006, p. 34 e p. 38) e (c) formato do plano de análise. Desenhos do autor.

A distribuição de luminâncias do céu é obtida através das equações dos céus do CIE-ISO 15469:2004. Foram adotados, conforme definem os protocolos, os seguintes parâmetros de configuração de abóbada celeste no APOLUX: **(i) Azimute do Sol:** 180° - face para o lado interno da parede com os pontos de referência; **(ii) Altura angular:** 60° ; **(iii) Orientação (Norte):** 0° ; **(iv) Tipo de Cálculo:** Somente céu (sem considerar a luz direta do Sol) e **(v) Tipo de céu:** todos os 16 tipos, um por vez. Para o cálculo da radiosidade a quantidade de ciclos de iterações, devido às refletâncias serem de 0%, foi definida com 1 ciclo. Para calcular a iluminância horizontal externa foi previsto um plano de análise horizontal posicionado na mesma cota do teto. Foram feitas 16 simulações para cada um destes protocolos, totalizando 64 simulações.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após os dados simulados serem comparados com os resultados dos cálculos analíticos ou com os resultados apresentados pelo relatório técnico, pode-se analisar o erro estimado para cada situação. Como o Relatório Técnico 171:2006 não especifica qual é a margem aceitável de erros, considera-se, então, a faixa entre $\pm 5\%$. Os erros, oriundos da diferença entre o valor obtido na simulação e referência do protocolo, foram calculados através da Equação 01:

$$\text{Erro (\%)} = [(\text{Simulação} / \text{Referência}_{\text{CIE}}) - 1] \times 100 \quad [\text{Eq. 01}]$$

3.1. Protocolo 5.8

Observando a Figura 2a, nota-se que os erros tendem a linearidade conforme aumenta-se o número de ciclos de iterações da radiosidade. Observa-se também que, para que os erros fiquem dentro do limite considerado aceitável nas maiores refletâncias, a quantidade de ciclos deve ser superior a 60.

A Figura 2b mostra o resumo das ocorrências de erros (em %) confirmando que os resultados são mais precisos ao aumentar a quantidade de ciclos da radiosidade. Cada ocorrência é resultado de uma simulação de uma refletância em um ciclo.

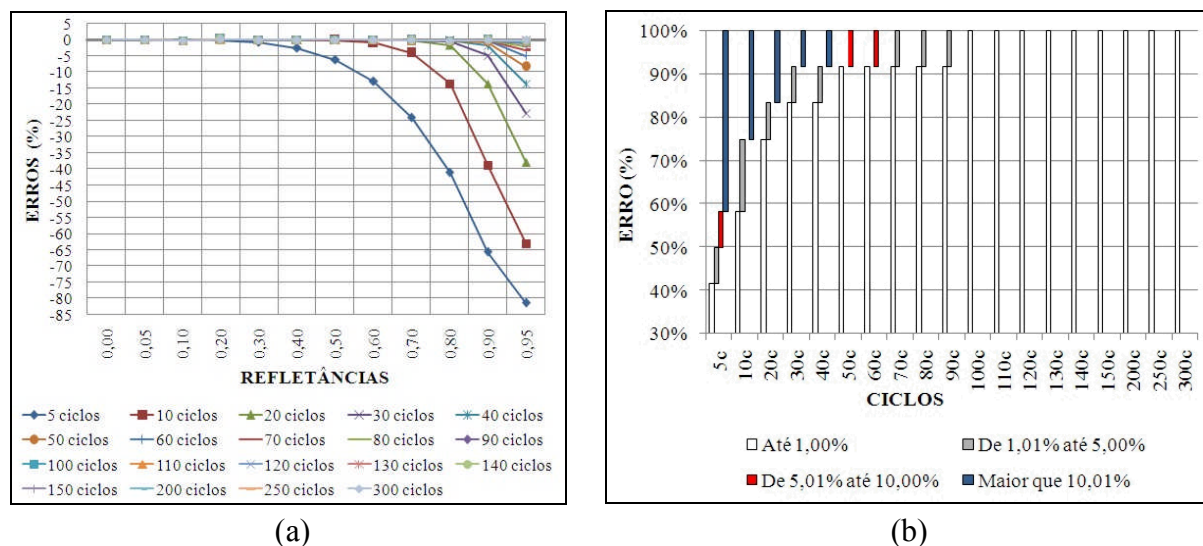


Figura 2: (a) Erros (em %) calculados para as variações de ciclos de iterações da radiosidade e (b) resumo geral dos erros (em %)

3.2. Protocolos 5.9 e 5.11

A Figura 3 mostra os resultados obtidos do cenário com abertura de 1,00m x 1,00m. Observa-se que o céu CIE Tipo 3 foi o que apresentou as maiores discrepâncias para os pontos na parede.

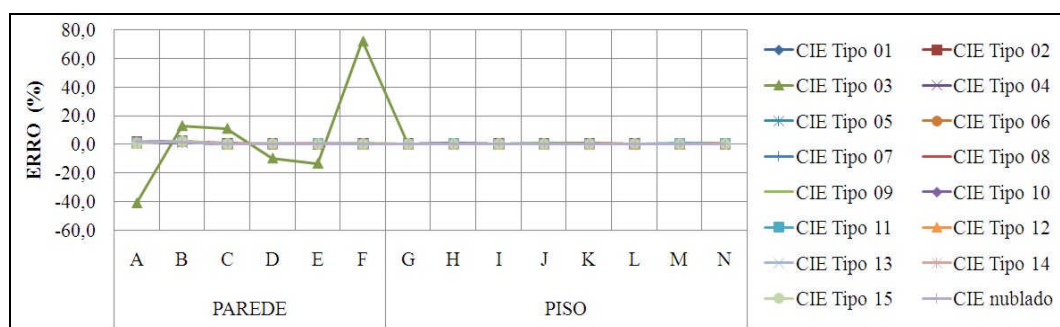


Figura 3: Erros (em %) para o cenário com abertura 1,00m x 1,00m do protocolo 5.9.

Este resultado é semelhante nos relatórios de validação do software Velux Daylight Visualizer 2, conforme Labayrade et al. (2009) e do AGI32, conforme *Dau Design and Consulting Inc.* (2007). Observando os dados de referência, contidos no protocolo, do céu CIE Tipo 3, nota-se que há inversão no posicionamento destes dados ($A \leftrightarrow F$, $B \leftrightarrow E$ e $C \leftrightarrow D$).

A Figura 4 mostra os resultados obtidos do cenário com abertura 1,00m x 1,00m, estando corrigidos o equívoco nos valores de referência para os pontos na parede.

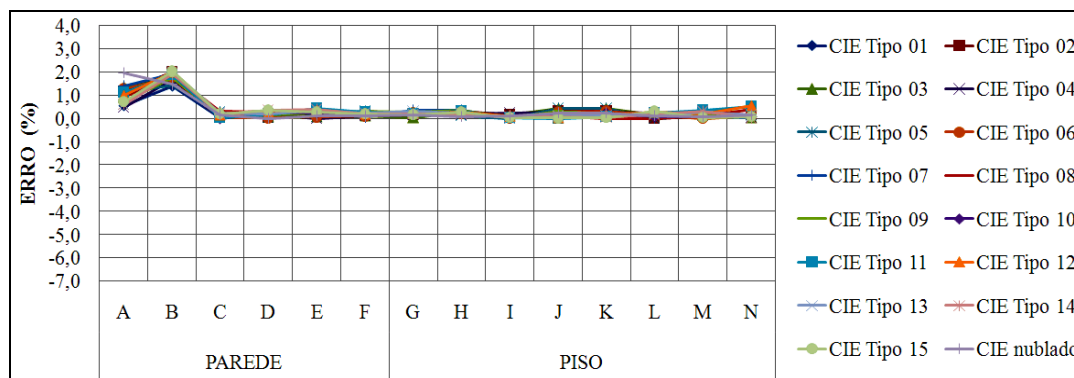


Figura 4: Erros (em %) para o cenário com abertura 1,00m x 1,00m do protocolo 5.9 (corrigido).

A Figura 5 mostra os resultados obtidos do cenário com abertura 4,00m x 4,00m do protocolo 5.9. Os valores mais discrepantes foram observados no ponto A (-5,37%) para o céu CIE Tipo 01 e no ponto G (11,95%) para o céu CIE Tipo 13, todos de forma semelhante, também, em Labayrade et al. (2009). Considera-se que os valores das referências estejam equivocados e não serão contabilizados no resultado final devido a não ser erro do software. Desta forma, todas as ocorrências das simulações do protocolo 5.9 ficaram abaixo de $\pm 5\%$.

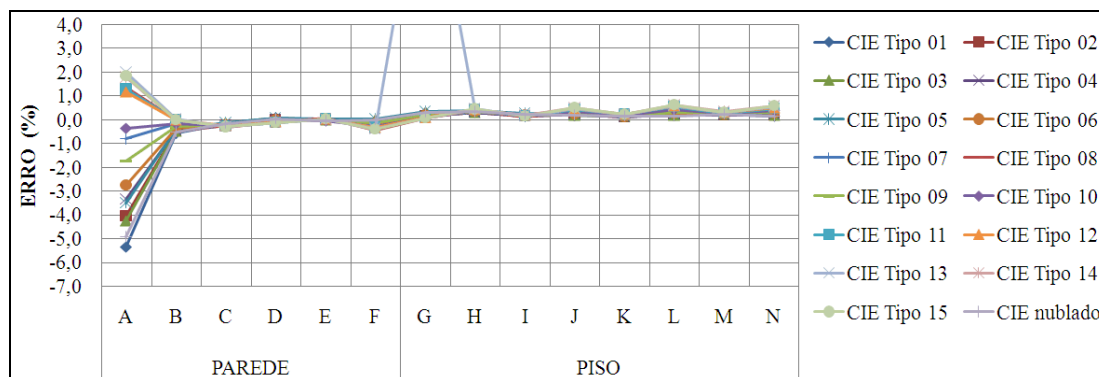


Figura 5: Erros (em %) para o cenário com abertura 4,00m x 4,00m do protocolo 5.9.

A Figura 6 mostra os resultados obtidos do cenário com a abertura de 2,00m x 1,00m do protocolo 5.11. Observa-se que todos os dados estão dentro da faixa limite.

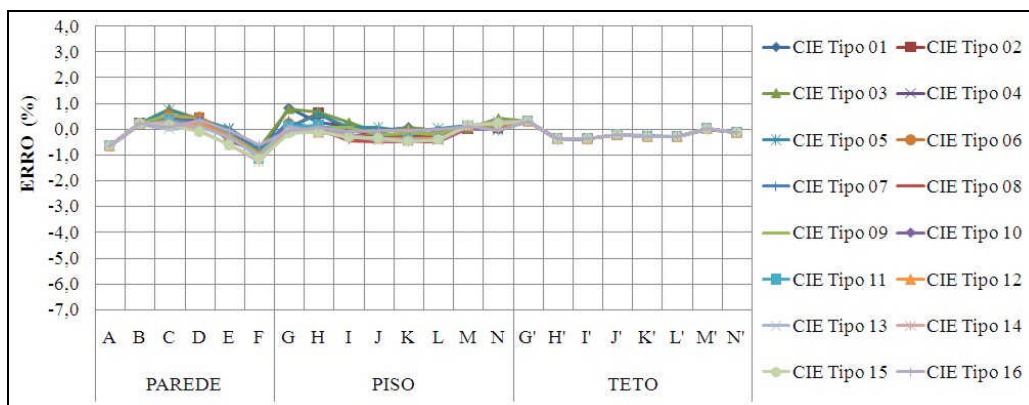


Figura 6: Erros (em %) para o cenário com abertura 2,00m x 1,00m do protocolo 5.11.

A Figura 7 mostra os resultados obtidos do cenário com a abertura 4,00m x 3,00m do protocolo 5.11. Observa-se que o ponto A apresentou valores acima da faixa limite nos céus CIE Tipo 14 (-7,18%) e Tipo 15 (-6,81%). Estes erros são justificados devido ao erro de resolução de visibilidade aliado ao erro de geometria, ambos definidos por Carvalho (2009).

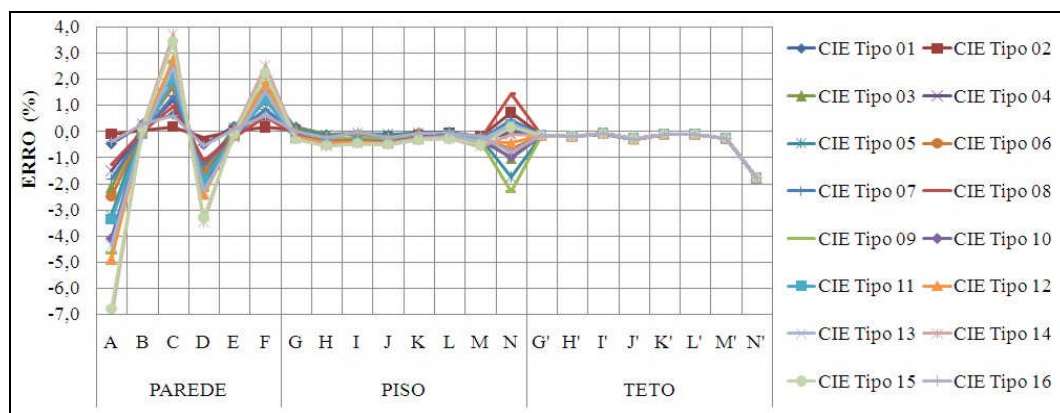


Figura 7: Erros (em %) para o cenário com abertura 4,00m x 3,00m do protocolo 5.11.

3.2.1. Resumo dos resultados dos protocolos 5.9 e 5.11

A Figura 8 resume os resultados apresentados nas Figuras 4, 5, 6 e 7, mostrando as ocorrências (em %).

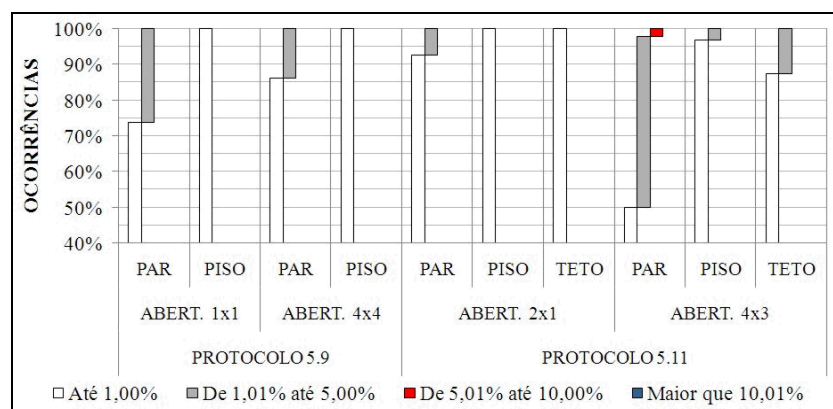


Figura 8: Erros (em %) para o cenário com abertura 4,00m x 3,00m do protocolo 5.11.

A Tabela 2 mostra, para efeito de contabilização, a quantidade de ocorrências de erros descartadas, válidas, total de ocorrências, qual ponto e em que céu ocorreram, através da compilação dos resultados dos protocolos 5.9 e 5.11. As ocorrências descartadas (0,17% do total) são aquelas que são considerados equívocos do Relatório Técnico CIE 171:200 em que não houve a possibilidade de correção. Cada ocorrência é um resultado da simulação de um ponto em um tipo de céu. A Figura 9 mostra o resumo (em %) dos resultados das ocorrências. Observa-se que 99,83% (1148 ocorrências) estão dentro da faixa limite de $\pm 5\%$, sendo que 90,17% (1037 ocorrências) estão até 1% de erro.

		Desc.	Vál.	Total	Ponto(s)	Céu
5.9	1x1	0	224	224	-	-
	4x4	1	222	224	A	1
		1			G	13
5.1	2x1	0	352	352	-	-
	4x3	0	352	352	-	-
Total		2	1150	1152		
%		0.17	99.83	100.00		

Tabela 2: Ocorrências válidas e descartadas para os protocolos 5.9 e 5.11.

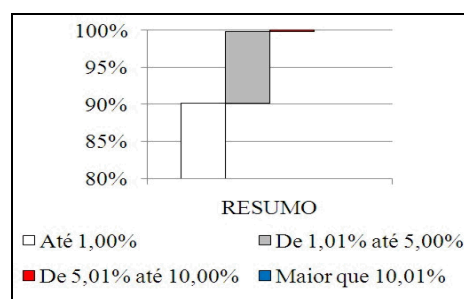


Figura 9: Resumo dos resultados dos protocolos 5.9 e 5.11

4. CONCLUSÕES

Os resultados das simulações no APOLUX mostraram-se bastante confiáveis e atenderam plenamente aos critérios propostos pelo Relatório Técnico CIE 171:2006. Através dos resultados apresentados, podemos concluir que, pelos critérios do Relatório Técnico CIE 171:2006, o software APOLUX mostra-se, então, como um programa que é capaz de produzir resultados precisos e confiáveis na simulação da iluminação natural, podendo contribuir com a pesquisa científica, compreendendo melhor o comportamento da iluminação natural, e com o profissional, auxiliando-o em tomadas de decisão mais seguras de projetos de forma a direcionar o aproveitamento da iluminação natural em edificações, contribuindo com economia de energia e a eficiência energética.

5. REFERÊNCIAS

- APOLUX. (2007). **Programa de Simulação Computacional de Iluminação Natural** - versão beta V. Atualizado em 25 janeiro 2010. (www.labcon.ufsc.br/foton).
- CARVALHO, Carolina R. **Avaliação do programa APOLUX segundo protocolos do relatório CIE 171:2006 referentes à iluminação natural**. Florianópolis, 2009. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo – PósArq, UFSC, 2009.
- CIE STANDARD – COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE. **Spatial distribution of daylight — CIE standard general sky**. in: ISO 15469. 2004.
- CIE STANDARD – COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE. **Technical Report. 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 e Sistemas) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, 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.
- CUNHA, Agostinho V. L. **Avaliação do programa APOLUX segundo protocolos de modelos de céu do Relatório Técnico CIE 171:2006**. Florianópolis, 2011. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo – PósArq, UFSC, 2011.
- DARULA, S., KITLER, R. **CIE general sky standard defining luminance distributions**. In: Proc. ESIm, IBPSA Canada, pp. 11–13. 2002.
- DAU DESIGN AND CONSULTING INC. **Validation of AGI32 against CIE 171:2006**. Calgary, Canadá, 2007. Download do relatório Disponível em: http://www.dau.ca/ddci/files/Download/ReportonAGI32validationofCIE171_Compiled_070620.pdf. Acessado em 11 dezembro 2010, 11:11.
- DELBIN, Simone. **Inserção de simulação computacional de conforto ambiental de edifícios em ensino de projeto arquitetônico: proposta de metodologia**. Campinas-SP. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Departamento de Arquitetura e Construção, UNICAMP, 2006.
- LABAYRADE, R. et al. **Assessment of Velux Daylight Visualizer 2 against CIE 171:2006 Test Cases**. [s.l.]: Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat (ENTPE), Laboratoire des Sciences de l'Habitat. 2009. Download do relatório completo disponível em: http://viz.velux.com/Daylight_Visualizer/News/Validation.aspx. Acessado em 06 março 2011.
- PEREIRA, Roberto C. **Avaliação de ferramentas de simulação de iluminação natural através de mapeamento digital de luminâncias por meio de mapeamento digital de luminâncias da abóbada celeste e entorno**. Florianópolis, 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC, 2009. 184p.